

Ю.В.Шурубор

Пермский государственный технический университет

ПЕРЕСТРОЙКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ КАК ОСНОВНАЯ ФОРМА ПРОЯВЛЕНИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Синергетические эффекты процесса разработки нефтяной залежи увязываются с действием «закона космической лени». В качестве основной формы их проявления рассматриваются перестройки фильтрационных потоков, обусловленные сопровождающими добычу нефти изменениями фонда и режимов эксплуатации скважин, структуры продуктивного пласта, свойств слагающих его пород и заключенных в них флюидов. Предполагается, что всегда реализуется та из данного исходного состояния физически достижимых самоорганизаций фильтрационных потоков, которая при изменившихся особенностях залежи, системы ее разработки и эксплуатации скважин обеспечивает минимизацию энергозатрат на внутрипластовые перемещения флюидов.

Согласно Л.Ф.Дементьеву [1], синергетические эффекты разработки углеводородных залежей порождаются высокой сложностью, многофакторностью, нелинейностью процессов извлечения нефти и газа из недр и выражаются в самоструктурировании (самоорганизации) продуктивных пластов при их функционировании в качестве эксплуатационных объектов, в формировании так называемых диссипативных (рассеянных) структур, возникающих «на фоне случайных значений свойств пород-коллекторов (проницаемости, пористости, толщины и т.п.)». Наиболее значимыми последствиями «диссипативной структуризации порового пространства коллекторов как хаотически организованной среды» Л.Ф.Дементьев считает неполноту и низкую степень предсказуемости охвата объема залежи процессом вытеснения углеводородов, частую ведущие к принятию неправильных технологических и технических решений, которые могут стать причинами «бесполезной траты сил, энергии, материальных ресурсов». Изложенное понимание синергетических эффектов разработки нефтяных (и газовых) залежей своими корнями уходит в изрядно упрощенную трактовку принципа Ле Шателье и главным средством противостояния нежелательным синергетическим эффектам заставляет объявить организацию «определенной топологии (размещения) подводимой энергии во внутреннем пространстве залежи». Четких рекомендаций относительно методик подбора «топологии», адекватной условиям конкретного эксплуатационного объекта, рассматриваемого применительно к фиксированному моменту времени его функционирования, в работах Л.Ф.Дементьева нет. Говорится только о желательности обнаружения в разрабатываемой залежи некоторых «точек акупунктуры» и концентрации внешних воздействий на эксплуатационный объект именно в этих «точках».

«Физикализация» таких, можно сказать, натурфилософских установок Л.Ф.Дементьева стала возможной после разработки С.В.Колесниковым и автором настоящей статьи нового подхода к анализу индикаторной диаграммы, получаемой при исследовании добывающей скважины методом установившихся отборов и отражающей зависимость $P_3 = f(Q)$ между поддерживаемым в скважине забойным давлением P_3 и отвечающим ему дебитом Q [4]. Подход базируется на аналитической аппроксимации функции $P_3 = f(Q)$ и исследовании найденного формульного описания индикаторной диаграммы по его предложенным в той же работе [4] кусочным P - и R -отображениям, характеризующим динамику изменения среднего давления P на внешнем контуре зоны, дренируемой данной скважиной, и эквивалентного фильтрационного сопротивления R этой зоны по мере снижения забойного давления P_3 .

С помощью P - и R -отображений установлено, что почти 80% индикаторных диаграмм действующих добывающих скважин, рассмотренных в работе [4], при относительно высоких и умеренных забойных давлениях фиксируют парадоксальное явление уменьшения эквивалентного фильтрационного сопротивления зоны дренирования скважины при ее (зоны) вызванном снижением забойного давления расширении. Примерно половина «парадоксальных» индикаторных диаграмм в интервалах очень низких забойных давлений все же показывает «нормальную» тенденцию к росту эквивалентного фильтрационного сопротивления зоны дренирования по мере уменьшения забойного давления (согласно исходным предположениям, принятым в работе [4]), сопровождаемого расширением зоны дренирования. Однако выполненный в работе [2] детальный анализ условий функционирования скважин, которые в интервалах низких забойных давлений дали рост эквивалентного фильтрационного сопротивления зоны дренирования при снижении забойного давления, позволил заключить, что в подавляющем большинстве случаев имеет место только иллюзия выхода на «нормальную» ситуацию расширения зоны дренирования и роста ее эквивалентного фильтрационного сопротивления в результате уменьшения забойного давления, ибо в этих случаях обычное для высоких и умеренных забойных давлений расширение зоны дренирования из-за уменьшения забойного давления при низких забойных давлениях сменяется противоположной тенденцией к сужению зоны дренирования при снижении забойного давления. Согласно С.В.Колесникову [2], наблюдающееся в области низких давлений увеличение эквивалентного фильтрационного сопротивления зоны дренирования, сопряженное с ее сужением при уменьшении забойного давления, обусловлено ростом фильтрационного сопротивления прискважинных участков зоны, вызванным разгазированием нефти при падении забойного давления ниже давления насыщения пластовой нефти газом или/и смыканием части приуроченных к упомянутым участкам трещин при забойных давлениях, которые меньше давления смыкания этих трещин.

Изложенное свидетельствует, что если некоторый эксплуатационный объект разрабатывается большим количеством добывающих скважин и изменением режима работы одной (и только одной) из них мы добьемся расширения зоны, дренируемой этой скважиной, то чаще всего эквивалентное фильтрационное сопротивление расширившейся зоны дренирования окажется более низким, чем имевшее место до увеличения размеров зоны. В работе [4] снижение эквивалентного фильтрационного сопротивления зоны дренирования конкретной скважины, парадоксальным образом сопряженное с ее (зоны) расширением в результате уменьшения забойного давления в исследуемой скважине, трактовалось как одно из самых простых и «пока что немногочисленных экспериментальных подтверждений значимости синергетических эффектов в процессах разработки нефтяных залежей». Предполагалось, что «расширение зоны дренирования увеличивает число степеней свободы системы «разрабатываемый участок пласта», создает предпосылки для перестройки системы фильтрационных потоков даже в самых близких к скважине участках в энергетически более выгодную, для «спрямления» линий тока». Дополнительные исследования, результаты которых изложены в работе [2], и теоретические соображения общего характера, приведенные в статье [5], позволяют существенно уточнить данное предположение. Перестройка фильтрационных потоков должна рассматриваться не в качестве одного из простейших проявлений самоорганизации эксплуатационного объекта, а как основная форма такой самоорганизации (самоструктурирования), как главный, определяющий синергетический эффект процесса разработки. Можно говорить о том, что расчленение площади залежи на зоны, дренируемые конкретными добывающими скважинами, управляется некогда часто упоминавшимся физиками «законом (принципом) космической лени». При сложившихся к определенному моменту времени макро- и микроструктурных особенностях эксплуатационного объекта как геологического тела, пространственном размещении и режимах работы добывающих и нагнетательных скважин всегда реализуется та из при заданном исходном состоянии объекта физически достижимых самоорганизаций системы фильтрационных потоков, при которой энергетические затраты на внутрипластовые перемещения флюидов оказываются наименьшими.

Проиллюстрируем действие «закона космической лени» на примере эксплуатационного объекта, вскрытого большим количеством добывающих и нагнетательных скважин и подвергнутого воздействию, сводящемуся к снижению забойного давления в одной из добывающих скважин при сохранении (в пределах возможного) неизменными режимов работы всех прочих скважин. В общем случае снижение забойного давления в одной добывающей скважине может сопровождаться как расширением, так и сужением ее зоны дренирования (конечно, с сопутствующим уменьшением или увеличением размеров зон, дренируемых соседними скважинами).

Зона дренирования скважины со снижаемым забойным давлением будет расширяться, если уменьшение забойного давления ведет к таким изменениям

свойств пород-коллекторов и флюидов, из-за которых фильтрационное сопротивление участков пласта, прилегающих к скважине, падает. При этом границы зоны дренирования удаляются от исследуемой скважины до тех пор, пока уменьшение энергозатрат на внутрислоистовые перемещения флюидов, обусловленное упомянутым снижением фильтрационного сопротивления и сужениями зон дренирования соседних скважин, по своей абсолютной величине превосходит рост энергозатрат «на питание» данной скважины, связанный с расширением ее зоны дренирования. Если уменьшение забойного давления в исследуемой скважине сопровождается увеличением фильтрационного сопротивления прилегающего к ней участка пласта, зона дренирования должна сужаться до тех пор, пока связанная с уменьшением размеров зоны «экономия» энергозатрат «на питание» этой скважины будет превышать увеличение энергозатрат, обусловленное ростом фильтрационного сопротивления прискважинного участка пласта и расширением зон, дренируемых соседними скважинами.

Как отмечалось выше, основными причинами увеличения фильтрационного сопротивления прилегающих к скважине участков пласта при снижении забойного давления могут быть ведущее к росту эффективного значения динамического коэффициента вязкости фильтрующегося флюида разгазирование нефти при давлениях, меньших давления ее насыщения газом, или/и закрытие части трещин в связи с падением давления в упомянутых участках ниже уровня давления смыкания трещин. Уменьшение фильтрационного сопротивления прискважинных участков пласта в результате снижения забойного давления, по-видимому, следует объяснять вызванным падением забойного давления ростом депрессии и градиента давления. Увеличение градиента давления ведет к появлению дополнительных кластеров действующих каналов фильтрации в местах, где при меньших градиентах фильтрация отсутствовала. Снижение фильтрационного сопротивления предопределяется не только и даже не столько возникновением дополнительных работающих каналов как таковым, сколько формированием новых связей между кластерами каналов фильтрации, работавшими и при меньших градиентах: новые связи обеспечивают условия для общей перестройки системы фильтрационных потоков под энергетически более выгодное их распределение в объеме продуктивного пласта, т.е. для интенсификации «полезных» синергетических эффектов процесса разработки нефтяной залежи.

Эвристическая ценность предлагаемого нами толкования синергетических эффектов разработки подтверждается предшествовавшим изложенной в настоящей статье его «окончательной» формулировке успешным использованием данного толкования при разработке методики решения задачи оптимизации распределения суммарного отбора жидкости по добывающим скважинам в соответствии с требованием минимизации энергозатрат на внутрислоистовые перемещения флюидов [3] и для обоснования опирающегося на кусочные P - и R -отображения индикаторных диаграмм весьма простого способа определения давления смыкания трещин [2]. Другими возможными

практическими приложениями наших представлений о синергетических эффектах разработки нефтяных залежей могут стать конструирование различных мер качества систем разработки, реализованных на конкретных эксплуатационных объектах, выработка новых подходов к обоснованию решений по регулированию разработки нефтяных залежей и эксплуатации нефтедобывающих скважин.

Библиографический список

1. Дементьев Л.Ф. Общая технология разработки нефтяных и газовых месторождений (системная концепция): Конспект лекций / Перм.гос.техн.ун-т. Пермь, 1993. 153 с.

2. Колесников С.В. Оценка давления смыкания трещин на основе анализа индикаторных диаграмм по их кусочным R - и P -отображениям // Геология, разработка, бурение и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья: Сб. науч. тр. /ПермНИПИнефть. Пермь, 1999. Вып.1. С.197-203.

3. Колесников С.В., Мордвинов В.А., Шурубор Ю.В. Оптимизация дебитов нефтедобывающих скважин исходя из требования минимизации энергозатрат на внутрислоистовые перемещения флюидов (МЭЗВЦФ) // Российская научно-практ. конф. «Оптимизация природопользования и охрана окружающей среды Южно-Уральского региона». г. Оренбург, 25-27 марта 1998 г.: Тез.докл.конф. / Оренбург. гос. ун-т. Оренбург, 1998. С.232-235.

4. Колесников С.В., Шурубор Ю.В. Новый подход к анализу индикаторных диаграмм нефтяных скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1998. №1. С.22-27.

5. Шурубор Ю.В., Мордвинов В.А., Колесников С.В. О современных представлениях относительно синергетических эффектов разработки углеводородных залежей // Актуальные проблемы геологии нефти и газа (Кремсовские чтения): Материалы 2-й регион. научно-практ. конф. г. Ухта, 21-23 апреля 1999 г. / Ухтин. индустр. ин-т. Ухта, 1999. С.272-274.

Получено 12.12.2000