

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМАХ

М. Д. Иоффе

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. Н. Яхно, канд. филос. наук, доц.

Развитие науки демонстрирует проникновение идей синергетики в самые различные, даже весьма отдаленные от естествознания области знания. Сегодня с позиции теории самоорганизации объясняются многие явления – от рождения Вселенной до практического менеджмента, от законов познания до законов урбанистики. Это подтверждает вывод Ю. А. Данилова и Б. Б. Кадомцева о том, что синергетика – это X-наука, поскольку имеет множество «точек роста» в современном трансдисциплинарном пространстве постнеклассической науки [1].

Не стала исключением дисциплина, изучающая вопросы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, что обусловлено высокой сложностью, многофакторностью, нелинейностью процессов извлечения нефти и газа из недр. Рассмотрим проблему в разрезе физико-химического поведения углеводородных смесей, для описания которого требуется большое количество данных о начальном состоянии системы, полученных промыслово-лабораторными исследованиями. Наибольший интерес в этом контексте представляют фазовые превращения, характерные для многокомпонентных систем. Постараемся применить методологические принципы синергетики, обобщенные В. Г. Бугдановым [2], к описанию таких систем.

В пространстве состояний многокомпонентной системы аттрактором можно считать состояние углеводородной системы при полном отсутствии и дальнейшей невозможности протекания ретроградных процессов (их сведение к минимуму, трудность последующего достижения), связанных с притяжением легких и тяжелых компонентов при возможном течении процессов испарения и конденсации, являющихся следствием взаимного притяжения тяжелых молекул. Такое финальное состояние в большей степени отвечает доведению нефти до товарных кондиций. Процессы фазовых превращений являются сопутствующими на всем пути движения углеводородной системы «пласт – ствол скважины – групповая замерная установка», где происходит первая ступень сепарации газа – участок подготовки нефти. На отрезке «пласт – ствол скважины» рационально сдерживание фазовых превращений, для чего практикуется организация системы поддержания пластового давления с целью недопущения режима растворенного газа, работающего на истощение пластовой энергии, предупреждение выпадения асфальтосмолопарафиновых отложений путем ингибирования и т. д. В технологических процессах подготовки нефти фазовые превращения, напротив, имеют принципиальное значение.

Осмыслим структуру системы. Параметрами порядка выступают давление, объем и температура. Исследование любой углеводородной системы пространственными кривыми в этих координатах может дать общее представление о ней. На более низком уровне можно выделить фазовое состояние системы, которое обусловлено изменениями на нижележащем уровне, – композиционным составом фаз.

Вопрос о незамкнутости системы восходит к проблеме генезиса нефти, что выходит за рамки рассматриваемой проблемы. Вопрос об идентичности процесса разработки соотносится с вопросом о проявлении доминирующей формы пластовой энергии, связанной с истощением или вытеснением пластового флюида. Открытыми

в этом отношении уместно считать системы, работающие на истощение, для которых характерен неравномерный отвод газовой фазы. Процесс истощения в этом случае идентичен дифференциальной конденсации или разгазированию.

Точками бифуркации системы следует считать кривые точек кипения и росы на фазовой диаграмме. Эти точки разделяют области с различным характером изменения свойств фаз. Поясним физический смысл этих точек. Фазовая диаграмма многокомпонентной углеводородной системы представляет вид петли, ограниченной сверху и снизу упомянутыми кривыми. Внутренняя часть петли соответствует области двухфазного состояния системы, когда нефть и газ находятся в равновесном состоянии. Правомерно вспомнить постулат о необходимом разнообразии: на фазовых диаграммах индивидуальных углеводородов область двухфазного состояния отсутствует. Выше кривой точек кипения вещество полностью переходит в жидкость. Кривая точек росы отражает моменты, когда появляются первые капли сконденсировавшейся жидкости из компонентов, которые были обращены в пар. Иными словами, при давлении, соответствующем точкам росы, бесконечно малое количество жидкости находится в равновесии с очень большим количеством газа; при давлении, соответствующем точкам кипения, бесконечно малое количество пара находится в равновесии с очень большим количеством жидкости. Особый интерес представляет точка схождения кривых – критическая точка смеси, соответствующая таким значениям давления и температуры, при которых все физические свойства фаз перестают различаться, макроуровень исчезает и фазы становятся непрерывными и идентичными. В этой точке наиболее быстродействующая флуктуация может определить новое состояние системы: газ, нефть или равновесное состояние двух фаз. Для критической точки интересно явление критической опалесценции, когда система в ее окрестности окрашивается в красновато-коричневый цвет в проходящем свете и светло-голубой цвет в отраженном свете. На фазовой диаграмме особое значение имеют точки, отвечающие максимальным температуре и давлению, при которых могут существовать две фазы, именуемые крикондетермой и криконденбарой. В областях, ограниченных этими и критическими точками, протекают интересные явления, получившие название ретроградных. К ним относятся обратное испарение и конденсация. Так, изотермическое уменьшение давления в этой области приводит к появлению из газа жидкой фазы, содержание которой увеличивается до некоторого максимума. Дальнейшее понижение давления вызывает испарение жидкости до полного ее перехода в паровую фазу. Это явление получило название обратной ретроградной конденсации первого типа. Изменение давления в обратном направлении приводит к обратному испарению. Указанные процессы могут быть воспроизведены изобарически увеличением и уменьшением температуры соответственно. Ретроградная конденсация второго типа протекает при условии, что критическое давление ниже, чем давление в крикондетерме. В этом случае изотермическое уменьшение давления приводит к испарению жидкой фазы, содержание которой уменьшается до некоторого минимума. Дальнейшее понижение давления вызывает конденсацию паровой фазы до полного ее перехода в жидкую фазу.

Эти явления принято называть ретроградными в том смысле, что они происходят в направлении, противоположном обычному. Очевидно, что поведение углеводородных систем в этой области не описывается классическими газовыми законами. На нелинейность системы указывает и тот факт, что критическая температура смеси находится в пределах критических температур входящих в нее индивидуальных компонентов, а критическое давление существенно выше.

В точках бифуркации даже замкнутая система становится открытой. Это уложняет исследование углеводородных систем, в частности, определение таких важных с точки зрения разработки параметров, как давление насыщения или начала конденсации, лежащих на кривой точек кипения и росы соответственно. Этот параметр определяется объемным методом, который состоит в постепенном увеличении объема сосуда, заключающего пробу нефти. Точка давления насыщения или начала конденсации, отвечающая выделению первых пузырьков газа из нефти или первых капель нефти из газа, отмечается изломом изотермы конденсации. На практике явный излом может отсутствовать. Явление получило название метастабильного равновесия и характерно для летучей нефти и газоконденсата. Такие системы, находящиеся вблизи критической точки, обладают большей неустойчивостью, поэтому для установления порядка на макроуровне может потребоваться значительное время. Действительно, явление метастабильного равновесия может быть успешно устранено достижением давления насыщения или начала конденсации в течение нескольких недель против стандартной практики в несколько часов или минут. Отсюда следует принцип наблюдаемости или относительности интерпретаций к масштабу наблюдений и изначально ожидаемому результату, когда часто только по параметрам макроуровня приходится судить о состоянии системы на макро- и микроуровнях.

Рассмотрим систему с позиции эмерджентности, для чего расширим ее до открытой. Допустим, что производится вытеснение нефти диоксидом углерода. Тогда в области ретроградных явлений число возможных макроуровней возрастет. Здесь уже возможны следующие состояния: тяжелая и легкая жидкости; тяжелая жидкость, легкая жидкость, пар; двухфазная система. Все эти фазы, находящиеся в равновесии, обусловлены различным характером взаимодействия молекул на микроуровне.

Применительно к Беларуси, газоконденсатными месторождениями, для которых характерны ретроградные явления, являются Западно-Александровское (семи-лукская залежь) и Красносельское (елецко-задонская залежь), открытые в 1977 и 1976 гг. Сложность в проектировании разработки этих месторождений состоит в том, что долгое время они разрабатывались как нефтяные. В связи с этим вопрос о начальном состоянии системы (речь идет об углеводородном составе) остается открытым. Для его воспроизведения требуется проведение специальной серии лабораторных опытов, в том числе не имеющих аналогов в отечественной практике («истощение постоянного объема»), сводящих к минимуму неравновесные явления. Следующим этапом является создание математической модели углеводородной системы и построение на ее основе серий возможных начальных состояний системы, выборка из этой серии наиболее адекватного по разным критериям. Такой подход позволяет проанализировать множество возможных путей развития, характерных для открытых систем.

Итак, в работе была предпринята попытка приложения понятийно-категориального аппарата синергетики к описанию некоторых процессов в углеводородных смесях. И, несмотря на формальное в некоторой степени использование методологии, становится очевидной возможность выработки общих подходов к описанию сложных систем. В философском отношении роль синергетики мне видится не в построении универсального и абсолютного знания, а в консолидации строго дифференцированных, в должной степени «кондиционных» знаний с целью открытия и дальнейшего развития «смежных» областей – рождения новых наук на стыке существующих. В этом отношении синергетике следует придать первостепенное значение.

Л и т е р а т у р а

1. Ровинский, Р. Е. Синергетика и процессы развития сложных систем / Р. Е. Ровинский // Вопр. философии. – 2006. – № 2. – С. 162–169.
2. Бугданов, В. Г. О методологии синергетики / В. Г. Бугданов // Вопр. философии. – 2006. – № 5. – С. 79–94.