

УДК 544.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ В НЕФТИ

Ворожцова Ю.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.х.н., доцент Слободов А.А.

(Университет ИТМО)

В работе проведено исследование фазового состава и химических превращений в многокомпонентной системе неорганических отложений, образующихся в ходе добычи нефти. Исследование было проведено посредством термодинамического моделирования в широком диапазоне температур.

Введение. Одним из важнейших аспектов борьбы с отложениями продуктов взаимодействия компонентов нефтегазоводяной смеси внутри трубопроводов в ходе её добычи является проблема определения фазового состава этих отложений. Основная сложность – в высокой компонентности системы и нередко высокого разброса в количествах отложений, что затрудняет экспериментальное их определение.

Основная часть. Весьма перспективным методом решения задач исследования высококомпонентных гомо- и гетерогенных систем является термодинамическое исследование (моделирование и расчёт) фазовых и химических превращений и равновесий, в них протекающих, основанное на принципе минимизации (максимизации) той или иной (зависящей от условий проведения процесса) термодинамической функции исследуемой физико-химической системы в ходе превращений и приближения к состоянию равновесия. Разработанные нами для таких целей расчётно-модельные методы и необходимая база термодинамических данных были реализованы в соответствующий программно-информационный комплекс и применены для решения данной задачи борьбы с отложениями продуктов взаимодействия компонентов рассматриваемых нефтегазоводяных смесей в трубопроводах. Была изучена восьмикомпонентная система $Al - Ca - Fe - Mg - Na - Si - K - O$ одного из типичных составов отложений (в молях): 0.087, 0.015, 0.027, 0.022, 0.004, 1.518, 0.013, 3.237 соответственно. В качестве исходных опытных данных имеется, как правило, лишь элементный состав этих отложений, указанный выше для одного из образцов отложений. Учитывая, что исходная нефтегазоводяная смесь в пластовых условиях может находиться в самых разных термобарических условиях, моделирование и расчёт этой системы осуществлялись в соответствующей, достаточно широкой термобарической области. Полученные данные дают определенный разрез (по давлению, $P=1$ атм) этой области, достаточный для описанной практической задачи нефтегазовой промышленности – изучение фазово-химического состава отложений в достаточно широком диапазоне температур – от 270 до 1000 К. Результаты моделирования представляются в виде графика зависимости количеств, образовавшихся в исследуемой системе веществ, от температуры. По данному графику можно отследить все фазовые и химические превращения в исследуемой многокомпонентной системе на всем исследуемом диапазоне температур. Так как в первую очередь в системе происходит окисление основных компонентов, то целесообразнее рассматривать превращения их оксидных форм. Как показали результаты моделирования и расчётов, уже при низких температурах происходит образование весьма сложных по составу смешанных (двойных и тройных) оксидов, как правило, силикатных: алюминат железа ($FeO \cdot Al_2O_3$), андалузит (Al_2SiO_5), микроклин ($KAlSi_3O_8$), альбит ($NaAlSi_3O_8$), силикат кальция-магния ($CaMg(SiO_3)_2$), простой силикат магния ($MgSiO_3$). С ростом температуры происходит достаточно много фазово-химических взаимодействий и превращений образовавшихся при низких температурах соединений. Преимущественно эти превращения носят полиморфный характер, так как многие из полученных силикатов и алюмосиликатов обладают различными структурными модификациями, устойчивыми в той или иной области температур. Так,

андалузит $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{a})$ при температуре 424К превращается в кианит $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{k})$. При температуре 446К происходит подобное полиморфное превращение микролина $\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{mc})$ в санидин $\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{a})$. При 490К также структурный переход происходит и с алюмосиликатом натрия – альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{al})$ превращается в анальбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{an})$. При 627К происходит частичное разложение смешанного силиката $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$ с одновременным его взаимодействием с кианитом, в результате чего образуется алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ и, дополнительно к его исходному количеству, простой силикат магния (MgSiO_3). Последующий рост температуры приводит к полиморфному превращению диоксида кремния SiO_2 – кварц $\text{SiO}_2(\text{q})$ превращается в тридимит $\text{SiO}_2(\text{tr})$ при 906 К.

Выводы. Полученные в результате термодинамического моделирования данные по фазовому составу и химическим превращениям неорганических отложений в нефти в широком диапазоне температур помогают наиболее точно и эффективно оценить поведение исследуемой системы и могут быть использованы для подбора оптимального метода борьбы с отложениями при добыче нефти.