

СПЕКЛ-КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ КОМПОНЕНТАМИ

Чекмасов С. П., Зимняков Д.А.
кафедра ФИЗ

В настоящее время широкое распространение получили технологии, основанные на применении сверхкритических флюидов (СКФ). Вещество в сверхкритическом состоянии обладает рядом особых свойств, обусловленных малыми значениями коэффициента поверхностного натяжения и вязкости СКФ по сравнению с жидкой фазой. Это позволяет осуществлять эффективный транспорт различных веществ на молекулярном и надмолекулярном (наноразмерном) уровнях в твердофазные нанопористые матричные среды, а также производить экстракцию различных составляющих из матричных сред путем их растворения в сверхкритическом флюиде с последующим переводом СКФ в газообразную фазу. Одной из актуальных проблем в лабораторных и промышленных применениях сверхкритических технологий является многопараметрический контроль параметров мультифазных сверхкритических систем в реальном времени, обеспечивающий возможность определения не только термодинамических характеристик сверхкритического компонента (температуры и плотности), но также и мониторинг процессов переноса сверхкритической составляющей в микро- или нанопористой матричной среде на молекулярном и надмолекулярном уровнях. Подобный контроль затруднен сложными условиями (высоким давлением и в ряде случаев высокой температурой) в реакционной зоне.

В данной работе предлагается новый подход к диагностике состояния мультифазных систем со сверхкритическими компонентами с использованием статистического и корреляционного анализа спекл-модулированного лазерного излучения¹, многократно рассеянного зондируемой дисперсной системой в процессе квазиравновесного изменения ее термодинамических параметров. По определяемым в реальном времени статистическим характеристикам рассеянного лазерного излучения (интенсивности когерентной составляющей, индексу мерцаний и времени корреляции флуктуаций интенсивности и др.) могут быть определены с использованием предварительно полученных калибровочных данных текущие значения термодинамических параметров сверхкритической составляющей, скорость ее переноса в матричной среде, время релаксации системы при изменении ее термодинамического состояния, определяющие эффективность взаимодействия СКФ с матричной средой. На рис. 1 представлена схема образца реакционной камеры высокого давления системы с блоком спекл-корреляционного контроля состояния дисперсной среды в реакционной зоне.

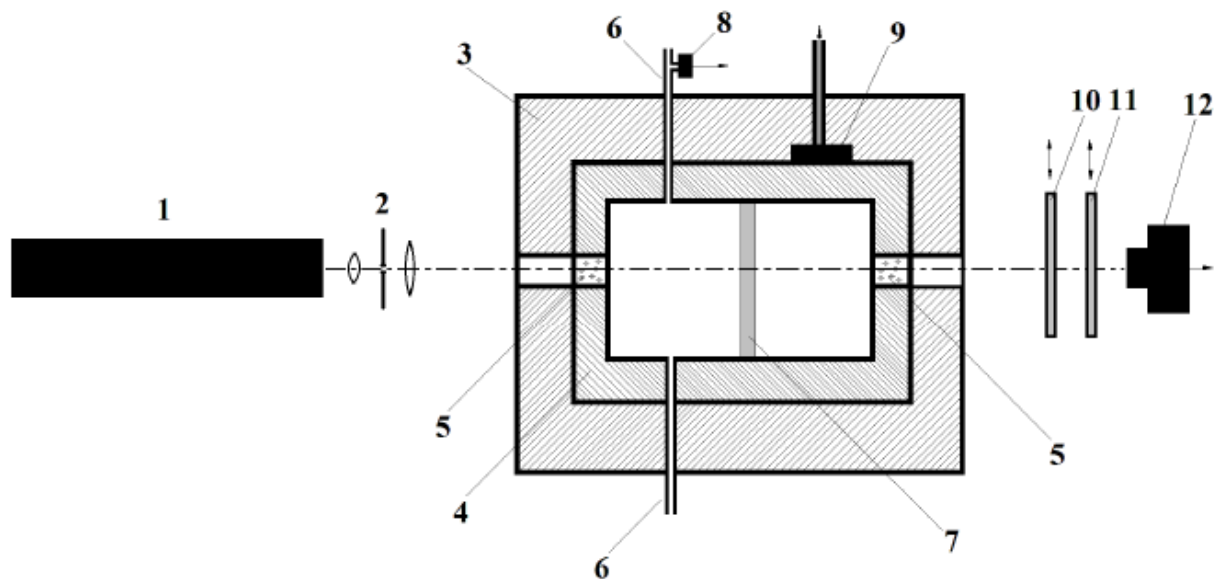


Рис. 1. Схема оптического блока и кюветы высокого давления для диагностики многофазных сверхкритических флюидных систем.

1 – лазер; 2 – телескопическая система – расширитель пучка; 3 – корпус термостата с нагревателем; 4 – кювета; 5 – сапфировые окна; 6 – капилляры высокого давления; 7 – слой пористой среды, насыщаемой сверхкритической двуокисью углерода; 8 – датчик давления; 9 – датчик температуры (кварцевый резонатор; температура определяется по уходу резонансной частоты кварцевого датчика); 10 – сменный поляризационный фильтр; 11 – сменный интерференционный фильтр; 12 – КМОП-камера.

В качестве примера на рис. 2 представлена зависимость средней интенсивности рассеянного вперед лазерного излучения от давления в системе типа «нанопористый полимер – сверхкритическая двуокись углерода», иллюстрирующая эффект частичного оптического просветления дисперсной системы при возрастании плотности сверхкритической составляющей. Данный эффект предполагается использовать для контроля значений показателя преломления и плотности сверхкритической составляющей в реальном времени.

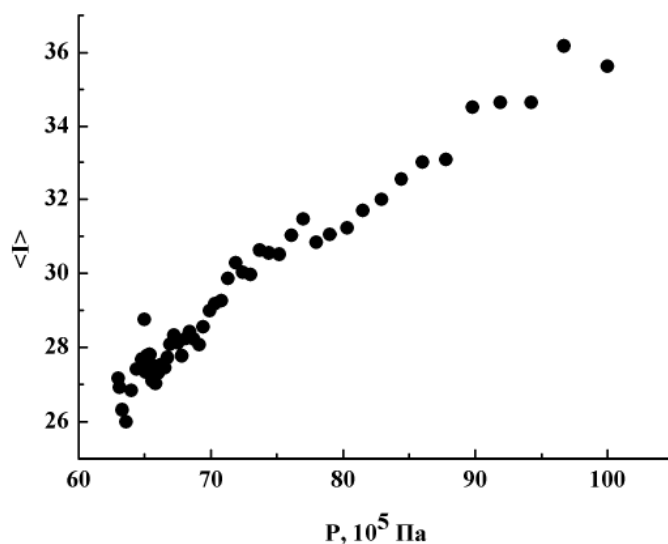


Рис. 2. Зависимость средней интенсивности регистрируемого спекл-модулированного излучения в параксиальной зоне дальнего поля от давления при температуре 33° С (сверхкритическое состояние насыщающей среды). Образец – слой политетрафторэтилена толщиной 70 мкм.

Также был обнаружен эффект медленной релаксации многократного динамического рассеяния лазерного

излучения в системе «полимерный слой – СКФ» после скачкообразного уменьшения давления в системе. Данный эффект предположительно обусловлен двумя взаимосвязанными физическими эффектами:

- медленный перенос сверхкритического компонента из пористого слоя вовне;
- релаксация локальных напряжений в полимерной матрице при выравнивании давления.

По полученным эмпирическим структурным функциям флуктуаций интенсивности были определены значения времени корреляции флуктуаций интенсивности для различных моментов времени после скачкообразного уменьшения давления в системе, представленные на рис. 3 и характеризующие эффект медленной релаксации динамического рассеяния света в зондируемой системе.

Список литературы

- [1] Д.А. Зимняков, Р.А. Здражевский, О.В. Ушакова, «О выборе диагностических параметров в спекл-коррелометрии полного поля,» Письма в Журнал технической физики, Т. 37, № 23, С. 1-9 (2011).

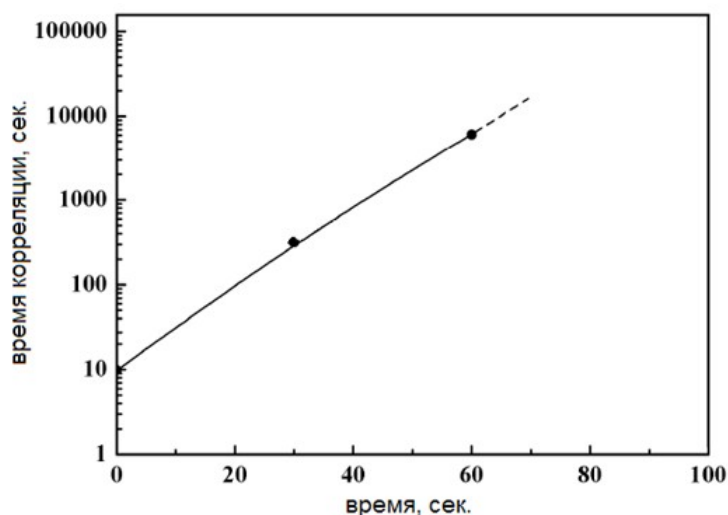


Рис. 3. Рост времени корреляции флуктуации интенсивности при сбросе давления на 2 МПа в системе «полимерный слой – СКФ»; начальное давление 10 МПа.