

# АТТРАКТОРЫ ЛОРЕНЦА В КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ИХ РОЛЬ В ФАЗОВОМ ТЕЧЕНИИ ОКСИГИДРАТНЫХ ГЕЛЕЙ

Ю.И. Сухарев, К.И. Носов, Т.Г. Крупнова

Усложнение аттракторов течения гелей кремниевой кислоты заключается в обнаружении двух их составляющих, а именно, квазигиперболических аттракторов Лоренца и некоторой странной нехаотической составляющей (аттрактора), которая определяется как СНА (странный нехаотический аттрактор) в квазипериодическом отображении окружности. Это следствие все более существенного влияния вращательно-сдвигового воздействия коаксиальных цилиндров на гель.

## Введение

Математическое описание течения коллоидного раствора и перенос тепла может быть описано так называемым уравнением Навье-Стокса [1]. Наиболее просто уравнение выглядит в случае несжимаемой жидкости, когда уравнение неразрывности сводится к условию  $\operatorname{div} \vec{V} = 0$ :

$$\vec{V}_i + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = \nu \Delta \vec{V} - \nabla p + \vec{F}, \quad (1)$$

где  $p$  - давление,  $\vec{F}$  - объемная сила,  $\vec{V}$  - вектор скорости из трех компонент  $V_1, V_2, V_3$ .

Экспериментальные исследования показали, что при достижении некоторого перепада температур  $\Delta T_c$  в коллоидном конвективном растворе на поверхности могут возникнуть шестигранные ячейки, или конвективные валы [1]. В дальнейшем эти структуры трансформируются через усложненные колебания в турбулентное движение. Аналитически можно получить лишь решение приведенного уравнения в виде стационарных конвективных валов, все прочие режимы можно исследовать только приближенно или численно. Попытаемся сделать это экспериментально, используя некоторые мгновенные периодические вязкостные характеристики (эффективную динамическую вязкость ( $\eta$ )) неньютоновской жидкости (оксигидратного геля кремниевой кислоты)) во времени, так как нам удалось их замерять [1].

## Экспериментальная часть

Способ наблюдения за ионно-молекулярными потоками, характеризующими разрушение ДЭС макромолекулярных конформеров при их течении - опосредованный, так как представляет собой наблюдение изменений вязкостных характеристик с помощью прибора Реотест-2, в котором в качестве регистрирующей системы используются коаксиальные вращающиеся цилиндры. Вязкость гелевых оксигидратных систем, представляющих собой неньютоновские жидкости, определяется взаимодействием изменяющихся ДЭС макромолекул во времени, вследствие их конформерных трансформаций, а, следовательно, и взаимодействием ионно-молекулярных потоков при трении (взаимодействии), как это показано в предыдущей работе [2].

Электрическую регистрацию характеристики вязкости стандартным прибором пришлось видоизменить. Для этих целей установка Реотест-2 была переоборудована и оснащена электронным модулем Е-270 с частотой опроса исследуемой системы 5 раз в секунду. Модуль Е-270 [3, 4] является современным универсальным программно-аппаратным устройством, которое используется со стандартной шиной USB и предназначено для построения многоканальных измерительных систем ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в составе персональных ЮМ совместимых компьютеров.

## Обсуждение результатов

Исследование временных рядов изменения мгновенной вязкости гелевой системы кремниевой кислоты позволили получить следующие результаты.

1. Временное изменение вязкости носит выраженный периодический колебательный характер. На рис. 1 показаны основные морфологические типы колебательных вязкостных волн в зависимости от напряжения сдвига. При этом концентрация кремниевой кислоты была постоянной и равной 0,3 моль/л, рН среды выдерживали на уровне 5,5 в условиях термостатирования (298 К). Основной колебательный максимум на представленных рисунках имеет дополнительно 2-3 моды либо в виде дополнительных пиков, или перегибов.

2. Экспериментальные зависимости изменения мгновенной вязкости самоорганизации гелевой системы от времени анализировали путем построения отображений первого и второго возвращения [5]. Отображения содержат по 144 000 точек (время эксперимента 8 часов, частота опроса составляет 5 раз в секунду, координаты представленных рисунков ( $A_i, A_{i+1}, A_{i+2}$ ) - это мгновенная вязкость ( $\eta$ ) в моменты времени  $i$  или  $i+1, i+2$ ), выраженная в  $\text{Па}\cdot\text{с}\times 10^{-3}$ . Реконструкция аттрактора предполагает нахождение некоторой величины  $\tau$ , чтобы координаты фазовой точки были различимы. Мы исходили из того, что величина  $\tau$  должна быть выбрана экспериментально такой, чтобы аттрактор не был слишком вытянут ни в одном из направлений, в противном случае трудно его интерпретировать [5].

Отображения вязкости первого и второго возвращения гелей кремниевой кислоты определяются напряжением сдвига (или скоростью сдвига) и представлены на рис. 2.

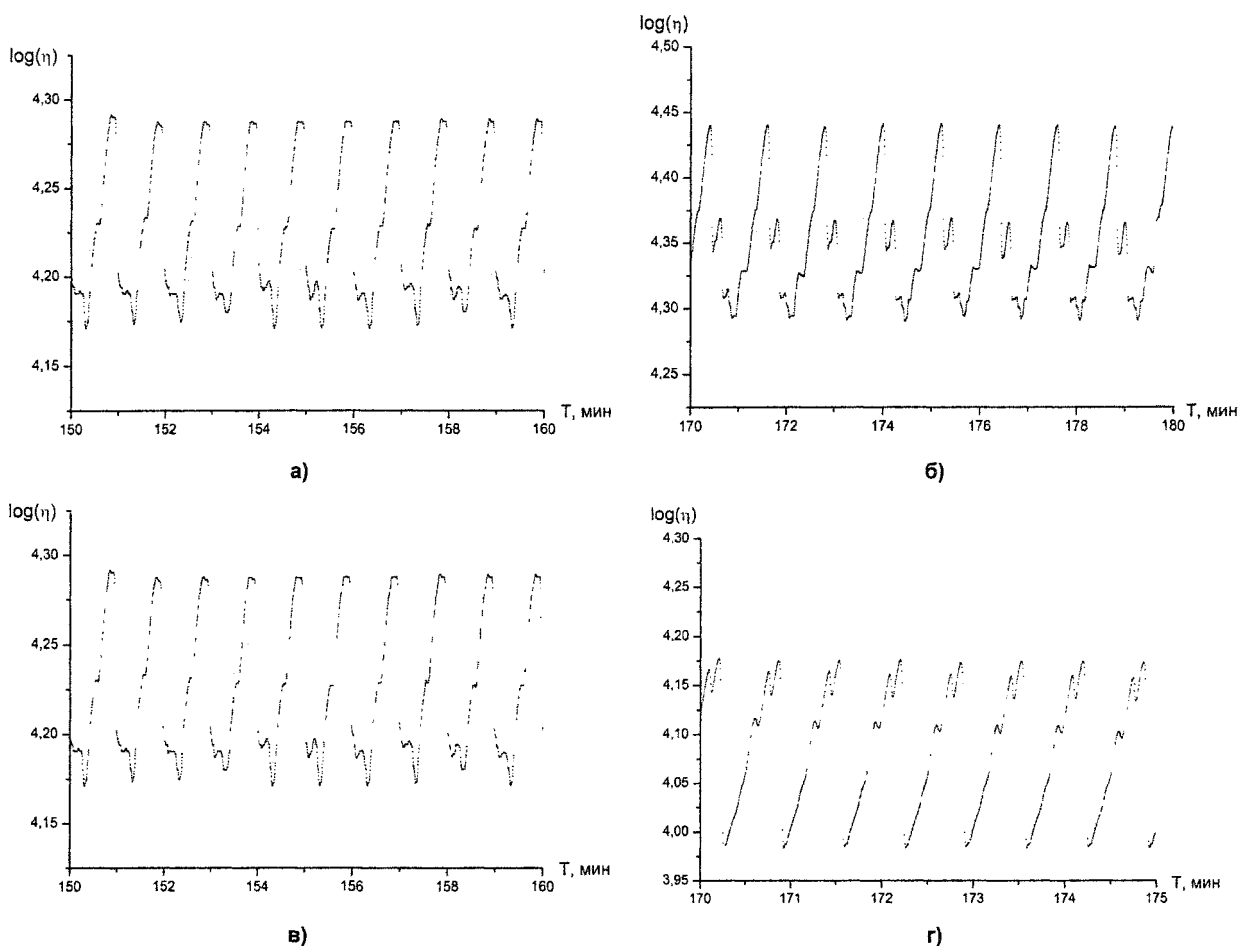
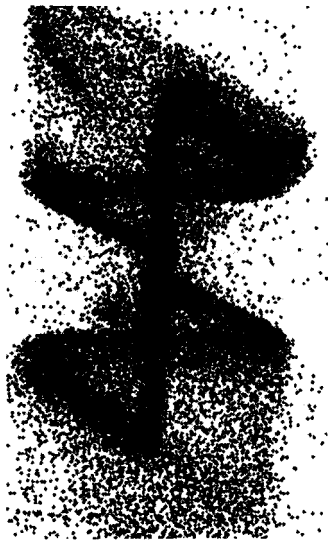


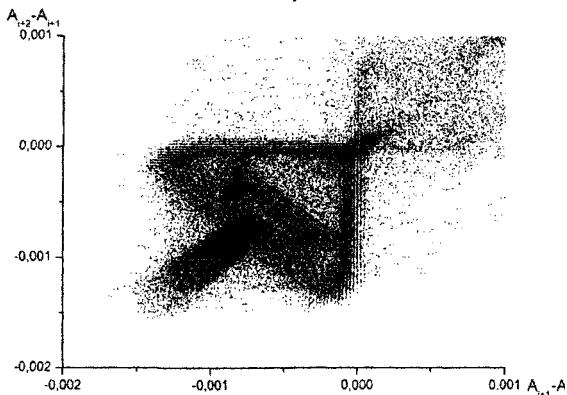
Рис. 1. Динамика колебательного вязкого движения геля кремниевой кислоты в зависимости от скорости сдвига, где  $\eta$  – динамическая вязкость ( $\text{Па}\cdot\text{с}\cdot 10^{-3}$ );  $T$  – время (мин). Образец геля синтезирован при рН = 5,5  $T = 298$  °К, концентрация маточного раствора 0,3 моль/л, скорость сдвига: а – 0,862 м/с; б – 1,437 м/с; в – 1,725 м/с; г – 2,587 м/с



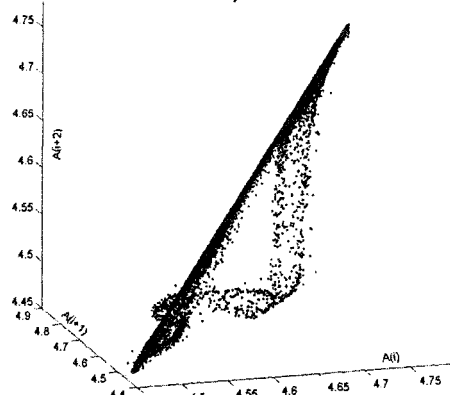
а)



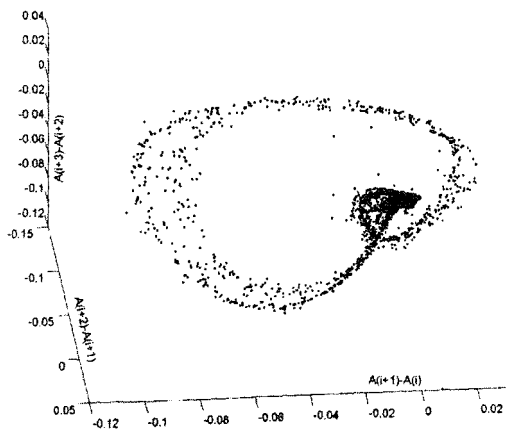
б)



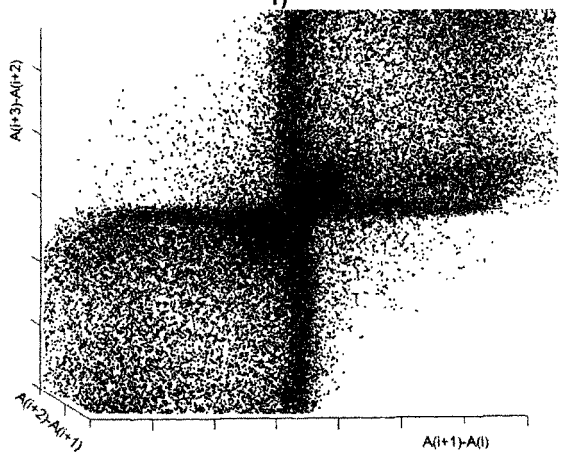
в)



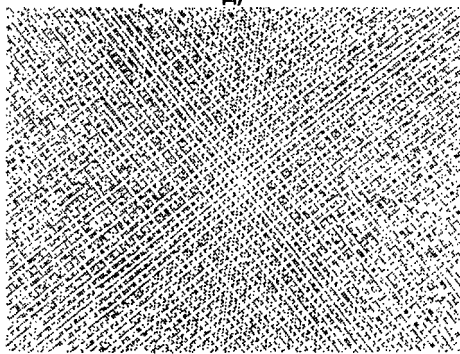
г)



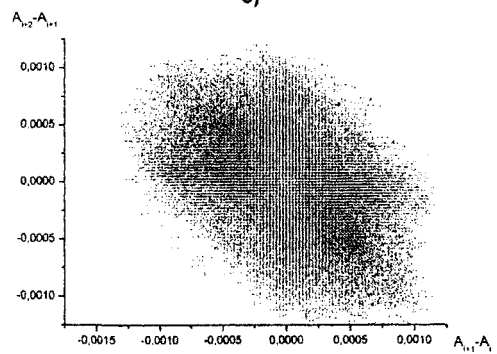
д)



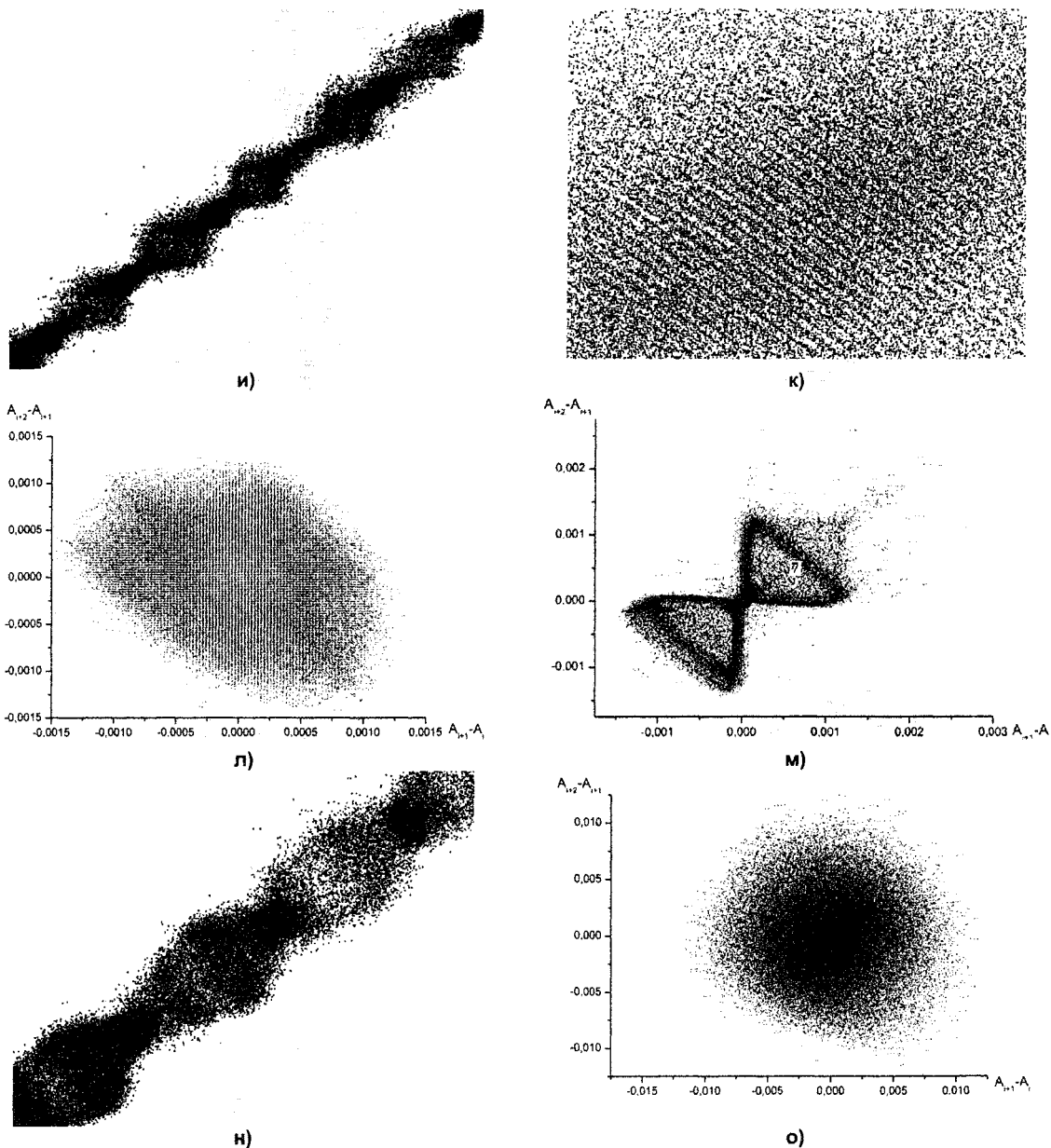
е)



ж)



з)



**Рис. 2. Геометрия аттракторов геля кремниевой кислоты в зависимости от скорости сдвига**  
 а, б – аттрактор второго возвращения  $w = 0,479$  м/с; в, д, м – аттрактор второго возвращения  $w = 0,862$  м/с;  
 г – аттрактор первого возвращения  $w = 0,862$  м/с; е – аттрактор второго возвращения  $w = 5,174$  м/с;  
 ж – аттрактор второго возвращения  $w = 69,847$  м/с; з, к – аттрактор второго возвращения  $w = 139,695$  м/с;  
 и – аттрактор первого возвращения  $w = 139,695$  м/с; л – аттрактор второго возвращения  $w = 232,824$  м/с;  
 н – аттрактор первого возвращения  $w = 232,824$  м/с; о – аттрактор второго возвращения  $w = 419,020$  м/с

Имея в виду, что изменения вязкости неявным образом входят в уравнение (1) (вследствие использования параметра  $\Delta T$ ), тогда исследуя вынужденную конвекцию в геле при движения коаксиальных цилиндров, что, по нашему мнению, практически идентично тепловой конвекции жидкости в уравнении Навье-Стокса. Можно полагать, что физическая модель конвективного движения коллоидной системы очень близка системе уравнений, рассмотренных Лоренцом, полученных на основе анализа уравнения (1):

$$\dot{x} = -\sigma(x - y), \quad \dot{y} = rx - y - xz, \quad \dot{z} = xy - bz,$$

где  $\sigma, b, r$  - управляющие параметры.

Рассматривая экспериментальные отображение первого и второго возвращения, представленные на рис. 2 а-о, можно сказать следующее:

1. При наименьшей скорости сдвига, равной 0,495 м/с рис. 2 а, б, м, фазовый портрет изменения вязкости без сомнения представляет собой аттрактор Лоренца.

2. Увеличение скорости сдвига при вращении коаксиальных цилиндров приводит к усложнению формы аттракторов (см. рис. 2), хотя в основе геометрии притягивающих множеств лежит все тот же аттрактор Лоренца.

3. Следует сказать, что усложнение аттракторов заключается в обнаружении двух их составляющих, а именно, - квазигиперболических аттракторов Лоренца и некоторой странной нехаотической составляющей (аттрактора), которая определяется как СНА [5] в квазипериодическом отображении окружности [1] и может быть математически представлена следующим образом:

$$x_{n+1} = 2\lambda th(x_n)\cos 2\pi\varphi_n,$$
$$\gamma_{n+1} = \omega + \varphi_n, \text{ mod } 1,$$

где параметр  $\omega$  обычно полагается равным золотому сечению, а именно:

$$\omega = 0,5(\sqrt{5} - 1).$$

Это следствие все более существенного влияния вращательно-сдвигового воздействия коаксиальных цилиндров на гель. На рис. 2 это находит отражение в виде некоторых тороидальных закруток в центральной части аттракторов.

4. На рис. 2 з, л при скорости сдвига 139,695 м/с (СНА), 232,824 м/с (СНА) обнаруживаются характерные шестигранные конвективные структуры, при этом аттрактор Лоренца квазигиперболического типа исчезает вовсе. Формируется один странный тороидальный нехаотический тип аттрактора в отображении окружности (рис. 2 и, н). Эти аттракторы имеют плоскостной характер (рис. 2 ж, к) в сечении. При этом обнаруживается структура фрактального канторова множества.

5. Все названные аттракторные конфигурации трансформируются в стохастическое море при максимальной скорости сдвига (рис. 2 о).

### Выводы

1. Аттрактор Лоренца изменения вязкости является определяющим при коллоидно-химическом течении гелей кремниевой кислоты.

2. Усложнение аттракторов заключается во взаимодействии двух их составляющих, а именно, - квазигиперболических аттракторов Лоренца и некоторых тороидальных странных нехаотических отображений окружности (СНА) [5]. Это следствие все более существенного влияния вращательно-сдвигового воздействия коаксиальных цилиндров на гель.

3. При больших сдвиговых напряжениях тороидальный странный нехаотический аттрактор превалирует, вследствие высокой скорости вращения коаксиальных цилиндров.

### Литература

1. Малинецкий, Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. - М.: УРСС, 2002. - 357 с.

2. Сухарев, Ю.И. Коллоидно-химический вариант механизма диффузии Арнольда / Ю.И. Сухарев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2007. - Вып. 8. - № 3(75). - С. 89-94.

3. Паспорт 422272-270-42885515 ПС. Носитель преобразований многофункциональный Е-270. - М.: ЗАО «Л-КАРД».

4. Воловин, Г.И. Схемотехника аналоговых и аппаратно-цифровых электронных устройств / Г.И. Воловин. - М.: Изд. дом «Додека - XXI», 2005. - 528 с.

5. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова и др. - М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. - 529 с.

Поступила в редакцию 28 марта 2007г.