УДК 519.87

Система управления и методы нелинейного анализа для идентификации динамических режимов жидких кристаллов с высоким коэффициентом вращательной вязкости

Хотькин С.О.

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

г. Москва, Российская Федерация

Нематические жидкие кристаллы (НЖК) обладают высокой чувствительностью к внешним электрическим и магнитным полям, что позволяет управлять их анизотропными свойствами. Одним из фундаментальных свойств НЖК наравне с анизотропией диэлектрической проницаемости и диамагнитной восприимчивостью является коэффициент вращательной вязкости. Для определения данного коэффициента наиболее эффективным считается метод вращающегося магнитного поля, использованный в работах В.Н. Цветкова [1]. Однако при высоком значении данного параметра способ имеет малую эффективность, так как директор (единичный вектор преимущественной ориентации молекул) не успевает следовать за внешним полем, вследствие чего исследуемая система находится в асинхронном режиме.

В связи с этим актуальной задачей является разработка новых способов расширения диапазона синхронного режима жидкокристаллических систем во вращающемся магнитном поле, а также поиск методов идентификации внутренней динамики для оценки их эффективности.

В работе исследовалась ориентационная динамика НЖК-1289. Образец помещался во вращающееся магнитное поле. По мере эксперимента увеличивалась частота вращения вплоть до момента перехода системы в

асинхронный режим. Инструментом стабилизации выступало низкочастотное переменное электрическое поле, которое прикладывалось перпендикулярно плоскости вращения магнитного поля [2]. Таким образом, совместное воздействие двух полей формировало коническую геометрию управляющего воздействия и приводило к отклонению директора от планарной ориентации. При этом прикладываемое напряжение оказывало различное влияние на динамику директора в зависимости от его величины, что позволило использовать его как элемент управления системой наравне с частотой вращения магнитного поля.

Внутреннее состояние системы в электромагнитной установке регистрировалось оптическим методом: световой сигнал проходил через скрещенные поляризаторы, между которыми располагалась ячейка с НЖК.

По полученным графикам оценка наблюдаемых режимов является достаточно субъективной, т. к. основывается на визуальном поиске потери устойчивости сигнала и изменений его периодической структуры. При этом зачастую эксперимент имеет значительную продолжительность, что в совокупности требует поиска численных критериев для оценки результатов исследования.

Хороший результат показало сочетание корреляционного анализа и выборочной энтропии. Абстрагируясь от формы оптического сигнала, полученные результаты можно представить как временной ряд безразмерной интенсивности сигнала. Было выполнено сегментированное восстановление фазового пространства системы в рамках теоремы Такенса, где для поиска временной задержки (τ) был использован метод Фрейзера–Суинни. При этом численным параметром на основе восстановленного фазового портрета выступила корреляционная размерность (D_2), рассчитанная методом Грассбергера–Прокаччиа. При выборе длины исследуемого отрезка достаточность объема его данных проверялась по эмпирической оценке Экмана–Рюэля. Параллельно производился расчет выборочной энтропии (S_E), которая характеризует степень регулярности сигнала.

Использование такой комбинации параметров позволило перейти от экспертной оценки результатов к численной. Так, в начале эксперимента на низкой частоте вращения система находилась в синхронном режиме. При увеличении частоты вращения система переходила в асинхронный режим, что сопровождалось увеличением значений параметров D_2 и S_E. Дальнейшее восстановление синхронного режима происходило на высокой частоте вращения при помощи воздействия переменного электрического поля, где значения D_2 и S_E были снижены, что указывает на возврат регулярности сигнала.

Предложенный метод управления в совместном применении с численными методами оценки динамики НЖК позволяет расширить частотный диапазон синхронного режима при исследовании вращательной вязкости и одновременно перейти к объективному способу анализа динамики системы.

Временной интервал, с	τ, с	D_2	S_E	f_H, Гц	Режим системы
100–500	3.4	2.100	0.1826	0.0226	синхронный
1300–1700	1.4	2.349	0.3990	0.1175	переходный
1700–2100	1.4	2.341	0.4615	0.1553	асинхронный
2900–3300	13.8	2.177	0.2017	0.3957	возврат в синхронный

Таблица 1. Фрагменты результатов исследования, где f_H – частота вращения магнитного поля.

Список использованной литературы

1. Цветков В. Н. *Движение анизотропных жидкостей во вращающемся магнитном поле* // ЖЭТФ. – 1939. – Т. 9, № 5. – С. 602–615.

2. Khotkin S. O. *Dynamics of the Director of a Nematic Liquid Crystal in a Conical Magnetic Field: Experimental Setup*. – 2025. – DOI: 10.1109/SUMMA68668.2025.11302394.