

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Абдурасулова Далера Анваровича на тему «**Исследование равновесных и динамических свойств теплофизических параметров термотропных нематических жидких кристаллов**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности: 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность темы диссертационной работы

Жидкие кристаллы своими особенными физико-техническими свойствами, а также высокой экономической и энергетической эффективностью нашли широкое применение почти во всех отраслях промышленности. Многие компоненты живых организмов проявляют жидкокристаллические свойства, в связи с чем наряду с физико-химическими исследованиями, также проводятся и исследования медико-биологических свойств жидкокристаллических веществ.

Известно, что жидкокристаллическое состояние образуют только те вещества, которые состоят из удлинённых или дискообразных молекул, и многие уникальные прикладные свойства этих веществ проявляются в определённой области значения температуры, давления, плотности и других термодинамических параметров состояния. В связи с чем, определение равновесных и динамических теплофизических свойств жидких кристаллов на примере их нематических разновидностей, является актуальной задачей исследования для расширения областей познания о свойствах этих веществ с особыми составами.

Настоящее исследование имеет теоретический характер, где параллельно используются методы равновесной термодинамики и неравновесной молекулярно-статистической теории жидкостей.

Анализ содержания и степень завершенность диссертационной работы

Диссертация составлена по традиционной структуре, состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитированной литературы. Материалы диссертации изложены на 143 страницах компьютерного набора с 38 рисунками и с 16 таблицами. Список литературы содержит 122 ссылок.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, указаны цель и задачи исследования, дана оценка состояния изученности темы, отмечена новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Целью выполнения диссертационной работы является теоретическое исследование равновесных и динамических свойств теплофизических параметров нематических жидких кристаллов (НЖК) в широком диапазоне изменения температуры, давления, плотности и частоты внешнего возмущения.

Задачи исследования можно вкратце описать как:

- 1) применение метода неполного термодинамического потенциала для исследования аномальных ориентационных свойств теплофизических параметров НЖК;
- 2) исследование равновесных и динамических свойств теплофизических

параметров термотропных НЖК с учётом особенностей их молекулярной структуры и механизмов, происходящих в них внутренних термических релаксационных процессов;

3) численные расчёты зависимостей равновесных и динамических теплофизических параметров НЖК от температуры, плотности, давления и частоты для создания банка данных по свойствам НЖК.

Объектами исследования являются термотропные нематические жидкие кристаллы в нематической и изотропной фазах.

Предметами исследования являются:

1) теоретическое описание равновесных и динамических теплофизических свойств НЖК;

2) анализ механизмов внутренних релаксационных процессов и определение их вкладов в динамические вязкоупругие свойства НЖК.

Для решения задачи исследования использованы:

1) **метод неполных термодинамических потенциалов** для макроскопического описания равновесных теплофизических свойств НЖК;

2) **метод НФР** для статистического описания равновесных и динамических теплофизических свойств НЖК. Используются методы численных расчётов и возможности программных пакетов ЭВМ.

Результаты исследования изложены в 4-х главах

Первая глава - обзорная. Соискатель вместе с анализом состояния экспериментальных и теоретических исследований теплофизических свойств нематических жидких кристаллов (НЖК), приводит аналитические выражения тех теоретических закономерностей, которые используются как исходные положения исследования в других главах диссертации.

Например, приведенное в первой главе разложение термодинамического потенциала в ряд по тензорному параметру ориентационного порядка (разложение Ландау - Де Жена), составляет основу термодинамического описания аномального поведения равновесных теплофизических параметров НЖК в окрестностях точки фазового перехода нематический жидкий кристалл-изотропная жидкость (НЖК-ИЖ), во второй главе.

Температурные аномальные поведения ориентационных теплофизических параметров НЖК в окрестностях точки фазового перехода НЖК-ИЖ исследована многими авторами. Однако, проведенные во второй главе диссертации последовательные анализы зависимости аномальных свойств теплофизических параметров НЖК от давления жидкости вблизи точки фазового перехода НЖК-ИЖ, являются новыми. Автор, здесь, на основе анализа смещения температурной области существования нематической фазы, при изменении давления, показывает возможность стабилизации и управления температурной областью работы жидкокристаллических устройств, который при приборной реализации может стать предметом патента или изобретения.

Существенным результатом этой главы является и обоснованное доказательство определяющей роли флуктуации ориентации в формировании аномальных поведений теплофизических параметров НЖК вблизи точки фазового перехода НЖК-ИЖ.

Оригинальным и новым является определение неизвестного при термодинамическом описании значения теплоёмкости изотропной фазы НЖК, молекулярно-статистическим методом в третьей главе. Здесь, диссертанту удалось подробно описать молекулярные механизмы и вклады каждого компонента теплоёмкости в закономерность её температурной зависимости в изотропной окрестности точки фазового перехода НЖК-ИЖ. Удачное сочетание термодинамических и молекулярно-статистических методов описания ориентационных упругих свойств НЖК во второй и третьей главах, сопоставление результатов друг с другом и с экспериментальными результатами, значительно укрепляют физическую обоснованность и достоверность полученных результатов.

Несколько общим и самостоятельным является четвертая глава. Здесь, неравновесные диссипативные вязкоупругие свойства НЖК рассматриваются в тесной связи с происходящими в НЖК внутренними релаксационными процессами. Развивается общая теория неравновесных процессов в жидкостях, состоящих из одинаковых жёстких молекул произвольной формы, которые обладают трансляционными и вращательными степенями свободы. Полагается, что выражения, в которых определяющую роль играют вращательные релаксационные процессы, могут описать динамические ориентационные вязкоупругие свойства НЖК.

Все полученные в диссертации аналитические выражения упрощены и приведены в удобные формы для проведения численных расчётов. На основе результатов численных расчётов делается вывод, что увеличение значения времени вращательной релаксации с ростом температуры свидетельствует о термической природе этого релаксационного процесса.

Показано, что различные степени температурной зависимости изобарных и изохорных значений динамических теплофизических параметров НЖК связаны с определяющей ролью межмолекулярных взаимодействий в формировании динамических свойств жидкостей. Установлено, что при низкочастотных динамических процессах динамические вязкоупругие свойства НЖК характеризуются значениями ориентационных вязкостей, а при высокочастотных динамических процессах, значениями ориентационных модулей упругости жидкостей.

Следует отметить, что каждая глава диссертации фактически является отдельным завершённым научным исследованием конкретных теплофизических свойств исследуемых нематических жидких кристаллов и может быть использована независимо друг от друга. В каждой главе результаты численных расчётов представлены в виде рисунков и таблиц, сопоставлены с экспериментальными результатами. Вместе с этим в каждой главе имеются задачи, которые могут стать предметом дальнейших исследований.

Почти все основные конкретные результаты получены в результате упрощения более общих исходных результатов. Отсюда следует, что в исходных результатах диссертационной работы содержатся возможности исследования более сложных объектов и явлений.

По результатам исследования определена новизна полученных научных результатов и сделаны заключения. Выводы и заключения обоснованы и соответствуют содержаниям глав диссертации и научным публикациям.

По теме диссертации опубликованы 22 работы, 7 из которых в журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Публикации и автореферат вполне отражают содержания глав диссертации. Вместе с тем, к диссертации можно сделать некоторые замечания:

1) во второй главе зависимость ориентационного параметра порядка и других равновесных теплофизических параметров НЖК от температуры и давления выражены симметрично через $\sqrt{T_1 - T}$ и $\sqrt{P_c - P}$. Однако, на некоторых рисунках и таблицах зависимость теплофизических параметров НЖК от изменения температуры учтена через T , а от изменение давления через $\sqrt{P_c - P}$, что осложняет процесс сопоставления результатов, особенно в нематической фазе;

2) не сделан более полный анализ влияния плотности и давления на закономерность температурной зависимости теплоёмкости изотропной фазы НЖК;

3) для определения роли потенциала межмолекулярного взаимодействия в формировании динамических вязкоупругих свойств НЖК, с использованием потенциала Макмиллана, рассчитана только температурная зависимость времени вращательной релаксации. При этом, как реагируют другие динамические вязкоупругие параметры НЖК на использование этого потенциала взаимодействия молекул, остается невыясненным.

4) в текстах диссертации и автореферата встречаются отдельные технические и стилистические ошибки.

Однако, вышеприведенные замечания и существующие технические недостатки не снижают научную и практическую значимость полученных в диссертации основных результатов исследования.

Заключения и рекомендации

В целом диссертационная работа Абдурасулова Далера Анваровича на тему «Исследование равновесных и динамических свойств теплофизических параметров термотропных нематических жидких кристаллов»-законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, соответствующее требованиям кандидатских диссертаций. Выводы и предложения аргументированы, полученные результаты новые и достоверные.

Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует паспорту научной специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

На основе вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Абдурасулова Далера Анваровича «Исследование равновесных и динамических свойств теплофизических параметров термотропных нематических жидких кристаллов» соответствует требованиям «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Абдурасулов Далер Анварович заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор кафедры «Сельское строительство и благоустройство городов» Дангаринского государственного университета



Шарифов А.

Подписи д.т.н., профессора Шарифова А. заверяю:
Начальник ОК и СР ДГУ



Джабори Н.Дж.

Адрес: 735320, Республика Таджикистан, Хатлонская область, Дангаринский район, улица Маркази 25, тел: +992 93 543 54 52; E-mail - sharifov49@mail.ru

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Абдурасулова Далера Анваровича на тему «Исследование равновесных и динамических свойств теплофизических параметров термотропных нематических жидких кристаллов», представленного на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности: 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Жидкие кристаллы были открыты 1988 году почти одновременно с полимерными материалами. Однако, из-за слабой привлекательности их практического использования, в начальном этапе исследованием жидких кристаллов занимались отдельные учёные энтузиасты. Сегодня жидкокристаллические материалы известны каждому, даже не просвещённому в области науки человеку. Из-за свои уникальные свойства жидкие кристаллы используются во всех сферах деятельности современного общества.

Известно, что в жидкокристаллическом состоянии могут находиться только те вещества молекулы которых имеют удлинённую или дискообразную форму и многие практически важные свойства жидких кристаллов связана именно с ориентацией таких молекул.

Рецензируемая диссертационная работа посвящена именно исследованию связанных с ориентацией молекул теплофизических свойств нематических жидких кристаллов (НЖК) в широкой области существования жидкокристаллического состояния, включая окрестности точки фазового перехода.

В работе для описания равновесных ориентационных свойств нематических жидких кристаллов в нематической фазе и в окрестностях точки фазового перехода нематический жидкий кристалл-изотропная жидкость используется известный метод термодинамических потенциалов, точнее метод Ландау – де Жена - разложение термодинамического потенциала по ориентационному параметру порядка.

Для описания равновесных, локально-равновесных и динамических теплофизических и вязкоупругих свойств нематических жидких кристаллов, авторы используют молекулярно-статистические методы, конкретно метода неравновесных функции распределения Зубарева Д.Н. В диссертации оба эти дополняющие друг друга методы используются для комплексного исследования теплофизических свойств нематических жидких кристаллов, как при равновесных, так и при динамических неравновесных процессах.

В работе широко используются численные методы и компьютерные расчёты. Каждое выражение, каждая формула доведена до уровня практического применения и с использованием возможностей современных вычислительных машин проведена численные расчёты, определена закономерность зависимости теплофизических параметров конкретных нематических жидких кристаллов от изменения температуры, плотности, давления и частоты внешнего возмущения.

Удачный выбор актуальной темы, корректное определение цели и задачи исследования, использование современных апробированных методов исследования, позволили автору диссертации подготовить оригинальное завершённое научное исследование по конкретной теме, имеющей большое научное и практическое значение. В частности: - **определена** аналитическое выражение для равновесного ориентационного параметра порядка, позволяющего корректно описать зависимость теплофизических параметров НЖК от температуры и давления;

- **получена** аналитические выражения и проведена численные расчёты зависимости скачки плотности, энтропии, теплоёмкости, теплового расширения и сжимаемости НЖК, от температуры и давления с учётом вкладов ориентационного порядка и флуктуации ориентационного параметра порядка в их аномальном поведении вблизи точки фазового перехода НЖК-ИЖ; - **показана** возможность стабилизация и управление температурной область существования нематической фазы (рабочую область жидкокристаллических приборов) с помощью изменении давления жидкости;

- **проведена** термодинамическое и статистическое описание реологии НЖК; **определена** аналитические выражения для ориентационных модулей упругости НЖК (при ориентационных деформациях типа поперечного изгиба, продольного изгиба и кручения);

-**проведён** детальный анализ молекулярных механизмов термических релаксационных процессов и **установлен** иерархия времён релаксации в рассматриваемых моделях жидкостей; **получены** общие аналитические выражения для ориентационных динамических коэффициентов вязкостей и соответствующих им ориентационных динамических модулей упругости НЖК; **проведены** численные расчёты зависимости время вращательной релаксации и низкочастотных значения ориентационных

Детально, диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитированной литературы. Содержание диссертации изложено на 143 страницах компьютерного набора, 38 рисунках и 16 таблиц. Список литературы содержит 122 ссылок.

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, определяются цели и задачи диссертационной работы, констатируется научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** приведена обзор и анализ экспериментальных и теоретических работ по исследованию зависимости теплофизических параметров НЖК от температуры, плотность, давления и частоты.

Вторая глава фактически представляет замкнутого исследования равновесных аномальных ориентационных свойств теплофизических параметров НЖК в окрестности точки фазового перехода НЖК-ИЖ. Один из преимуществ и новизна приведенных в этой главе является то, что полученные результаты позволяют наравне с температурной зависимость, исследовать и зависимость теплофизических параметров НЖК от давления. В частности,

показана возможность управления температурной областью работы жидкокристаллических устройств изменением давления жидкости.

В третьей и четвертой главе рассматриваются равновесные, локально-равновесные и динамические неравновесные свойства теплофизических и вязкоупругих параметров НЖК. В третьей главы определена закономерность зависимости неизвестного во второй главе теплоемкости изотропной фазы НЖК от температуры плотности и давления. Описывается закономерность зависимости ориентационных модулей упругости НЖК от изменения термодинамических параметров состояния, при деформациях поперечного изгиба, кручения и продольного изгиба.

В четвертой главе исследована вращательные релаксационные процессы и динамические вязкоупругие свойства НЖК. Показано, что при низкочастотных динамических процессах вязкоупругие свойства вещества характеризуется коэффициентами вязкостей, а при высокочастотных динамических процессах высокочастотными значениями модулей упругости НЖК.

По результатам диссертационной опубликована 22 работы, 7 из которых в журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Автореферат и публикации соответствуют содержанию диссертации. Выводы и заключения обоснованные и отражают результаты глав диссертации.

Принципиальных научных недостатков в диссертации не замечены. В качестве рабочего замечания и пожелания можно отметить, следующие:

1. во-второй главе проведены численные расчёты закономерности зависимости аномальных ориентационных частей теплофизических параметров НЖК от термодинамических параметров состояния для ПАА и МБА. Однако, о зависимости этих закономерностей от особенностей структуры НЖК на основе этих расчётов, в диссертации нет информации;

2. в третьей и четвертой главе, для проведения численных расчётов теплофизических и вязкоупругих параметров НЖК используются определенные для сферических молекул потенциалы межмолекулярного взаимодействия и равновесные функции распределения. О степени оправданности данного подхода в тексте диссертации нет объяснение;

3. было бы целесообразно в четвертой главе привести и анализировать все коэффициенты и модули упругости НЖК.;

4. в тексте диссертации встречаются аналитические выражения, которые в дальнейшем не используются (выражения для флуктуационные части энтропии, коэффициентов сжимаемости и теплового расширения на стр. 63, для времена релаксации ст.109, для коэффициентов вязкости на стр. 112 и т.д.

Приведенные замечания и некоторые другие имеющиеся технические и стилистические ошибки в диссертации, ни как не уменьшают научную значимость полученных в диссертации основных научных результатов.

Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует паспорту научной специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение в соответствии диссертации критериям порядка присуждения учёных степеней.

Диссертационная работа **Абдурасулова Далера Анваровича** представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, выполнена автором самостоятельно на современном научно-техническом уровне, в ней изложены новые научно-обоснованные теоретические и технические решения в области нематических жидких кристаллов (НЖК), внедрение которых вносит значительный вклад в устойчивое развитие экономики Республики Таджикистан.

Диссертация соответствует всем требованиям Положения о порядке присвоения учёных степеней и присуждения учёных званий (доцента, профессора), утверждённого постановлением Правительства Республики Таджикистан №505 от 26.11.2016г., предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК при Президенте РТ, а её автор Абдурасулова Д.А., заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
проректор института
промышленности и сервиса:



Холиков Мазбуд Махмудович

Подпись к.т.н., Холикова М.М. заверяю:
Начальник ОК и ОД:



Мухторова М.А.

Дата: « ___ » _____ 2023 г.