

Федеральное агентство научных организаций
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ
ИМ. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТПМ СО РАН)

УДК 532.5/535.8
№ госрегистрации 01201351879
Инв. № 12/17



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТПМ СО РАН
чл.-корр. РАН

А.Н. Шиплюк

29 декабря 2016 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ГАЗОДИНАМИКИ
(заключительный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0323-2014-0011

Приоритетное направление III.22. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных
и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва

Программа ФНИ СО РАН III.22.6. Исследование физических проблем управления
до- сверх- и гиперзвуковыми течениями неравновесных газовых и плазменных сред

Протокол Ученого совета ИТПМ СО РАН
№ 12 от 01 декабря 2016 г.

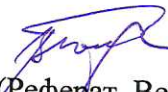
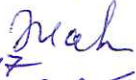
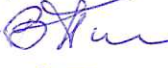
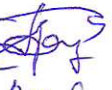





Руководитель проекта
д.ф.-м.н.

В.М. Бойко

Новосибирск 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

...

1. Руководитель работы,
гл. научный сотрудник, зав. лаб., д.ф.-м.н.  Бойко В.М.
10.01.2017 (Реферат, Ведение, раздел 2.1.1, Заключение)
2. гл. научный сотрудник, д.т.н., профессор  Жаркова Г.М. (раздел 2.2.1, 2.2.2)
10.01.2017
3. гл. научный сотрудник, д.ф.-м.н.,  Пикалов. В.В. (раздел 2.3)
12.01.17
4. ст. научный сотрудник, д.ф.-м.н.  Поплавский С.В. (раздел 2.1.1)
10.01.2017
5. ст. научный сотрудник, к.т.н.  Коврижина В.П. (раздел 2.2.1, 2.2.2)
10.01.2017
6. ст. научный сотрудник, к.т.н.  Петров А.П. (раздел 2.2.1, 2.2.2)
10.01.2017
7. ст. научный сотрудник, к.т.н.  Самсонова И.В.
12.01.17
8. научный сотрудник, к.ф.-м.н.  Павлов Ал-й А. (раздел 2.1.2)
12.01.17
9. мл. научный сотрудник, к.ф.-м.н.  Голубев М.П. (раздел 2.1.3)
10.01.2017

РЕФЕРАТ

Объем отчета: страниц - 44, рисунков - 22.

Дата начала и окончания НИР: (2013-2016)

Ключевые слова и словосочетания: газовые и двухфазные потоки, оптическая диагностика, теневая визуализация, интерференция, PIV, веерная томография, полимерно-жидкие кристаллы, жидкокристаллические композиты, наноразмерные добавки.

Целью Проекта является дальнейшее развитие оптических методов исследования газовых и двухфазных потоков, разработка новых методов и их реализация на аэрофизических установках, модификация известных методов в плане улучшения их метрологических характеристик.

Краткая характеристика полученных в 2016 г. результатов:

Разработана и апробирована методика оценки распределения интегральной по пути зондирующего излучения плотности и её пульсаций с помощью интерференционного метода на основе АВТ НП. Впервые оптическим методом АВТ НП получены поля плотности в вихревом следе за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325.

Разработана и апробирована модификация панорамного оптического метода регистрации тепловых потоков на криволинейных поверхностях и в установках, где невозможно обеспечить ввод/вывод модели в набегающий поток.

С целью непрерывного измерения скорости частиц в высокоскоростных двухфазных потоках разработан новый подход к созданию следящей схемы ЛДА с прямым спектральным анализом доплеровского сдвига частоты на базе серийного анализатора спектра «Wave Length Meter WS-7» производства фирмы «Ангстрем» (Россия), создан прототип ЛДА и проведены его испытания на газожидкостной струе в диапазоне скоростей 80 – 600 м/с, доказавшие его работоспособность.

Выполнена модификация калибровочного стенда, что позволило осуществить в одном пуске одновременную калибровку оптического отклика ЖК в широком диапазоне касательных напряжений. Проведены тестовые испытания по применению ЖК покрытий для панорамной диагностики касательных напряжений на стенке канала с выступом. Разработанные составы ЖК покрытий, чувствительных к трению, методика их применения переданы в ЦАГИ, где в аэродинамической трубе Т-128 ЦАГИ на различных режимах проведены испытания ЖК покрытий для панорамной диагностики касательных напряжений на модели конуса.

Выполнены исследования оптических свойств полимерно-жидкокристаллических композитов, модифицированных наночастицами лантаноидов (Y₂O₃, CeO₂:Y₂O₃, Nd₂O₃:Y₂O₃).

Разработан итерационный алгоритм, сочетающий в себе решение большой системы линейных алгебраических уравнения (СЛАУ), совместно с регуляризацией решения в Фурье пространстве методом Гершберга-Папулиса, учитывающим оценку уровня экспериментального шума. Разработанным методом томографии дифференциального интерференционного контраста (ДИК-томографии) впервые получены трехмерные изображения клеток крови с повышенным фазовым контрастом

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	5
2. Основные результаты этапа 2016 года	7
2.1.1. Схема ЛДА с прямым спектральным анализом для измерения скорости частиц в высокоскоростных двухфазных потоках с высокой концентрацией дисперсной фазы	7
2.1.2. Адаптация АВТ НП метода для получения поля плотности в вихревом следе за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325.	10
2.1.3. Адаптация панорамного оптического метода регистрации полей тепловых потоков для применения на криволинейных поверхностях	16
2.2.1. Создание стенда и испытание нового подхода к калибровке оптического отклика ЖК покрытий, чувствительных к касательным напряжениям	20
2.2.2. Исследование влияния энергии засветки и температуры на морфологию полимер-диспергированных жидких кристаллов, допированных наночастицами лантаноидов, и их электро-оптические свойства	22
2.3. Блок 3. Разработка метода обработки данных томографической сдвиговой интерферометрии и алгоритмов получения реконструкции трехмерных фазовых неоднородностей по их сдвиговым интерферограммам	26
3. Заключение.	28
4. Публикации.	31
4.1. Основные	31
4.2. Дополнительные	34
4.3. Труды конференций и тезисы докладов	36
5. Разработанное оборудование и другие показатели, свидетельствующие об успешном выполнении этапа	44

1. Введение

В современной экспериментальной аэрогазодинамике важная роль отводится проблеме оптической диагностики одно- и двухфазных газодинамических потоков. Именно потребность обеспечения уникальных экспериментальных установок ИТПМ СО РАН (в том числе: дозвуковая Т-324, сверхзвуковая Т-313, гиперзвуковая Т-326, импульсная АТ-303 аэродинамические трубы) современными измерительными методиками обуславливает, в первую очередь, необходимость выполнения данного проекта.

Целью проекта является дальнейшее развитие панорамных оптических методов исследования газовых и двухфазных потоков, разработка новых методов и их реализация на аэрофизических установках, модификация известных методов в плане улучшения их метрологических характеристик и адаптации к аэрофизическим экспериментам.

В проекте представлен ряд исследовательских задач, объединённых в три блока:

Блок 1. *Ответственный исполнитель: г.н.с., зав. лаб. I, д.ф.-м.н. Бойко В.М.*

Разработка, исследование и применение оптических методов диагностики при изучении нестационарных высокоскоростных одно- и двухфазных течений

Блок 2. *Ответственный исполнитель: г.н.с., д.т.н. Г.М. Жаркова*

Создание и исследование новых пленочных функциональных материалов для панорамной диагностики давления и поверхностного трения в пристенных течениях

Блок 3. *Ответственный исполнитель: г.н.с. лаб. I3, д.ф.-м.н. В.В. Пикалов*

Разработка методов решения обратных задач в диагностическом газодинамическом эксперименте

Все основные результаты, полученные за время выполнения проекта 2013-2016 гг., приведены в кратком изложении в Заключении данного отчета. Расширенно представлены лишь результаты 2016 года. Основные направления работы по проекту в 2016 году сводятся к следующему:

- Блок 1:
- Создание схемы ЛДА с прямым спектральным анализом для измерения скорости частиц в двухфазных потоках с высокой концентрацией дисперсной фазы.
 - Адаптация АВТ НП метода для получение поля плотности в вихревом следе за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325
 - Адаптация панорамного оптического метода регистрации полей тепловых потоков для применения на криволинейных поверхностях.
- Блок 2:
- Разработка ЖК композиций, создание стенда и испытание нового подхода к калибровке оптического отклика ЖК покрытий, чувствительных к касательным напряжениям, с целью расширения диапазона исследуемых режимов и сокращения

количества экспериментов.

- Исследование влияния энергии засветки и температуры на морфологию полимер-диспергированных жидких кристаллов, допированных наночастицами лантаноидов, и их электро-оптические свойства.

- Блок 3:
- Разработка метода обработки данных томографической сдвиговой интерферометрии, создание библиотеки тестовых двумерных и трехмерных оптических неоднородностей и алгоритмов получения реконструкции трехмерных фазовых неоднородностей по их дифференциальным интерферограммам

2. Основные результаты этапа 2016 года

2.1.1. Схема ЛДА с прямым спектральным анализом для измерения скорости частиц в высокоскоростных двухфазных потоках с высокой концентрацией дисперсной фазы

Отв. исп.: с.н.с. д.ф.-м.н. Поплавский С.В.

Создан прототип Лазерного Доплеровского Анемометра (ЛДА) с прямым спектральным анализом рассеянного света для аэрофизических экспериментов, и в частности для измерения скорости частиц в высокоскоростных концентрированных двухфазных потоках. Это новый подход к реализации схемы ЛДА, основанный на измерении доплеровского сдвига частоты с помощью серийного анализатора спектра с высоким спектральным разрешением High Precision Wavelength Meters: WS HighFinesse Angstrom Series производства фирмы «Angstrom» (Россия). Внешний вид WS-7 показан на рис. 1.1 (5). Прибор выполнен в формате «закрытой архитектуры» в едином компактном теплоизолированном шумопоглощающем корпусе с вводом опорного и рассеянного света с помощью оптоволокон. Это позволяет располагать прибор вдали от экспериментальной установки вне зоны повышенной вибрации, акустического воздействия и других факторов, затрудняющих работу оптических элементов прибора и вычислительной техники.

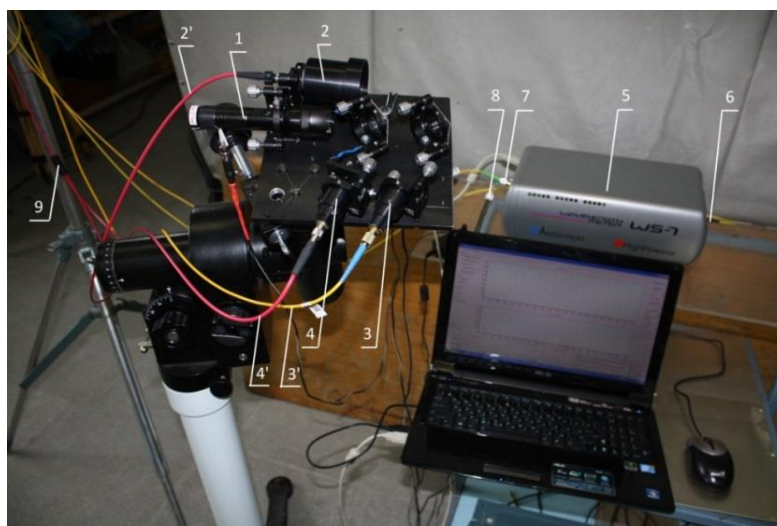


Рис. 1.1. Общий вид ЛДА на основе серийного спектрально прибора «Wavelength Meters WS-7»:
1 – лазер, 2 – приемный коллиматор рассеянного света, 3 – коллиматор опорного луча, 4 – коллиматор калибровочного луча, 5 – Wavelength Meters WS-7, 6 – вход опорного световода 3', 7 – вход световода 9, суммирующего световоды 2' и 4'.

Периферия прибора это единый зонд, в котором расположены все внешние элементы оптической схемы: лазер 1 и три коллиматора для сбора опорного 3, 4 и рассеянного 2 света, согласованных со стандартными коннекторами оптоволокон. Опорный свет от коллиматора 3 подается в прибор всегда и служит нулевой отметкой, относительно которой определяется Доплеровский сдвиг частоты рассеянного света. Рассеянный свет собирается коллиматором 2, имеющим апертуру 50 мм и фокусное расстояние 45 мм. Это позволяет собирать достаточно рассеянного света из двухфазного потока с расстояния 500-700 мм в режиме рассеяния «назад». Второй опорный коллиматор 4 включается с задаваемой периодичностью одновременно с

выключением световода 2', так что через сумматор 9 на вход 6 вместо рассеянного света от объекта подается свет от второго опорного коллиматора 4. В этот момент на входы прибора 6 и 7 подаются два идентичных потока излучения от лазера, и происходит обнуление опорного канала. Это исключает возможную нестабильность прибора и позволяет использовать не стабилизированные по частоте лазеры. Отключение канала 2' и включение канала 4' происходит синхронно с помощью микрозатворов, управляемых программным обеспечением Wavelength Meters с периодичностью, задаваемой в зависимости от конкретных условий эксперимента (стационарный или нестационарный поток) и состояния лазера (мощность, стабильность).

Использовался твердотельный Nd:YAG DPSS-лазер с полупроводниковой накачкой мощностью ~ 150 мВт на рабочей линии ($\lambda=0.532\text{мкм}$). Недостатком этого лазера является невысокая стабильность – дрейф частоты может составлять ~ 1 МГц/мин, но описанная выше автоматизированная процедура калибровки сводит к минимуму влияние этого фактора, поскольку дрейф частоты источника одинаков для опорного и полезного излучения, а разница их частот – режим компаратора - определяется чисто Доплеровским сдвигом f_D . Эта величина далее используется для вычисления проекции вектора скорости трассеров на направление k_0 (см. рис.1.2) по формуле $V = \lambda_0 * f_D / (\cos \alpha + \cos \beta)$.

Спектральный прибор в анализаторе WS-7 – это клинообразный интерферометр Физо-Толанского с базой $L = 40\text{мм}$. Его интерференционная картина представляет собой полосы равной толщины, что удобно для получения цифрового образа, но самое важное – здесь имеет место линейная зависимость сдвига полос от сдвига частоты излучения, что повышает точность. Область свободной дисперсии данного интерферометра $\text{ОСД} = c/2L = 3.75\text{ ГГц}$ позволяет измерять скорость в попутном направлении вплоть до $V = c f_D / f = \lambda f_D \sim 1500\text{ м/с}$ (c – скорость света, f и f_D частота излучения и доплеровский сдвиг частоты). Эта оценка получена для случая, когда достигается доплеровский сдвиг частоты $f_D = 3.75\text{ ГГц}$ (ОСД данного интерферометра), но это далеко не предел для схемы. Как показано на рис.2 геометрические факторы – углы между вектором скорости \mathbf{V} , направлением осветителя α и осью приемного коллиматора β – могут быть выбраны так, что предел измеряемой скорости согласно (1) существенно увеличится.

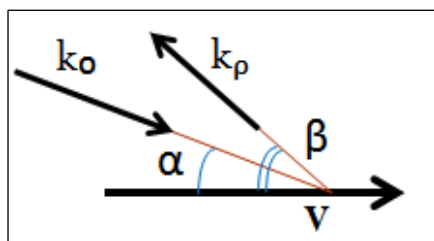


Рис. 1.2. Схема взаимного расположения вектора скорости \mathbf{V} и волновых векторов падающего k_0 и рассеянного k_p света с углами α и β соответственно

Две интерференционные картины (рассеянного и опорного света) регистрируются одновременно каждая своей светодиодной линейкой с разрешением 2048 пиксел (рис. 1.3, нижний и верхний графики соответственно) и анализируется в ПК в режиме компаратора.

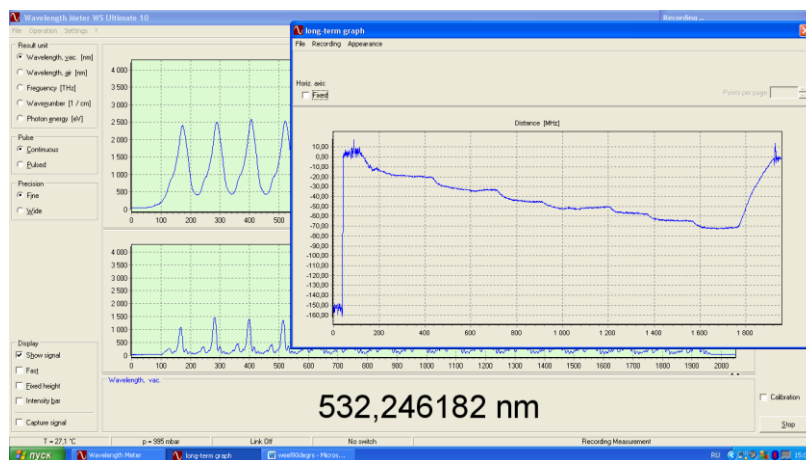


Рис. 1.3. Интерфейс программного обеспечения Wavelength Meters WS-7: в основном окне интерференционные полосы рассеянного и опорного света (верхний и нижний графики); переднее окно – разница частот рассеянного на тестовом объекте и опорного света от времени; сетка с интервалом 10 МГц; внизу – зарегистрированная длина волны опорного света

Программное обеспечение прибора включает математический алгоритм, позволяющий определять относительный сдвиг полос опорной и предметной интерференционной картины с подпиксельной точностью, что вкупе с конструктивными особенностями оптической части обеспечивает высокую разрешающую способность WS-7.

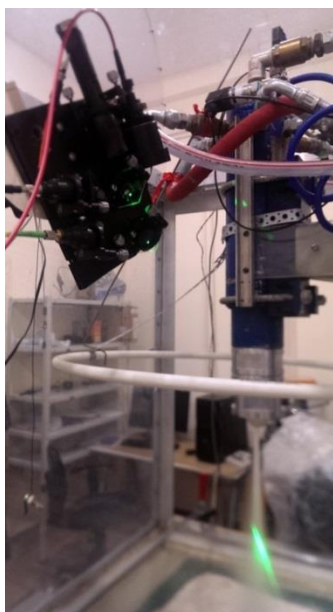


Рис.1.4. Испытания прототипа ЛДА на высокоскоростной газожидкостной струе

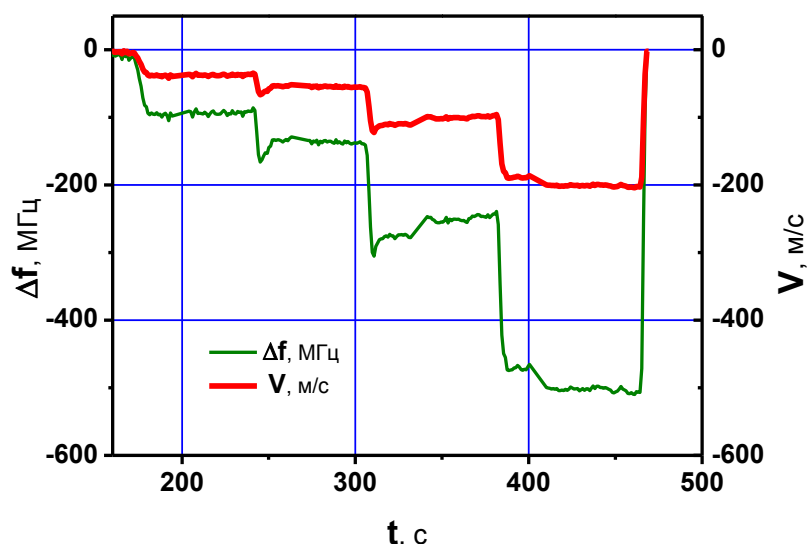


Рис.1.5. Результаты измерения скорости капель в высокоскоростной газожидкостной струе

Прототип ЛДА испытан на высокоскоростной газожидкостной струе (рис.1.4, рис.1.5) и показал работоспособность на рассеянии «назад».

2.1.2. Адаптация АВТ НП метода для получения поля плотности в вихревом следе за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325 (Отв. исп.: к.ф.-м.н. Павлов Ал.А.)

Разработана и апробирована методика оценки распределения интегральной по пути зондирующего излучения плотности и её пульсаций с помощью интерференционного метода на основе АВТ НП. С её помощью впервые при сверхзвуковых скоростях получены экспериментальные оценки распределения интегральной плотности и спектральных характеристик течения в ядре продольного вихря и его окрестности. Методика позволяет получать количественные данные по результатам одного просвечивания исследуемого трёхмерного течения. Впервые оптическим методом АВТ НП получены поля плотности в вихревом следе за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325.

При проведении экспериментов в сверхзвуковых аэродинамических трубах широко применяются оптические методы диагностики. Однако большинство из них используется для визуализации течения, то есть получения качественной информации о структуре потока в исследуемой области. Примером такой задачи является исследование гистерезиса при маховском отражении ударных волн (Иванов М.С. с сотрудниками). К настоящему времени выполнено большое число расчётно-теоретических и экспериментальных исследований, посвященных данной задаче. При этом в экспериментах, как правило, проводилась только визуализация течения, и все количественные оценки получены для геометрических параметров (углы наклона клиньев, скачков уплотнения и т.п.).

Однако интерференционные методы позволяют получать не только качественную, но и количественную информацию об изменении длины оптического пути зондирующего излучения, проходящего через исследуемую неоднородность. Изменение плотности воздуха в потоке, приводит к смещению интерференционных полос на интерферограмме. Пусть до включения потока разность порядков интерференции (номеров интерференционных полос) для точек (x, y) и (x_0, y_0) на регистрируемом изображении составляла $\Delta N_0 = N(x, y) - N(x_0, y_0)$. Тогда после включения потока будем иметь

$$\Delta N(x, y) = \Delta N_0 + \frac{S(x, y) - S(x_0, y_0)}{\lambda} = \Delta N_0 + \frac{\xi}{\lambda} \int_0^L [\rho(x, y, z) - \rho(x_0, y_0, z)] dz, \quad (1)$$

где λ – длина волны зондирующего излучения; ξ – постоянная Гладстона-Дэйла; L – ширина рабочей части установки; ρ – плотность воздуха; S – длина оптического пути.

Формально, путем решения интегрального уравнения (1) можно найти пространственное распределение плотности в исследуемом течении. Однако по одному подобному уравнению получить общее решение невозможно. Для этого необходимо иметь континуум уравнений для разных направлений просвечивания неоднородности в диапазоне 180° . И только в некоторых

случаях, например для объектов с осевой симметрией, возможно получение решения по данным одного направления просвечивания. При исследовании трёхмерных течений в аэродинамических трубах, как правило, весьма затруднительно получить экспериментальные данные даже для нескольких направлений просвечивания.

С другой стороны, в настоящее время существуют эффективные методы численных расчетов для сложных трехмерных потоков. Сравнение результатов расчетов и эксперимента позволило бы судить об эффективности, как экспериментальной методики, так и алгоритма расчета. Но указанные выше причины не позволяют экспериментально получить информацию о полях плотности, необходимую для сравнения с численными расчетами. Однако для валидации получаемых результатов нет необходимости решать обратную задачу для нахождения распределения полей плотности по интерферометрическим данным. Более правильно проводить прямое сравнение сдвига полос, полученное из численных расчётов, с экспериментальными данными.

Задача численного определения сдвига полос является прямой, и ее решение может быть легко получено из найденного расчетным путем распределения плотности. Это позволяет исключить необходимость решения обратной, условно некорректной задачи, по нахождению распределения плотности используя интегральные уравнения (1). Даже для трехмерных объектов и для одного направления просвечивания, совпадение численных и экспериментальных значений ΔN позволяет более уверенно судить как об адекватности численных расчетов, так и о применимости экспериментальной методики.

В настоящей работе представлен пример комплексного подхода к изучению сложного течения – маховского отражения ударных волн. Эксперименты выполнены в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН. Для формирования системы ударных волн разной интенсивности использовалась модель из двух встречных клиньев с острой кромкой. Ширина клиньев составляла 100 мм. Отношение размаха клина к хорде – 3.25. Представленные в работе экспериментальные данные получены при числе Маха $M = 3$, полном давлении в форкамере 2.1 МПа, температуре торможения 282 К. Единичное число Рейнольдса, соответствующее условиям эксперимента составляло $26 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$. Угол отклонения потока на скачке уплотнения составлял 23° .

Регистрация интерферограмм осуществлялась с использованием НП АВТ метода (НП – насыщение поглощения; АВТ – адаптивный визуализирующий транспарант). Данный метод является развитием АВТ метода, впервые предложенного, разработанного и апробированного нами в предыдущих работах. НП АВТ – самонаводящийся фильтр типа Цернике представляет собой тонкий слой (около 50 μm), изготовленный из поглощающего вещества, размещенный в фокальной плоскости приемного коллиматора шлирен-системы вместо ножа Фуко. Фильтр

просветляется под действием сфокусированного зондирующего излучения. Эффект просветления является нелинейными и существенен только при достаточно высокой интенсивности излучения.

В нашем случае, основная доля излучения прошедшего через исследуемую неоднородность приходится на низкие пространственные частоты, и фокусируется в точке, соответствующей фокусировке исходного пучка. Именно в этой точке происходит просветление НП АВТ. Это равносильно добавлению плоской волны в плоскости изображения. В результате формируется интерферограмма в бесконечной полосе, что позволяет получать данные о плотности потока. Для интерферограмм в бесконечной полосе $\Delta N_0 = 0$ в выражении (1). На рис. 1.6, *a* представлена типичная интерферограмма, полученная в ходе экспериментов.

Трёхмерное численное моделирование исследуемого течения выполнено с помощью разработанного в лаборатории «Вычислительной аэродинамики» ИТПМ комплекса программ CFS3D для решения уравнений Эйлера и Навье–Стокса, надёжно апробированного при исследовании пространственной структуры регулярного и маховского отражения между двумя клиньями или пластинами конечного размаха. Численный алгоритм основан на конечно-объёмной TVD схеме 4-го порядка. Расчёты проводились методом установления по времени. Критерием установления течения считалась неизменность положения маховского скачка. В расчётах использовалась трёхмерная структурированная сетка с общим числом ячеек 7.5 млн. На рис. 1.6, *b* представлена численная интерферограмма, полученная из расчетных данных распределения плотности для соответствующей нашим экспериментам длины волны зондирующего излучения $\lambda = 532 \text{ nm}$. Видно, что качественно, картина течения хорошо соотносится с результатами, полученными в процессе эксперимента (рис. 1.6, *a*).

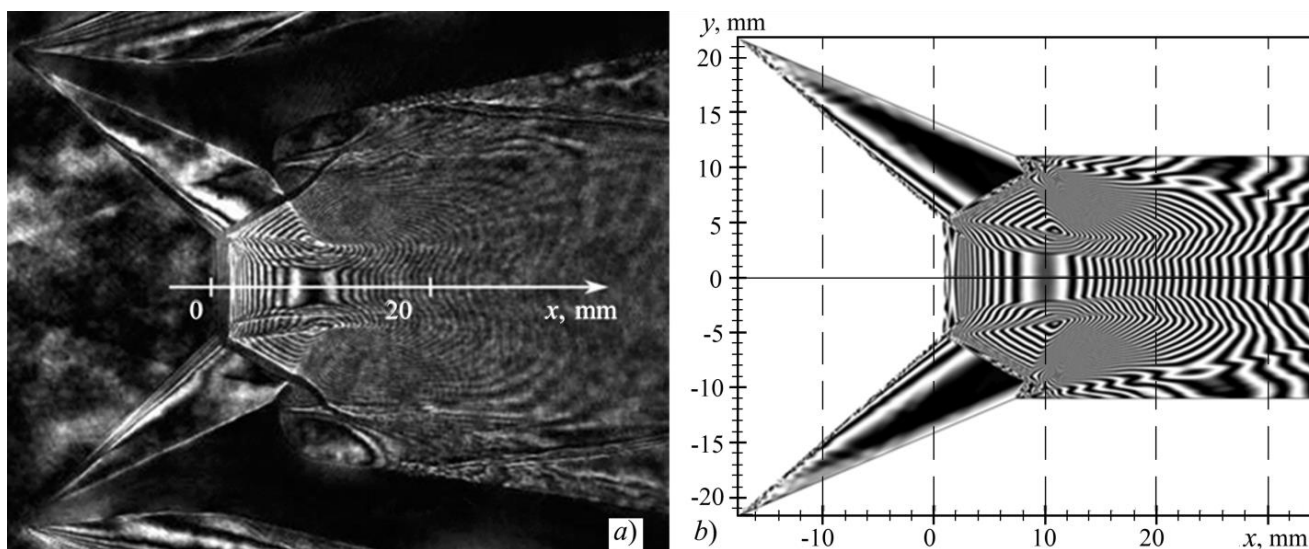


Рис.1.6. Интерферограммы течения: *a*) эксперимент; *b*) расчёт

При численном моделировании рассчитывалось распределение плотности в безразмерном виде $\rho(x, y, z) / \rho_0$, где ρ_0 – плотность набегающего потока (рис. 1.7). Результаты расчётов

подтвердили основные особенности трехмерной структуры течения, такие как немонотонность изменения высоты маховского скачка по размаху и существование периферийного маховского отражения. Были выявлены следующие особенности распределения плотности в «виртуальном сопле» за ножкой Маха: плотность по длине сопла уменьшается, а интегральная по поперечной координате плотность, изменяется не монотонно. Несмотря на то, что плотность падает, интеграл непосредственно за скачком растёт, вследствие увеличения размеров пути интегрирования (см. рис. 1.7, *b* и рис. 1.8, *b*).

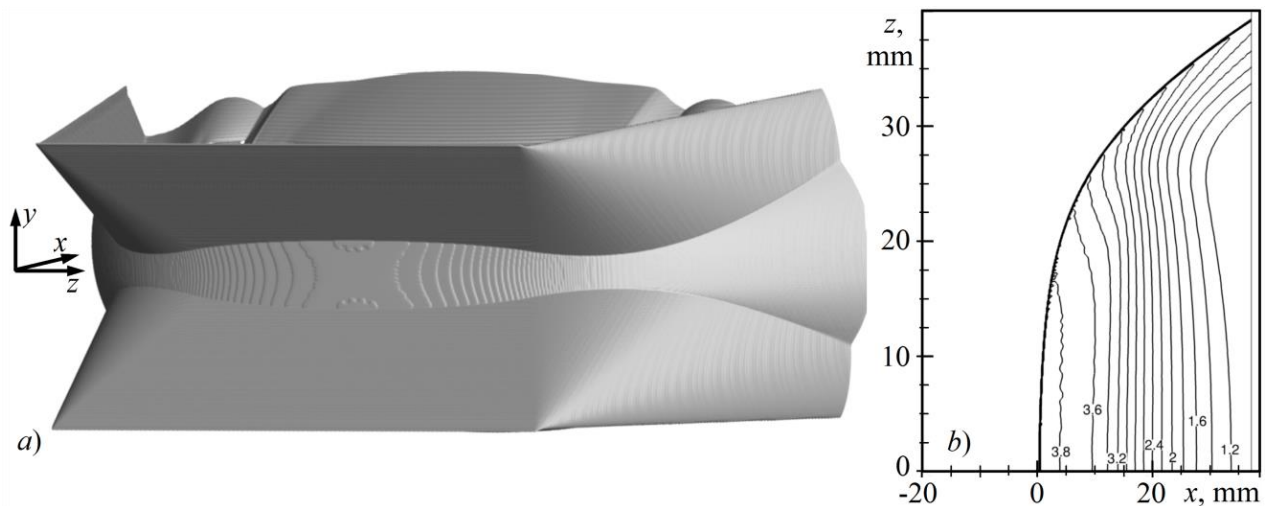


Рис. 1.7. Результаты численного моделирования: *a*) изоповерхность $\rho / \rho_0 = 1.1$; *b*) изолинии ρ / ρ_0 в горизонтальной плоскости симметрии ($y = 0$).

Сравнение результатов численного моделирования и экспериментальных данных проводилось вдоль оси симметрии течения ($y = 0$) для величины

$$\Delta L(x) = \int_0^L \left[\frac{\rho(x, z)}{\rho_0} - \frac{\rho(x_b, z)}{\rho_0} \right] dz$$

Для определения значения $\Delta L(x, y)$ из экспериментальных данных для каждого сечения $x = \text{const}$ определялся номер интерференционной полосы относительно базовой точки x_b , которая соответствовала на интерферограмме первой различимой за ножкой Маха полосе:

$$\Delta N(x) = N(x) - N(x_b).$$

Далее определялось экспериментальное значение $\Delta N(x)$ по формуле

$$\Delta L(x) = \frac{\lambda \Delta N(x)}{\xi \rho_0}.$$

Результаты численного моделирования были использованы при трактовке экспериментальных данных. При расшифровке интерферограмм не всегда возможно однозначно определить зависимость номера полосы от координаты: рост, убывание, наличие экстремума. Для выбора этой зависимости необходимы данные о поведении оптического пути, которые не могут быть получены непосредственно из интерферограмм. В нашем случае существует четыре

возможных варианта поведения зависимости интегральной плотности (номера интерференционной полосы) от координаты вдоль оси виртуального сопла (рис. 1.8, *a*). Эта информация, а также значение $\Delta L(x_b)$ (метка 3 на рис. 1.8, *b*) была получена именно из результатов численного моделирования.

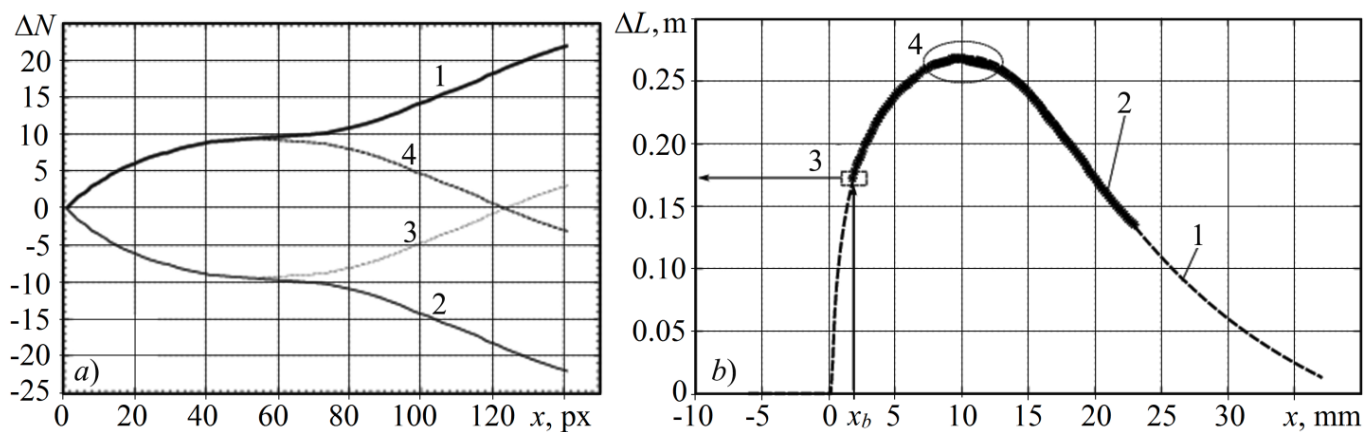


Рис. 1.8. Сравнение результатов расчета с результатами, полученными по экспериментальным интерферометрическим данным: *a*) возможные варианты поведения зависимости номера полосы от координаты на изображении (в пикселях); *b*) распределение интегральной плотности вдоль оси «виртуального сопла».

На рис. 1.8, *b* представлено сравнение результатов расчета и расшифровки интерферограмм. Хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных подтверждает работоспособность и достоверность результатов, полученных с использованием НП АВТ метода и его перспективность. Использование такого комплексного подхода позволило впервые в эксперименте получить количественную информацию о распределении интегральной (по длине оптического пути) плотности и получить необходимые данные для валидации результатов численного моделирования и экспериментальных измерений интегральной плотности.

В 2016 году продолжены разработка и апробирование методики оценки распределения интегральной по пути зондирующего излучения плотности и её пульсаций с помощью интерференционного метода на основе адаптивных визуализирующих транспарантов на эффекте насыщения поглощения (АВТ НП).

С её помощью впервые при сверхзвуковых скоростях получены экспериментальные оценки распределения интегральной плотности и спектральных характеристик течения в ядре продольного вихря и его окрестности.

Методика позволяет получать количественные данные по результатам одного просвечивания исследуемого трёхмерного течения.

На рис.1.9, рис.1.10 приведены экспериментальные и расчетные данные о распределении интегральной плотности в ядре вихревого следа. Данные по единичным кадрам (кривые 2 на рис.1.10) достаточно хорошо согласуются с профилем интегральной плотности для стационарного расчетного вихря. Видно, что, несмотря на колебания интегральной плотности в потоке и в погранслоях на оптических окнах установки, сравнимой по величине с ее перепадом в ядре вихря, удается надежно зафиксировать положение ядра. Кривая 3 на графике имеет большую ширину в связи с вертикальными колебаниями вихревого ядра.

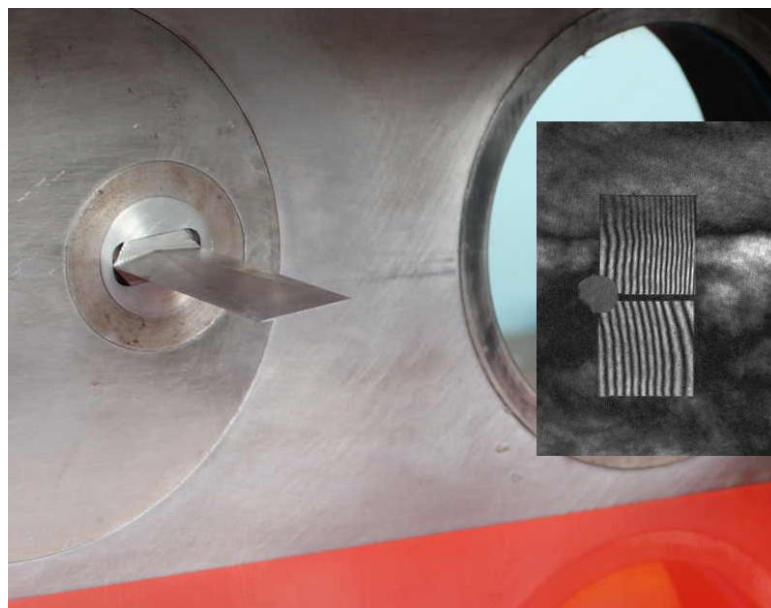


Рис. 1.9. Модель крыла в рабочей части аэродинамической трубы и интерферограмма вихревого следа в конечных полосах (слева);

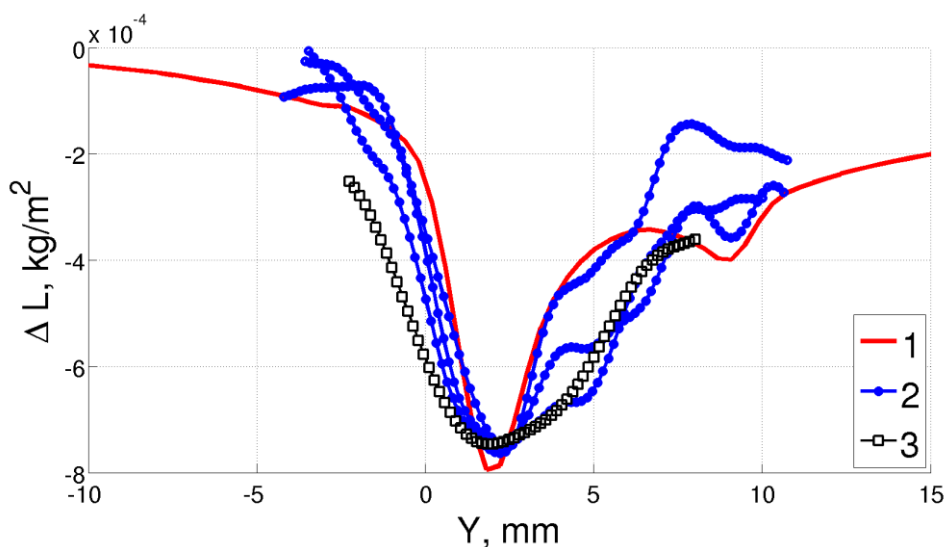


Рис. 1.10. Распределение интегральной плотности $\Delta L = \int_0^L (\rho - \rho_\infty) dz$ поперёк вихревого ядра: 1 — расчетные данные ($M=2.5$), 2 — экспериментальные данные для $M=3$, полученные по отдельным кадрам (1 мкс), 3 - осреднённое по времени значение для 600 кадров (частота съемки – 3.2 кГц, 1 мкс, $M=3$).

2.1.3. Адаптация панорамного оптического метода регистрации полей тепловых потоков для применения на криволинейных поверхностях (Отв. исп.: к.ф.-м.н., Голубев М.П.)

Разработана и апробирована модификация панорамного оптического метода регистрации тепловых потоков, позволяющая проводить визуализацию параметра на криволинейных поверхностях и в установках, где невозможно обеспечить ввод/вывод модели в набегающий поток. В качестве чувствительного слоя используются интерференционные теплочувствительные тонкоплёночные покрытия (10-100 мкм), подогреваемые через контактную с моделью поверхность.

Применение оптического метода регистрации тепловых потоков на криволинейных поверхностях ограничено, вследствие необходимости проводить отраженные от оптического слоя лучи зондирующего излучения через приемную оптику. Последние, из-за существенной кривизны поверхности модели, могут проходить под значительным углом к оптической оси системы, попадая на боковые стенки оптических элементов, либо вовсе миновать входную апертуру, что приводит к потере части интерферограммы или к ее полному отсутствию. Кроме того, изготовление оптических датчиков с внешней и внутренней поверхностями оптического качества под профиль поверхности является очень сложной и трудоёмкой задачей.

Для преодоления указанных трудностей применен подход аналогичный методу регистрации поверхностного трения на криволинейных поверхностях. При этом оптический датчик выполнен в виде тонкой плёнки, а интерферограммы регистрируются в отраженном диффузном свете.

Однако, соотношения, позволяющие получить связь регистрируемого теплового потока со сдвигом полос на интерферограмме, получены в предположении малости теплового потока через внутреннюю границу оптического слоя, что достаточно трудно обеспечить при работе с тонкими слоями. Кроме того реализация данного метода на аэродинамических установках, где невозможно на время выхода установки на рабочий режим изолировать модель от набегающего потока (например осуществить вывод), приводит к тому, что температуры чувствительного слоя и течения выравниваются. Это приводит к исчезновению теплового потока через границу датчика и, как следствие, к отсутствию сдвига полос на интерферограмме.

По указанным причинам схема регистрации была модифицирована (рис. 1.11). Тонкий (10-100 мкм), теплочувствительный слой (1) отливался на тонкой отражающей подложке (2) которая, далее, наносилась на теплопроводящую поверхность (3). С обратной стороны теплопроводящей поверхности наносился тонкий гибкий омический нагреватель (4).

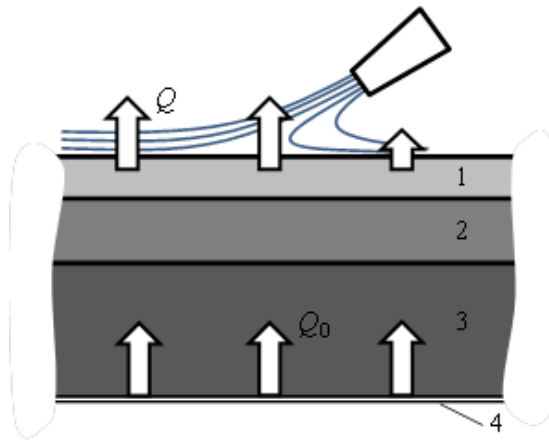


Рис. 1.11. Схема устройства датчика тепловых потоков

Теплообмен между поверхностью датчика и потоком газа при равенстве их температур отсутствует, однако, при включении омического нагревателя, тепло начинает распространяться через внутреннюю границу чувствительного слоя, что приводит к сдвигу интерференционных полос. Вместе с тем, при достижении внешней поверхности, величина теплового потока переходящего в набегающий поток газа тем больше, чем больше коэффициент теплообмена в данной точке. Таким образом, теплочувствительный слой регистрирует разницу тепловых потоков через поверхности, работая в дифференциальном режиме.

$$Q_0 - Q = k \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

При однородности теплового потока Q_0 по поверхности модели регистрируемый сдвиг полос визуализирует величину Q .

Для проверки работоспособности метода были изготовлены тестовые датчики давления. Для упрощения конфигурации эксперимента использовалась плоская поверхность (рис. 1.12).

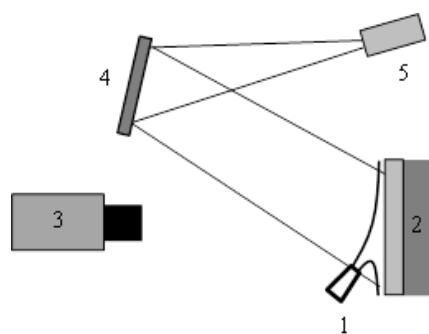


Рис. 1.12. Оптическая схема регистрации интерферограмм в диффузном свете

В качестве тестового объекта выступала дозвуковая струя, выдуваемая из трубки (1) с диаметром 1.5 мм. Ось струи была направлена под углом 30° к поверхности датчика (2). Для регистрации интерферограмм при помощи камеры (3) применялось диффузное освещение,

формируемое на вращающемся диске-диффузоре (4), который освещался расходящимся пучком лазерного излучения (5)

Тестовые эксперименты со струёй воздуха проводились в двух режимах. В первом - струя имела температуру равную температуре окружающего воздуха, а тепловой поток создавался омическим нагревателем в теле модели. Во втором - производился подогрев выдуваемого воздуха. На рис. 1.13 представлено сравнение результатов визуализации, полученных в обоих режимах.

Отработка метода для применения при сверхзвуковом режиме обтекания проводилась в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 при числе Маха набегающего потока $M = 2.5$ и числах Рейнольдса $Re = 10^6$. Модель представляла собой плоскую пластину размерами 70×100 мм² с острой передней кромкой. Датчик тепловых потоков располагался на вставке (рис. 4), изготовленной по схеме рис. 1, и был смонтирован заподлицо с поверхностью пластины. Омический нагреватель позволял получать тепловую мощность до 30 Вт. Градиент теплового потока реализовывался установкой турбулизатора на расстоянии 20 мм от передней кромки. Область измерения располагалась на расстоянии 50 мм от турбулизатора.

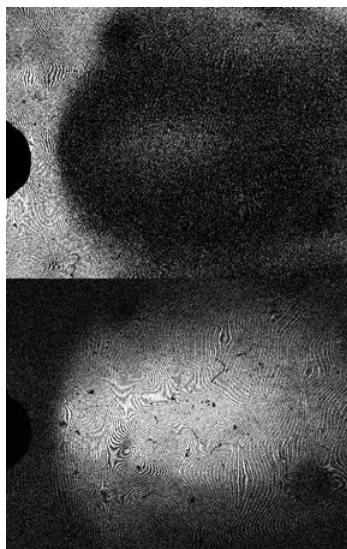


Рис. 1.13. Визуализация теплового потока с подогревом датчика (сверху) и с подогревом струи (снизу)

Отработка метода для применения при сверхзвуковом режиме обтекания проводилась в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 при числе Маха набегающего потока $M = 2.5$ и числах Рейнольдса $Re = 10^6$. Модель представляла собой плоскую пластину размерами 70×100 мм² с острой передней кромкой. Датчик тепловых потоков располагался на вставке (рис. 1.14), изготовленной по схеме рис. 1.11, и был смонтирован заподлицо с поверхностью пластины. Омический нагреватель позволял получать тепловую мощность до 30 Вт. Градиент теплового потока реализовывался установкой турбулизатора на расстоянии 20 мм от передней кромки. Область измерения располагалась на расстоянии 50 мм от турбулизатора.

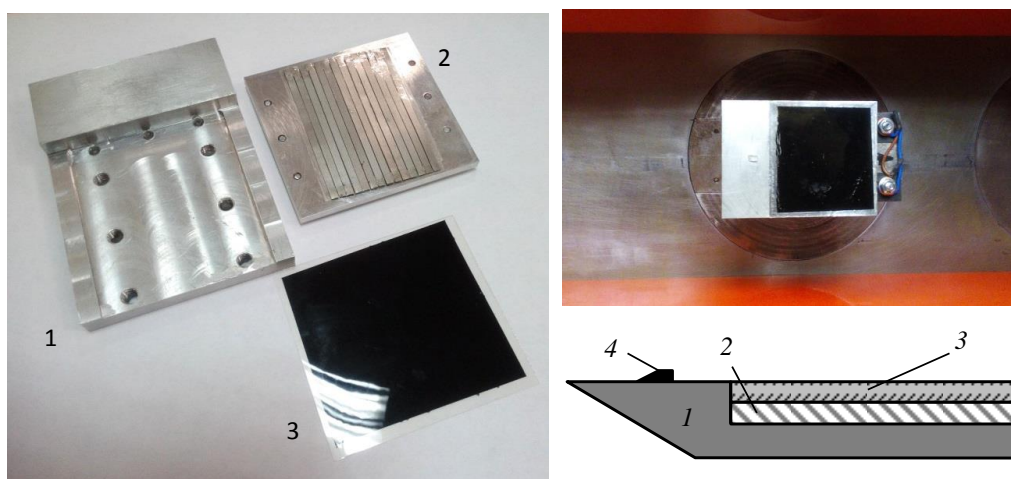


Рис. 1.14. Компоненты модели (слева) и модель в сборе, установленная в рабочей части трубы Т-325 (справа): 1 – тело модели, 2 – теплопроводящая пластина с нагревателем, 3 – чувствительный слой на подложке, 4 – турбулизатор.

После выхода на рабочий режим работы установки и остывания модели включался нагреватель, и, с частотой 10 Гц, регистрировалась серия интерферограмм. Было проведено несколько серий измерений: для разной мощности нагревателя и установленным/снятым турбулизатором. На рис. 1.15 приведен пример визуализации теплового потока в следе за турбулизатором в муаровых полосах.



Рис. 1.15. Визуализация теплового потока на плоской поверхности при сверхзвуковом режиме обтекания. Слева – за турбулизатором (пунктиром указано местоположение следа). Справа – для модели без турбулизатора (для сравнения)

При существенном повышении контраста на изображении (слева) наблюдается тёмная область, соответствующая уносу тепла через внешнюю поверхность чувствительного слоя. Для наглядности справа приведен тот же фрагмент изображения, полученного в эксперименте без турбулизатора. Из полученных данных видно, что применение тонкоплёночных термочувствительных покрытий позволяет визуализировать тепловой поток на поверхности модели, а, следовательно, является перспективным для применения на криволинейных поверхностях.

2.2.1. Создание стенда и испытание нового подхода к калибровке оптического отклика ЖК покрытий, чувствительных к касательным напряжениям.

(Исполнители: к.т.н. Ковержина В.Н., к.т.н. Петров А.П.,)

Выполнена модификация калибровочного стенда, что позволило осуществить в одном пуске одновременную калибровку оптического отклика ЖК в широком диапазоне касательных напряжений.

Для диагностики касательного напряжения поверхностного трения τ в аэродинамическом эксперименте применяются механо-оптические эффекты в тонких пленках жидких кристаллов (ЖК). Для панорамной оцифровки отклика ЖК необходимо получить калибровочную зависимость колориметрических координат от касательного напряжения τ и углового положения регистрирующей аппаратуры. Калибровочный стенд лабораторной дозвуковой аэродинамической установки позволяет реализовать режимы с уровнем касательных напряжений $\tau < 20$ Па. Стенд имеет рабочую часть с постоянным по продольной координате прямоугольным сечением 12x80 мм с прозрачной передней стенкой. ЖК покрытие наносится на заднюю стенку. При этом одному пуску соответствует один уровень касательного напряжения, индуцированного набегающим потоком на исследуемой поверхности. Чтобы сократить время калибровки и уменьшить деградацию ЖК покрытия предложено использовать суживающийся канал переменного по продольной координате прямоугольного сечения, что позволяет в одном пуске осуществить одновременную калибровку в определенных диапазонах касательных напряжений. Численное моделирование течения воздуха в канале прямоугольного сечения, переменного по продольной координате (клин 2,9 градуса длиной 160 мм) с помощью пакета *Fluent* показало, что такая конфигурация канала в расчетных случаях позволяет увеличить диапазон исследуемых в установке касательных напряжений почти в два раза, до 40 Па (Смородский Б.В.).

Для экспериментальной проверки результатов моделирования методом ЖК изготовлена новая сменная рабочая часть, состоящая из клина 2,9° длиной 160 мм и плоского участка. Эксперименты с ЖК проводились в условиях турбулентного набегающего потока с уровнем турбулентности $\varepsilon =$ в диапазоне частот (0,002-20) кГц от 4.4% (70 м/с) до 5.6% (21 м/с).

Эксперименты показали, что модифицированный калибровочный стенд позволяет сократить время калибровки, расход ЖК и расширить область применения методики. Сравнение результатов численного моделирования и измерения распределения касательного напряжения методом ЖК (рис. 2.1-2.2) показало хорошее согласование.

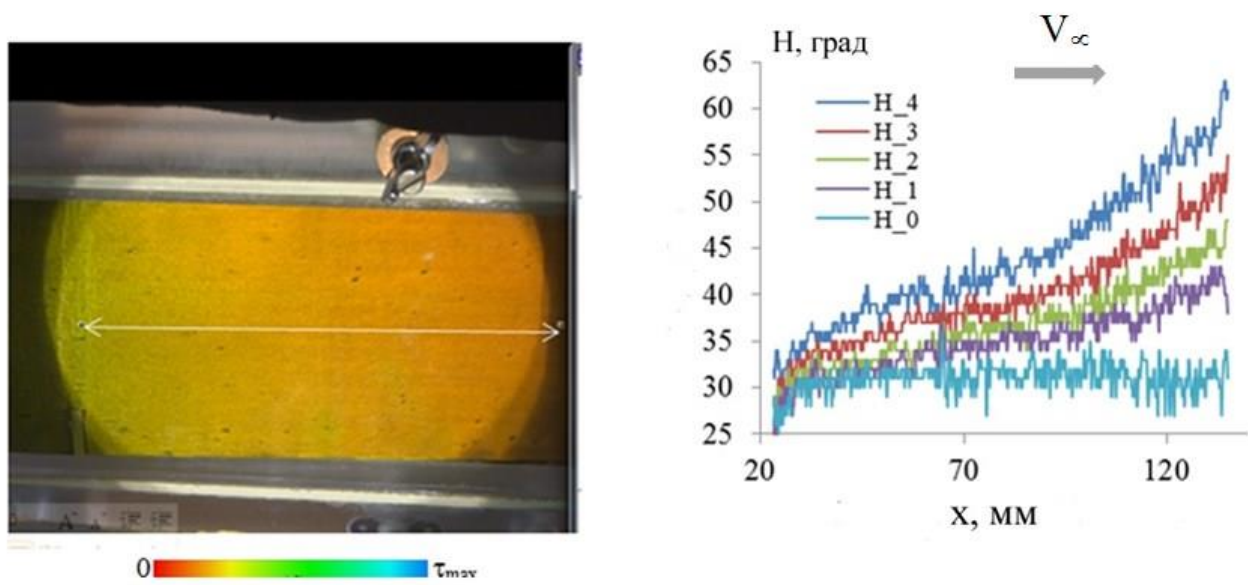


Рис.2.1. ЖК визуализация касательного напряжения на поверхности клина. Направление потока справа налево (а); изменение цветового тона на отрезке продольной оси, показанном стрелкой, (b). 0- без потока, 1 - $V_{out} = 52$ м/с; 2 - $V_{out} = 65$ м/с; 3 - $V_{out} = 79$ м/с; 4 - $V_{out} = 90$ м/с.

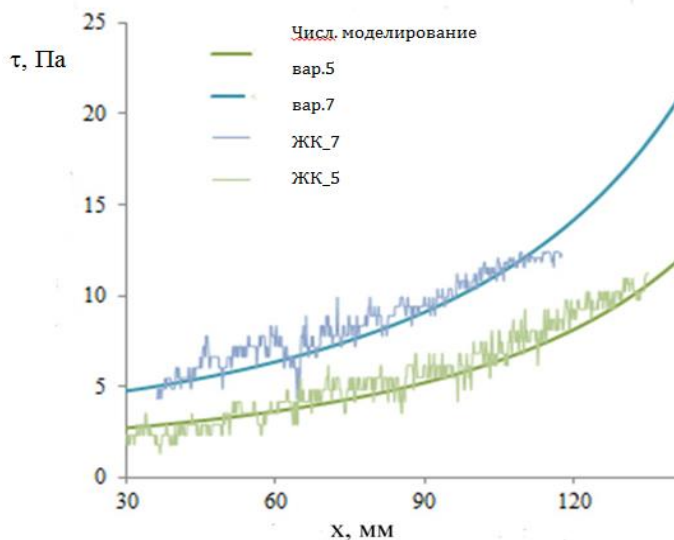


Рис. 2.2. Сравнение результатов численного моделирования и измерения распределения касательного напряжения методом ЖК. 2 случая.

2.2.2. Исследование влияния энергии засветки и температуры на морфологию полимер-диспергированных жидких кристаллов, допированных наночастицами лантаноидов, и их электро-оптические свойства (Исп: д.т.н., Г.М. Жаркова)

Выполнены исследования оптических свойств полимерно-жидкокристаллических композитов, модифицированных наночастицами лантаноидов (Y_2O_3 , $CeO_2:Y_2O_3$, $Nd_2O_3:Y_2O_3$).

В последние годы при создании новых композитных жидкокристаллических материалов широко используются добавки различных наночастиц, изменяющих их функциональные свойства. В качестве таких частиц используются кристаллические вещества, содержащие кислород. Особый интерес вызывают оксиды редкоземельных элементов - частицы иттриевой и цериевой групп. Они обладают высоким показателем преломления и прозрачностью в области длин волн 0,3 – 3 мкм, высокой диэлектрической проницаемостью, термической устойчивостью и не меняют своих свойств при длительном хранении. Кроме того, легирование оксида иттрия ионами церия и неодима приводит к значительному изменению его оптических и сегнетоэлектрических свойств, что, в свою очередь, влияет на свойства жидкокристаллических сред. Целью данной работы являлось изучение влияния частиц на ориентационные эффекты жидкокристаллических композитов под влиянием внешнего воздействия. Известно, что существует аналогия механизмов влияния различного рода внешних воздействий (механического, магнитного, электрического) на переориентацию жидких кристаллов. Поэтому для упрощения и удешевления экспериментов в качестве внешнего воздействия использовалось электрическое поле, которое легко было организовать.

В работе исследовались композиты на основе 10% раствора поливинилацетата (ПВА) в ацетоне и нематического жидкого кристалла (НЖК-5ЦБ), а также акрилатного фоточувствительного полимера. Проведены исследования по оптимизации условий формирования пленки - температуры и энергии засветки. Модификацию полимерно-жидкокристаллического композита осуществляли путем введения в его состав наночастиц Y_2O_3 , $Nd:Y_2O_3$ и $Ce:Y_2O_3$, синтезированных в Институте электрофизики Уральского отделения Российской академии наук. Частицы предварительно перемешивались на ультразвуковой мешалке (УЗМ) длительное время в изопропиловом спирте, затем в растворе ПВА. Как правило, в полимере частицы образуют агломераты, размер которых уменьшается с увеличением времени перемешивания (рис 2.3 а, б). Однако уменьшить их размеры до размеров меньше 1 мкм механическим способом не удастся. После длительного перемешивания раствора ПВА с частицами (около 20 часов) формировалась жидкокристаллическая ячейка для электрооптических исследований. Измерялись напряженность порогового электрического поля, вызывающего повышение интенсивности пропущенного

композитом света, на величину, составляющую 10% от максимальной величины пропускания, и время отклика образца на электрический импульс.

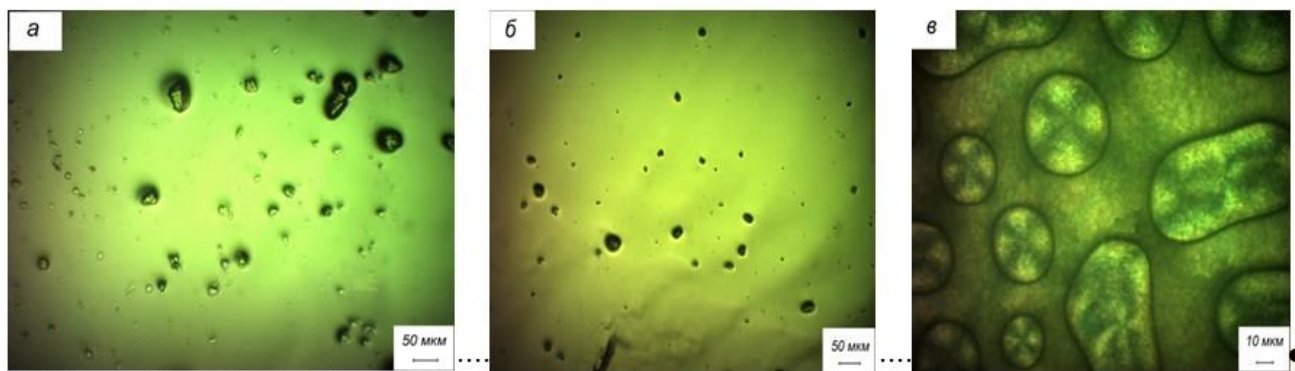


Рис.2.3. Распределение частиц оксида иттрия в пленке ПВА в зависимости от времени перемешивания: *a* - 5 мин; *б* - 60 мин; *в* - структура полимерно-жидкокристаллической пленки, сформированной после 20 час перемешивания раствора ПВА с частицами и 5 мин перемешивания с добавлением НЖК.

Установлено, что введение в состав полимерно-жидкокристаллических композитов 1% добавки порошка Y_2O_3 (по отношению к весу жидкого кристалла) приводит к заметному снижению порогового электрического поля и повышению пропускания света по сравнению с контрольным образцом композита без добавки порошка (Рис.2.4). С ростом концентрации добавки до 5% увеличивается рассеяние света наночастицами и, соответственно, снижается контраст при переключении НЖК.

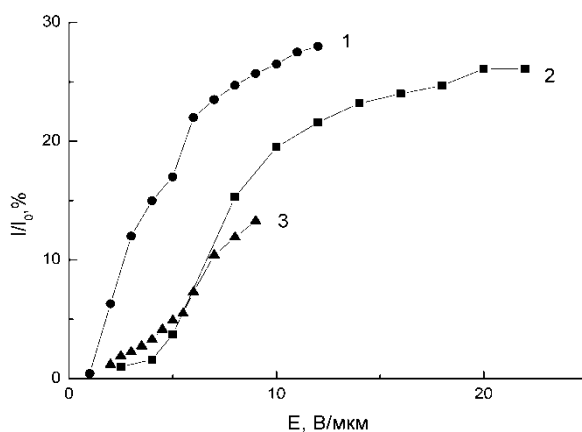


Рис.2.4. Влияние оксида иттрия на вольт-контрастные характеристики композита: 1-1% Y_2O_3 ; 2- без добавок нанопорошка; 3 -5% Y_2O_3

Далее исследовались образцы, содержащие добавку нанопорошка оксида иттрия, легированного оксидами церия и неодима, в количестве 1% от веса жидких кристаллов. В таблице 1 представлены характеристики композитов, содержащих наночастицы $CeO_2:Y_2O_3$ с различным содержанием ионов Се,

Таблица 1. Влияние состава 1% добавки наночастиц $\text{CeO}_2:\text{Y}_2\text{O}_3$, на вольт-контрастные характеристики композита.

Содержание CeO_2 в нанопорошке $\text{CeO}_2:\text{Y}_2\text{O}_3$, мол. %	E , В/мкм	$t_{\text{вкл}}$, мс	$t_{\text{выкл}}$, мс	I/I_0 , %
2,25	6,2	5,1	15	64
3,41	5,9	1,2	11	80
4,55	3,5	1	8	34,7
5,59	2,7	3,3	7,5	25,9

В таблице представлены значения напряженности электрического поля E , соответствующего полной переориентации молекул НЖК; $t_{\text{вкл}}$ – время изменения интенсивности пропускания света от 10 до 90%; $t_{\text{выкл}}$ - время, за которое изменяется пропускание света то 90 до 10% после выключения импульса; I/I_0 , - отношение интенсивности прошедшего через композит излучения к интенсивности падающего при полной переориентации молекул.

С увеличением содержания в наночастицах CeO_2 пропускание света, пороговое электрическое поле, времена включения и выключения полимерно-жидкокристаллических пленок уменьшаются. Наибольший контраст при переключении жидких кристаллов наблюдается при содержании CeO_2 в нанопорошке оксида иттрия 2 - 3 мол %.

Полученные результаты показывают изменение характеристик полимерно-жидкокристаллических композитов при введении в их состав частиц лантаноидов. Есть основание предполагать, что вводимые наночастицы, распределены в полимерной матрице, увеличивая ее диэлектрическую проницаемость и коэффициент рефракции. Это приводит к снижению управляющего поля и повышению контраста при подаче электрического импульса. С другой стороны, исследованные частицы влияют и на исходную ориентацию жидких кристаллов. Электрооптические свойства образцов зависят от исходной ориентации жидких кристаллов в полимерной матрице. Анализируя изображение капель в композитах, содержащих добавки чистого оксида иттрия, видно, что симметрия в каплях нарушается незначительно (рис.5). Присутствие же в образцах молекул оксида Ce и Nd нарушает исходную тангенциальную ориентацию молекул НЖК внутри капель.

Степень трансформации текстуры НЖК зависит от типа частиц, их концентрации и условий их синтеза. Все эти факторы оказывают влияние на характер межфазного взаимодействия полимер-НЖК, вызывая изменение морфологии пленки и ориентации НЖК внутри капли, что приводит к изменению электрооптических свойств.

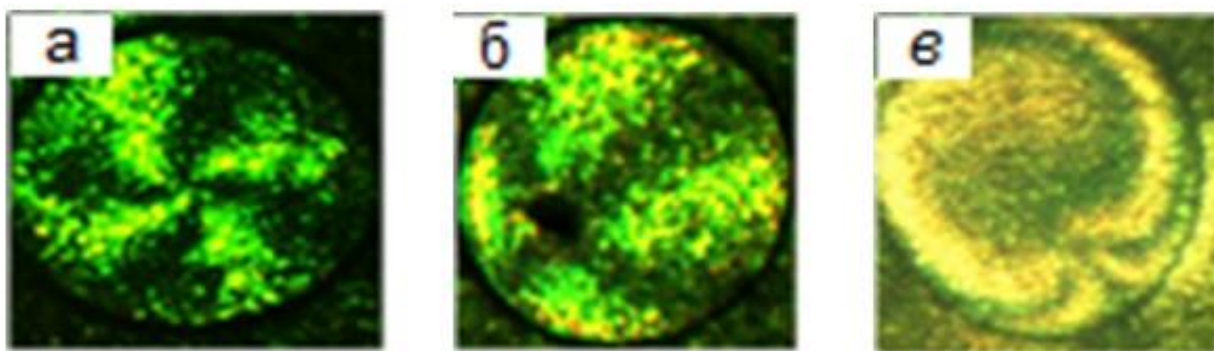


Рис.2.5. Текстура НЖК в каплях композитов: а - без добавки; б – добавка 0,9 % mol Nd:Y₂O₃- в- добавка 4,55 % Ce:Y₂O₃-В.

Таким образом, установлено, что присутствие в материале оксидов редкоземельных элементов снижает управляющее поле переориентации жидких кристаллов, а в случае композитов, содержащих нанопорошок Y₂O₃, допированный CeO₂, увеличивается контраст при переориентации жидких кристаллов в электрическом поле.

2.3. Разработка метода обработки данных томографической сдвиговой интерферометрии и алгоритмов получения реконструкции трехмерных фазовых неоднородностей по их сдвиговым интерферограммам (Исп.: д.ф.-м.н. В.В. Пикалов).

Разработан итерационный алгоритм, сочетающий в себе решение большой системы линейных алгебраических уравнения (СЛАУ), совместно с регуляризацией решения в Фурье пространстве методом Гершберга-Папулиса, учитывающим оценку уровня экспериментального шума. Развитым методом томографии дифференциального интерференционного контраста (ДИК-томографии) впервые получены трехмерные изображения клеток крови с повышенным фазовым контрастом.

ДИК-томография основана на измерениях фазовых проекций по методу сдвиговой интерферометрии. В этом методе для получения интерференционного изображения объекта вместо опорного пучка используется основной предметный пучок, сдвинутый в одном направлении (например, вдоль оси Y) на небольшое расстояние Δy . В такой схеме полученная от трехмерного фазового объекта расшифрованная интерферограмма $f(x, y)$ представляет собой производную от интегральной проекции показателя преломления этого объекта $n(x, y, z)$ вдоль направления Y . В этом приближении считается, что величина Δy достаточно мала, чтобы разностное представление $\Delta f/\Delta y$ с хорошей точностью приближало функцию df/dy . В ДИК-томографии заложена задача поиска не неизвестного распределения показателя преломления объекта (в газодинамике связанного с распределением плотности газа в потоке), а его первой производной. В работе рассмотрен именно новый метод томографии непосредственного получения $dn(x, y, z)/dy$, а не $n(x, y, z)$, что получают в обычных методах томографии. Плюс нового подхода заключается в получении более четких изображений малоконтрастных объектов.

Разработана модификация итерационного алгоритма томографической алгебраической реконструкции, совмещенной с частотной фильтрацией методом Гершберга-Папулиса. Алгоритм испытан на нескольких математических моделях, подтверждена его устойчивость к случайным экспериментальным шумам (с дисперсией в 1-5% от локальных амплитуд). Данный алгоритм был использован в реальных экспериментах с использованием оптической микроинтерферометрии биологических клеток.

На Рис.3.1-3.2 представлены трехмерные изображения клеток крови, полученные в экспериментах с использованием нового метода ДИК-томографии. На Рис.3.1 показаны две изоповерхности производной показателя преломления, величиной $+0.7$ (нормированные на максимум величин) – справа, и величиной -0.7 , - слева. На координатных плоскостях отображены интегральные проекции на эти плоскости искомой функции $dn(x, y, z)/dy$.

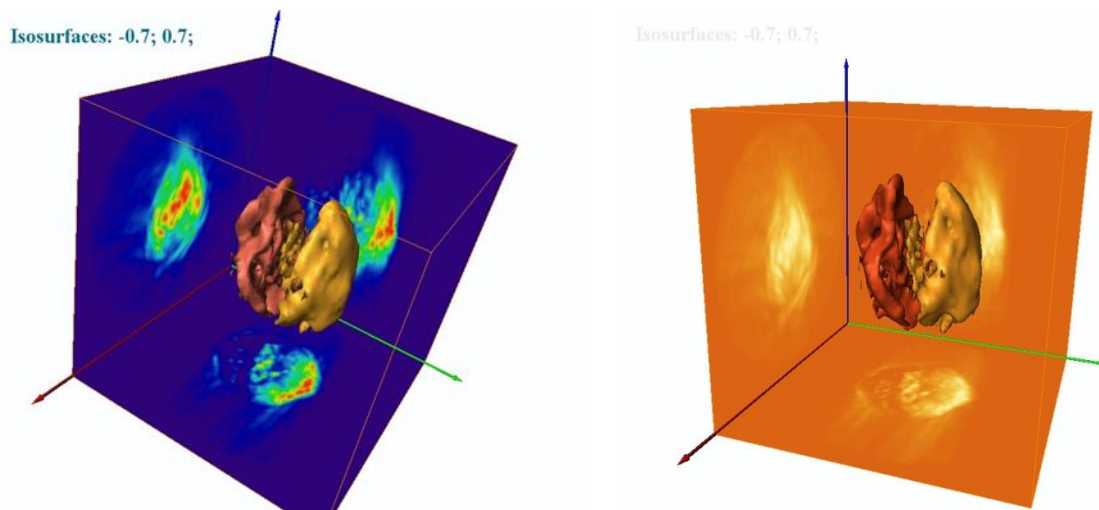


Рис.3.1. Трехмерное изображение клеток крови, полученное в экспериментах с использованием нового метода ДИК-томографии. Слева – палитра Rainbow, справа – палитра одноцветная линейная.

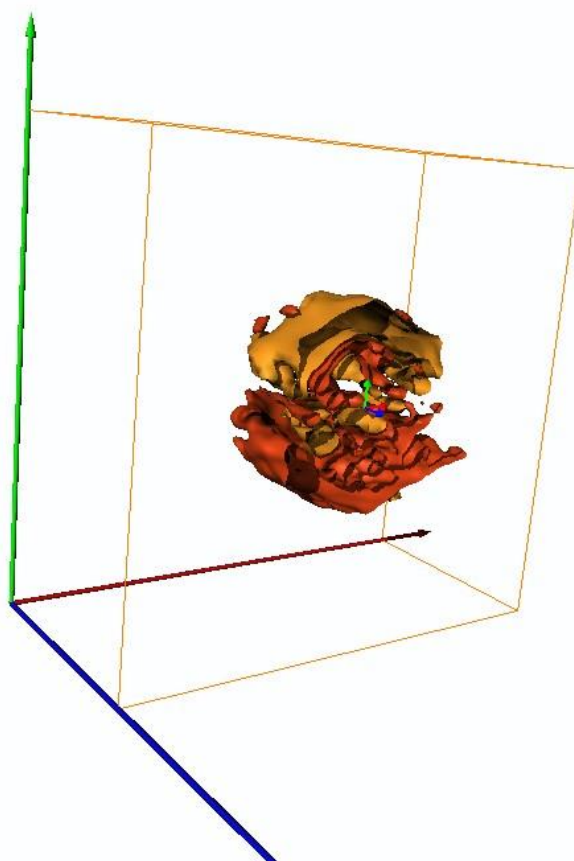


Рис.3.2. Изоповерхности клетки крови (в нормированных величинах: +0.7 сверху, -0.7 - снизу), отображается лишь ее дальняя половина, направление взятия производной – сверху вниз.

3. Заключение

Все запланированные работы проекта выполнены. Основные результаты, полученные за время выполнения проекта в 2013-2016 годы, заключаются в следующем:

Блок. 1.

Адаптивные визуализирующие транспаранты на эффекте насыщения поглощения АВТ-НП (Отв.исп.: Павлов А.А.)

2013. Впервые предложен и апробирован новый метод визуализации, являющийся синтезом АВТ-НП метода и метода регистрации интерферограмм с формированием опорной волны от отдельного источника. Лабораторными тестовыми экспериментами и экспериментами на сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-313 ИТПМ СО РАН по исследованию объектов с широким спектром пространственных частот доказана работоспособность и перспективность метода.
2014. Впервые предложены пути и выполнены работы по развитию АВТ НП метода для мультиволновой (цветной) визуализации газовых и плазменных объектов. Подобрана смесь красителей, адаптированная к работе одновременно на двух линиях лазерного излучения ($\lambda_1 \approx 0.5$ мкм, $\lambda_2 \approx 0.6$ мкм). Изготовлен макет визуализирующего транспаранта, собрана оптическая схема и проведены тестовые эксперименты по визуализации фазовых неоднородностей. Подобные адаптивные транспаранты могут применяться для цветной теневой визуализации; а также для одновременной количественной регистрации плотности газа и плотности свободных зарядов (электронов) для плазменных объектов
2015. Проведена модификация АВТ-НП и оптической схемы применительно к исследованию вихревого следа за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325. Выполнены тестовые эксперименты, доказавшие возможность проводить количественные измерения поля плотности газа.
2016. Разработана и апробирована методика оценки распределения интегральной по пути зондирующего излучения плотности и её пульсаций с помощью интерференционного метода на основе АВТ НП. С её помощью впервые при сверхзвуковых скоростях получены экспериментальные оценки распределения интегральной плотности и спектральных характеристик течения в ядре продольного вихря и его окрестности. Методика позволяет получать количественные данные по результатам одного просвечивания исследуемого трёхмерного течения. Впервые оптическим методом АВТ НП получены поля плотности в вихревом следе за прямым крылом в аэродинамической трубе Т-325

Панорамные интерференционные датчики давления (GISP) (Отв.исп.: Голубев М.П.)

2014. С целью повышения пространственного разрешения и чувствительности панорамных интерференционных датчиков давления (GISP), изготовленных на основе прозрачных эластичных слоев, выполнены работы по изготовлению измерительного стенда, позволяющего проводить испытания датчиков различными объектами. Выполнены измерения передаточной функции для основного рабочего вещества, которая позволяет учитывать характер нелокальности по пространству показаний датчиков, и тем самым, повышать пространственное разрешение при регистрации полей давления на поверхности.
2015. Изготовлен оптический панорамный интерференционный датчик давления на основе упругих слоёв и проведены эксперименты по регистрации поля давления на поверхности модели при числе Маха набегающего потока $M=4$. Исследовано влияние акустических колебаний модели и подложки датчика на результаты измерений. Оценочная величина пульсация давления в следе за турбулизатором составляет 130 Па, что удовлетворительно согласуется с данными полученными для данного течения и модели другими авторами.

2016. Разработана и апробирована модификация панорамного оптического метода регистрации тепловых потоков, позволяющая проводить визуализацию параметра на криволинейных поверхностях и в установках, где невозможно обеспечить ввод/вывод модели в набегающий поток. В качестве чувствительного слоя используются интерференционные теплочувствительные тонкопленочные покрытия (10-100 мкм), подогреваемые через контактную с моделью поверхность.

PIV-диагностика в высокоградиентных потоках (Отв.исп.: Поплавский С.В., исп. Бойко В.М., Самсонова И.В.)

2013. Для развития панорамной анемометрии в высокоградиентных потоках предложен и реализован метод коррекции данных PIV-диагностики с учетом скоростной релаксации трассирующих частиц. Для обработки экспериментов по динамике частиц и капель в потоке получены кинематические функции процесса в терминах параметров скоростной релаксации, необходимые для анализа графических данных эксперимента при развитии методов коррекции данных PIV с учетом скоростного запаздывания частиц-трассеров в градиентных потоках в части прямого измерения постоянной длины скоростной релаксации λ .

2014. Метод экспериментально апробирован и показана возможность его применения в течениях с газодинамическими разрывами.

2015. Предложенный метод коррекции данных PIV получил дальнейшее развитие для сверхзвуковых недорасширенных струй. Показано, что параметр скоростной релаксации трассеров, необходимый для восстановления скорости газа, в потоках со скачками скорости можно определять по исходным данным PIV. Это делает метод коррекции данных самодостаточным, поскольку он замкнут на исходный экспериментальный массив данных, а сама коррекция с найденным параметром скоростной релаксации фаз показала хорошую точность.

Специализированный лазерный диагностический стенд (Отв.исп.: Бойко В.М., исп. - Поплавский С.В.)

2013-2015. Разработан, спроектирован и изготовлен специализированный лазерный диагностический стенд, на котором выполняются отработка и тестирование оптических методов диагностики газовых и двухфазных потоков, а также комплексные исследования механизмов аэродинамического диспергирования маловязких и вязких жидкостей в дозвуковых и сверхзвуковых высокоградиентных течениях.

Лазерный доплеровский анемометр (Отв.исп.: Поплавский С.В., исп. - Бойко В.М.)

2016. С целью непрерывного измерения скорости частиц в высокоскоростных двухфазных потоках разработан новый подход к созданию следящей схемы ЛДА с прямым спектральным анализом доплеровского сдвига частоты на базе серийного анализатора спектра «Wave Length Meter WS-7» производства фирмы «Ангстрем» (Россия) Создан прототип ЛДА и проведены его испытания на высокоскоростной газожидкостной струе в диапазоне скоростей 80 – 600 м/с, доказавшие его работоспособность.

Блок. 2. (Отв.исп.: Жаркова Г.М, исп: Коврижина В.Н., Петров А.П.)

2013. Синтезированы холестерические жидкие кристаллы, получена базовая ЖК смесь АВА30Хл30 и на ее основе выполнены исследования влияния добавок на рабочие характеристики модифицированных индикаторных составов. Полученные результаты расширяют фундаментальные знания об исследуемых гибридных материалах, что позволит использовать потенциальные возможности новых составов для ЖК диагностики потоков.

2014 Для определения динамических характеристик образцов бароиндикаторных покрытий покрытия разработана и изготовлена камера, позволяющая моделировать скачок давления

от вакуума до атмосферы, разрывом диафрагмы и регистрации фронта давления с датчиком на пьезокерамике. Для регистрации процесса тушения люминесценции рассмотрен новый подход с использованием цветной камеры. Цветное изображение RGB состоит из трех изображений и позволяет одновременно регистрировать три параметра с одной CCD камерой, и учитывать влияние температуры, неоднородности покрытия и освещения

2014. Исследованы возможности нематических жидких кристаллов (НЖК) и эффекта вращения плоскости поляризации света твист-структурой НЖК для панорамной диагностики касательных напряжений поверхностного трения в аэродинамических испытаниях. Касательная составляющая вязких напряжений на поверхности тела, обтекаемого потоком, определяет, в конечном счете, лобовое сопротивление летательного аппарата, а значит расход топлива и/или дальность полета.
2014. Выполнен поиск жидкокристаллических составов со спектром отражения близким к спектру люминесценции платинового люминофора, используемого в качестве бароиндикаторного люминесцентного покрытия (метод PSP). Изучено влияние концентрации ЖК на интенсивность люминесценции (PtOEP+FIB+ЖК). Показано, что введение добавки ЖК привело к усилению сигнала люминесценции и усилению чувствительности к давлению.
2015. На основе эфиров холестерина разработан ряд многокомпонентных ЖК композиций для панорамной диагностики температуры и поверхностного трения в пристенных течениях. Разработанные составы протестированы в эксперименте при дозвуковом турбулентном обтекании модели в канале с прямоугольным сечением, где показали высокую информативность.
2015. Изучена возможность управления свойствами и направлением распространения света в нематических жидких кристаллах за счет создания высокоструктурированных пленок. Совместно с ИК СО РАН выполнен комплекс работ по созданию новых функциональных материалов с управляемыми электрическим полем характеристиками. Получены новые композиты на основе полимер – нематический жидкий кристалл - углеродные нановолокна, различной модификации..
2016. Проведены тестовые испытания по применению ЖК покрытий для панорамной диагностики касательных напряжений на стенке канала с выступом. Разработанные составы ЖК покрытий, чувствительных к трению, методика их применения переданы в ЦАГИ, где в аэродинамической трубе Т-128 ЦАГИ на различных режимах проведены испытания ЖК покрытий для панорамной диагностики касательных напряжений на модели конуса.
2016. Выполнена модификация калибровочного стенда, что позволило осуществить в одном пуске одновременную калибровку оптического отклика ЖК в широком диапазоне касательных напряжений
2016. Выполнены исследования оптических свойств полимерно-жидкокристаллических композитов, модифицированных наночастицами лантаноидов (Y_2O_3 , $CeO_2:Y_2O_3$, $Nd_2O_3:Y_2O_3$)

Блок 3. (Отв.исп.: Пикалов В.В.)

2013. Исследованы основные характеристики итерационного регуляризованного алгоритма Качмажа для решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), к которой можно свести исходное интегральное уравнение свертки, при наличии случайного шума и в сигнале, и в аппаратной функции. Изучалось два метода обработки сигналов термопар. Первый метод – это решение уравнения свертки с экспериментально определенной аппаратной функцией термопары. Второй метод сводился к новой модификации метода двух термопар. Предложена модификация метода, которая позволяет с помощью итераций провести уточнение постоянных времени двух термопар, используя для этого более

устойчивые к шумам измерения области полученных сигналов вне максимумов на температурных кривых.

2014. Для томографических экспериментов по оптической диагностике потоков газа предложен алгоритм плавающих сеток, дающий уменьшение ошибки реконструкции томограммы за счет частичного подавления кольцевых артефактов. Алгоритм исследован в численном эксперименте.
2015. Для решения задач веерной томографии пакет Topas-Micro дополнен блоками, позволяющими получать не томограммы искомого объекта, а сразу результат обработки такой томограммы каким-то дополнительным фильтром.
2016. Разработан итерационный алгоритм, сочетающий в себе решение большой системы линейных алгебраических уравнения (СЛАУ), совместно с регуляризацией решения в Фурье пространстве методом Гершберга-Папулиса, учитывающим оценку уровня экспериментального шума. Развита метод томографии дифференциального интерференционного контраста (ДИК-томографии) впервые получены трехмерные изображения клеток крови с повышенным фазовым контрастом

4. Публикации сотрудников лаборатории

4. Публикации 2013-2016

4.1. Основные

Статьи в рецензируемых российских журналах:

1. Грачев Г.Н., Землянов А.А., Пономаренко А.Г., Тищенко В.Н., Гейнц Ю.Э., Кабанов А.М., Павлов А.А., Павлов А.А., Погодаев В.А., Пинаев П.А., Смирнов А.Л., Стаценко П.А. Тепловое самовоздействие мощного непрерывного и импульсно-периодического излучения CO₂-лазера в воздухе: II. Лабораторные эксперименты // Оптика атмосферы и океана - 2013. -Т.26, No.9. -С. 726-733.
2. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А. Управление излучением, дифрагировавшим на поляризационных голографических решетках // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика - 2013. -No.1. -С. 94-99.
3. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А., Хачатурян В.М. Электрооптические и динамические свойства поляризационных голографических решеток, сформированных в жидкокристаллических композитах // Жидкие кристаллы и их практическое использование - 2013. -No.1. -С. 28-35.
4. Бойко В.М., Пивоваров А.А., Поплавский С.В. Измерение скорости газа в высокоградиентном потоке по скорости трассирующих частиц // Физика горения и взрыва - 2013. -Т.49, No.5. -С. 47-54.
5. Жаркова Г.М., Коврижина В.М., Петров А.П. Экспериментальное исследование текстурного перехода в жидких кристаллах под воздействием касательного напряжения поверхностного трения // Теплофизика и аэромеханика - 2013. -Т.20, No.3. -С. 315-323.
6. Жданов К.Р., Романенко А.И., Жаркова Г.М., Сусяев В.И., Журавлев В.А. Диэлектрическая проницаемость полимерных композитов с капсулированными жидкими кристаллами в сильных электрических полях // Известия вузов. Физика - 2013. -Т.56, No.8. -С. 48-53.
7. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А., Подъячева О.Ю., Квон Р.И., Исмагилов З.Р. Полимерно-дисперсные жидкие кристаллы допированные углеродными нановолокнами // Жидкие кристаллы и их практическое использование - 2013. -No.3(45). -С. 53-62.

8. Гейнц Ю.Э., Грачев Г.Н., Землянов А.А., Кабанов А.М., Павлов А.А., Пономаренко А.Г., Тищенко В.Н. Тепловое самовоздействие мощного непрерывного и импульсно-периодического излучения СО₂-лазера в воздухе: I. Численное моделирование распространения на атмосферной трассе // Оптика атмосферы и океана - 2013. -Т.26, No.5. -С. 363-370..
9. Кулаков И.Ю., Вологин Д.А., Пикалов В.В. Многосеточный алгоритм в задаче веерной ROI-томографии контрастных объектов // Вычислительные методы и программирование - 2013. -Т.14, No.4. -С. 543-548.
10. Пикалов В.В. Метод подпиксельного сглаживания плавающими сетками для уменьшения кольцевых артефактов в веерной томографии // Вычислительные методы и программирование - 2014. -Т.15, No.4. -С. 726-731.
11. Павлов А.А., Павлов Ал.А., Голубев М.П. Применение самонаводящихся фильтров Цернике на основе эффекта насыщения для теневой диагностики газовых потоков // Вестник НГУ. Сер. Физика - 2014. -Т.9, No.1. -С. 15-28.
12. Романов Н.А., Номоев А.В., Жаркова Г.М. Полимерно-дисперсные жидкие кристаллы, допированные наночастицами AG, CU, SI // Вестник Бурятского государственного университета - 2014. -Т.3, No.1. -С. 139-145.
13. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П. Влияние механического сдвига на отражение линейно-поляризованного света закрученным нематиком // Жидкие кристаллы и их практическое использование - 2014. -Т.14, No.1. -С. 39-44.
14. Стрельцов С.А., Жаркова Г.А. Управляемые поляризационные решетки для устройств фотоники // Вопросы радиоэлектроники - 2014. -Т.2, No.2. -С. 133-140.
15. Жаркова Г.М., Зобов К.В., Романов Н.А., Сызранцев В.В., Бардаханов С.П. Полимерно-жидкокристаллические композиты, допированные нанопорошками неорганических оксидов // Российские нанотехнологии - 2015. -Т.10, No.5-6. -С. 45-50.
РИНЦ, id=23500705
16. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А., Подъячева О.Ю. Структурированные жидкокристаллические композиты, допированные углеродными нановолокнами // Оптический журнал - 2015. -Т.82, No.4. -С. 74-79.
РИНЦ, id=23334659
17. Бойко В.М., Запрягаев В.И., Пивоваров А.А., Поплавский С.В. Коррекция данных PIV для восстановления скорости газа в сверхзвуковой недорасширенной струе // Физика горения и взрыва - 2015. -Т.51, No.5. -С. 87-97. DOI: 10.15372/FGV20150510
РИНЦ, id=24346906
18. Жаркова Г.М., Подъячева О.Ю., Стрельцов С.А. Оптические методы формирования высокоструктурированных полимерно-жидкокристаллических композитов // Жидкие кристаллы и их практическое использование - 2015. -Т.15, No.3. -С. 91-102.
РИНЦ, id=24231449
19. Жданов К.Р., Романенко А.И., Жаркова Г.М. Влияние диэлектрических наночастиц окислов титана, иттрия и кремния на электрооптические характеристики полимерно-дисперсных жидких кристаллов // Известия высших учебных заведений. Физика - 2015. -Т.58, No.9. -С. 78-83.
РИНЦ, id=24339627
20. Жданов К.Р., Романенко А.И., Жаркова Г.М., Подъячева О.Ю. Импеданс полимерно-дисперсных жидких кристаллов с углеродными нановолокнами в слабых электрических полях // Известия высших учебных заведений. Физика - 2016. -Т.59, No.7. -С. 40-44.
РИНЦ, id=26455106

21. Голубев М.П., Шмаков А.С. О применении упругих покрытий для регистрации поля давления на поверхности модели при сверхзвуковом режиме обтекания // Вестник НГУ. Сер. Физика - 2016. - Т.11, No.1. -С. 23-33.
РИНЦ, id=25941242
22. Жаркова Г.М., Осипов В.В., Платонов В.В., Подкин А.В., Стрельцов С.А. Исследование влияния наночастиц оксида иттрия, легированных церием и неодимом, на электрооптику полимерно-жидкокристаллических композитов // Известия высших учебных заведений. Физика - 2016. -Т.59, No.8. -С. 153-158.
РИНЦ, id=26691179
23. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П., Подъячев С.П. Панорамная диагностика касательных напряжений на стенке канала с выступом с помощью жидких кристаллов // Теплофизика и аэромеханика - 2016. -Т.23, No.6. -С. 865-873. DOI: 10.1134/S0869864316060056
24. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П. Исследование влияния одномерных фотонных кристаллов на свойства чувствительного к давлению люминофора // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Сер. Аэрокосмическая техника - 2016. -No.47. -С. 123-134.
25. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А. Жидкокристаллические композиты , модифицированные немезогенными наночастицами, для записи поляризационных голографических решеток // Автометрия - 2016. -Т.52, No.6. -С. 103-109.

Статьи в зарубежных журнальных изданиях

1. Zhdanov K.R., Romanenko A.I., Zharkova G.M. Effect of dielectric titanium, yttrium, and silicon oxide nanoparticles on electro-optical characteristics of polymer-dispersed liquid crystals // Russian Physics Journal - 2016. -Vol.58, No.9. -P. 1291–1296. DOI: 10.1007/s11182-016-0645-7
WoS: 000368693200013 , Scopus ID=2-s2.0-84954309163,
2. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P Experimental study of a textural transition in liquid crystals under shear stress induced by surface friction // Thermophysics and Aeromechanics - 2013. -Vol.20, No.3. -P. 309-316. DOI: 10.1134/S0869864313030062
WoS: 000325620600006, Scopus ID=2-s2.0-84885601755,
3. Zhdanov K.R., Romanenko A.I., Zharkova G.M., Suslyayev V.I., Zhuravlev V.A. Dielectric permittivity of polymer composites with encapsulated liquid crystals in strong electric fields // Russian Physics Journal - 2013. -Vol.56, No.8. -P. 902-907. DOI: 10.1007/s11182-013-0116-3
WoS: 000328859900009, Scopus ID=2-s2.0-84899440872
4. Boiko V.M., Pivovarov A.A., Poplavski S.V. Measurement of gas velocity in a high-gradient flow, based on velocity of tracer particles // Combustion, Explosion, and Shock Waves - 2013. -Vol.49, No.5. -P. 548-554. DOI: 10.1134/S0010508213050067
WoS: 000325775500006 ,Scopus ID=2-s2.0-84885987163,
5. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P. Shear sensitive liquid crystals for diagnostics of boundary layer structure in aerodynamical experiment [Электронный ресурс] // Visualization of Mechanical Processes - 2013. -Vol.3, No.1. DOI: 10.1615/VisMechProc.2014007940
6. Zharkova G.M., Streltsov S.A., Podyacheva O.Yu. Structured liquid-crystal composites doped with carbon nanofibers // Journal of Optical Technology - 2015. -Vol.82, No.4. -P. 252-255. DOI: 10.1364/JOT.82.000252
WoS: 000357488300009, Scopus ID=2-s2.0-84943188754, РИНЦ, id=24958004
7. Zharkova G.M., Zobov K.V., Syzrantsev V.V., Bardakhanov S.P., Romanov N.A. Polymer-liquid crystal composites doped by inorganic oxide nanopowders // Nanotechnologies in Russia - 2015. -Vol.10, No.5-6.

- P. 380-387. DOI: 10.1134/S1995078015030210
Scopus ID=2-s2.0-84935872703, РИНЦ, id=23988824
8. Boiko V.M., Zapryagaev V.I., Pivovarov A.A., Poplavski S.V. Correction of PIV data for reconstruction of the gas velocity in a supersonic underexpanded jet // *Combustion, Explosion and Shock Waves* - 2015. - Vol.51, No.5. -P. 587-596. DOI: 10.1134/S001050821505010X
WoS: 000363263200010 Scopus ID=2-s2.0-84944672726, РИНЦ, id=24962265
 9. Vishnyakov G., Levin G., Minaev V., Latushko M., Nekrasov N., Pickalov V. Differential interference contrast tomography // *Optics Letters*. - 2016. -Vol.41, No.13. -P. 3037-3040. DOI: 10.1364/OL.41.003037 – Scopus ID=2-s2.0-84978511868. WoS: 000379667800036..
 10. Zobov K.V., Zharkova G.M., Syzrantsev V.V. Effect of dopant nanoparticles on reorientation process in polymer-dispersed liquid crystals // *EPL (Europhysics Letters)* - 2016. -Vol.113, No.2. -P. 24001. DOI: 10.1209/0295-5075/113/24001
WoS: 000371787400007, Scopus ID=2-s2.0-84959440556,
 11. Zhdanov K.R., Romanenko A.I., Zharkova G.M., Podyacheva O.Y. Impedance of polymer-dispersed liquid crystals with carbon nanofibers in weak electric fields // *Russian Physics Journal* - 2016. -Vol.59, No.7. -P. 956–960. DOI: 10.1007/s11182-016-0860-2
WoS: 000388190900007, Scopus ID=2-s2.0-84994711840,
 12. Grachev G.N., Zemlyanov A.A., Ponomarenko A.G., Tishchenko V.N., Geints Y.E., Kabanov A.M., Pavlov A.A., Pogodaev V.A., Pinaev P.A., Smirnov A.L., Statsenko P.A. Thermal self-action of high-power continuous and pulse-periodic CO₂ laser radiation in air: II. Laboratory experiments // *Atmospheric and Oceanic Optics* - 2014. -Vol.27, No.2. -P. 115-122. DOI: 10.1134/S1024856014020067
Scopus ID=2-s2.0-84950294872,
 13. Suboch A.N., Cherepanova S.V., Kibis L.S., Svintsitskiy D.A., Stonkus O.A., Boronin A.I., Chesnokov V.V., Romanenko A.I., Ismagilov Z.R., Podyacheva O.Yu. Observation of the superstructural diffraction peak in the nitrogen doped carbon nanotubes: Simulation of the structure // *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures* - 2016. -Vol.24, No.8. -P. 520-530. DOI: 10.1080/1536383X.2016.1198331
WoS: 000382620200005, Scopus ID=2-s2.0-84981244957, РИНЦ, id=26423789
 14. Zharkova G.M., Osipov V.V., Platonov V.V., Podkin A.V., Strel'tsov S.A. Investigation of the effect of Yttrium oxide nanoparticles doped with cerium and neodymium on electro-optics of liquid crystal polymer composites // *Russian Physics Journal* - 2016. -Vol.59, No.8. -P. 1295–1301. DOI: 10.1007/s11182-016-0905-6

4.2. Дополнительные

Патенты

1. Павлов А.А., Павлов Ал.А., Голубев М.П. Устройство для визуализации фазовых неоднородностей // Патент РФ № 2498366 от 10.11.2013. Бюл. № 31.

Сборники статей

1. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Тонкопленочные жидкокристаллические индикаторы полей температур и касательных напряжений на поверхности аэродинамических моделей Физика ударных волн, горения, детонации, взрыва и неравновесных процессов : коллективная монография / под ред. Левина В.А., Фомина Н.А., Фортова В.Е. -Ч.1. -Минск: Ин - т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, 2014. -С. 125-136.
2. Ponomarenko A.G., Grachev G.N., Tishchenko V.N., Smirnov A.L., Pinaev P.A., Statsenko P.A., Zemlyanov A.A., Kabanov A.M., Pogodaev V.A., Geints J.E., Petrov A.V., Pavlov A.A. Propagation focus repetitively pulsed laser radiation in gas-aerosol atmosphere 20th International Symposium on

Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics (Novosibirsk, 23-27 июня. 2014 г.) : proceedings SPIE.- V. 9292. -S.l., 2014. -92921X p. DOI: 10.1117/12.2075969

3. Tolkachev S.N., Gorev V.N., Zharkova G.M., Kovrizhina V.N. Experimental methods of the study of vortex structures excited by point injection at the leading edge of the oblique wing *Progress in Flight Physics*. -Vol.7. -M.: Torus Press, 2015. -P. 585 - 604. -(EUCASS Book Series, Advances in Aerospace Sciences. Vol. 7). DOI: 10.1051/eucass/201507585
РИИЦ, id=24571242
4. Arkhipov V.A., Boiko V.M., Goldin V.D., Maslov E.A., Orlov S.E., Poplavskiy, S.V., Usanina A.S., Zharova I.K. Mathematical modelling of the liquid atomization process by cocurrent gas flow *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2015) (Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation, 1-4 Dec., 2015)*. -Vol.124, No.1. -S.l., 2016. -012076 p. DOI: 10.1088/1757-899X/124/1/012076
Scopus ID=2-s2.0-84975687628, РИИЦ, id=27138728
5. Antonnikova A.A., Arkhipov V.A., Boiko V.M., Basalaev S.A., Konovalenko A.I., Zolotorev N.N. Analytical study of ultrasound influence on the molten metals atomization *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2015) (Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation, 1-4 Dec., 2015)*. -Vol.124, No.1. -S.l., 2016. -012044 p. DOI: 10.1088/1757-899X/124/1/012044
Scopus ID=2-s2.0-84975763886,
6. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P. Thermo- and mechanico-optical effects in liquid crystals and their application in aerodynamics *18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings*. -Vol.1770. -S.l., 2016. -020005 p. DOI: 10.1063/1.4963928
Scopus ID=2-s2.0-84994081868, РИИЦ, id=26878489
7. Zharkova G.M., Petrov A.P., Kovrizhina V.N. Effect of the spiral liquid crystals on the amplitude and temporal characteristics of the pressure-sensitive luminophore *18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings*. -Vol.1770. -S.l., 2016. -030004 p. DOI: 10.1063/1.4963946
Scopus ID=2-s2.0-84994134197, РИИЦ, id=26895362
8. Poplavski S.V. Collective effects in the cloud of particles behind incident shock wave and methods of their research *18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings*. -Vol.1770. -S.l., 2016. -030012 p. DOI: 10.1063/1.4963954
Scopus ID=2-s2.0-84994176755, РИИЦ, id=26895373
9. Poplavski S.V., Boiko V.M., Nesterov A.U. On the peculiarities of LDA method in two-phase flows with high concentrations of particles *18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings*. -Vol.1770. -S.l., 2016. -030016 p. DOI: 10.1063/1.4963958
Scopus ID=2-s2.0-84994085844, РИИЦ, id=26895379
10. Zapryagaev V.I., Boiko V.M., Kavun I.N., Kiselev N.P., Pivovarov A.A. Flow structure behind the Mach disk in supersonic non-isobaric jet *18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings*. -Vol.1770. -S.l., 2016. -030029 p. DOI: 10.1063/1.4963971
Scopus ID=2-s2.0-84994131230, РИИЦ, id=26895432
11. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P., Smorodsky B.V., Podjachev S.P. Application of variable cross-section channel for calibration of liquid crystals shear stress indicators *18th International Conference*

on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings. -Vol.1770. -S.I., 2016. -040002 p. DOI: 10.1063/1.4964071 Scopus ID=2-s2.0-84994121160, РИНЦ, id=27023494

12. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П., Мошаров В.Е., Радченко В.Н., Шаповал Е.С. О применении жидких кристаллов для визуализации структуры пристенного течения в экспериментальной аэродинамике Результаты фундаментальных исследований в прикладных задачах авиастроения : Сборник статей/ РАН, ЦАГИ. -М.: «Наука» РАН, 2016. -С. 113-125.
13. Goldfeld M.A., Pickalov V.V. Application of the deconvolution methods for processing of measurement signals in the fast processes // Proceedings of the VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS Congress 2016). -Vol.4. Athens: NTUA, 2016. -P. 8365-8377. Scopus ID=2-s2.0-84995404815.
14. Levin G.G., Vishnyakov G.N., Minaev V.L., Latushko M.I., Pickalov V.V., Belyakov V.K., Sukhenko E.P., Demyanenko A.V. Shearing interference microscopy for tomography of living cells Proceedings of SPIE. -Vol.9536. - SPIE, 2015. -P. 95360G-1-95360G-5. DOI: 10.1117/12.2183717, Scopus ID=2-s2.0-84940177806. WoS: 000359599300009.
15. Likhachov A.V., Pickalov V.V., Ewert U., Redmer B. Influence of unsharpness on crack length evaluation with computerized tomography methods // Proceedings of 2nd World Congress on Industrial Process Tomography: Proceedings. Hannover, 2014. -P. 711-718. Scopus ID=2-s2.0-84910020556.
16. Likhachov A.V., Pickalov V.V. Scattered radiation problem in three-dimensional transmission tomography // Proceedings of 2nd World Congress on Industrial Process Tomography. Hannover, 2013. -P. 742-750. Scopus ID=2-s2.0-84910020554.

4.3. Труды конференций и тезисы докладов

Тезисы международных конференций

1. Жаркова Г.М. Полимерно-дисперсные жидкие кристаллы, допированные неорганическими нанодобавками [Электронный ресурс] // Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, наноэлектронных приборов и экологических технологий (Москва, 14-21 апр. 2016 г.) : сборник тезисов Международной конференции/ Московский государственный областной университет. -М., 2016. -С. 33-34.- CD ROM. РИНЦ, id=26728890
2. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Исследование чувствительности к сдвигу жидкокристаллических индикаторов касательных напряжений, допированных частицами SiO₂ // Оптические методы исследования потоков (ОМИП-2013)(Москва, 25-27 июн., 2013 г.) : 12 Международная научно-техническая конференция. -S.I., 2013. -С. 1-7.- CD-ROM.
3. Петров А.П. Визуализация динамики волновой картины взаимодействия сверхзвуковой струи с преградой // Оптические методы исследования потоков (ОМИП-2013)(Москва, 25-27 июн., 2013 г.) : 12 Международная научно-техническая конференция. -S.I., 2013. -С. 1-5.- CD-ROM.
4. Петров А.П. Исследование течения газа в плоском сопле оптическими методами // Оптические методы исследования потоков (ОМИП-2013)(Москва, 25-27 июн., 2013 г.) : 12 Международная научно-техническая конференция. -S.I., 2013. -С. 1-5.- CD-ROM.
5. Tolkachev S.N., Gorev V.N., Zharkova G.M., Kovrizhina V.N. Experimental methods of the study of vortex structures excited by point injection on the leading edge of the oblique wing [Электронный ресурс] // 5th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS 2013) (Germany, Munich, 1-5 July, 2013) : Proceedings & abstracts. -S.I., 2013. -P. 162.- CD-ROM.

6. Zapryagaev V.I., Boiko V.M., Pivovarov A.A. Experimental investigation of a high-speed jet velocity field by using optical methods // *Advanced Problems in Mechanics 2013 : Proceedings of the XLI Summer School-Conference (APM 2013) (Russia, St. Petersburg, 1 - 6 Jul., 2013).* -S.l., 2013. -P. 678-684.
7. Zharkova G.M. Liquid crystal thermography in medicine // *Methods of Mechanic for Physiology and Cell Biology 2013 : abstracts of Taiwan-Russia Research Cooperation (Taiwan, Taichung, 8-12 Nov., 2013).* - S.l., 2013. -P. 56.
8. Boiko V.M., Pivovarov A.A., Poplavski S.V. Multistage breakup of low viscous drops in accelerated flow // *Advanced Problems in Mechanics : XLI Summer School – Conference (APM 2013) (Russia, St. Petersburg (Repino), 1 – 6 Jul., 2013) : Book of abstracts.* -S.l., 2013. -P. 36-37.
9. Бойко В.М., Запрыгаев В.А., Пивоваров А.А., Поплавский С.В. Метод коррекции данных PIV для восстановления скорости газа в сверхзвуковых недорасширенных струях // *Материалы X Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ - 2014) (Крым, Алушта, 25 – 31 мая 2014 г.)* -М., 2014. -С. 175-177.
10. Zapryagaev V.I., Boiko V.M., Kiselev N.P., Pivovarov A.A Cellular structure investigation of supersonic underexpanded jets by using PIV method // *17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2014) (Russia, Novosibirsk, 30 Jun. - 6 Jul., 2014) : abstracts. Pt.I.* -Novosibirsk, 2014. -P. 226-227.
11. Boiko V.M., Pivovarov A.A., Poplavski S.V. Three modes of drop breakup in accelerating flow // *17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2014) (Russia, Novosibirsk, 30 Jun. - 6 Jul., 2014) : abstracts. Pt.II.* -Novosibirsk, 2014. -P. 22-23.
12. Boiko V.M., Pivovarov A.A., Poplavski S.V. On the drop dynamics in falling flow // *17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2014) (Russia, Novosibirsk, 30 Jun. - 6 Jul., 2014) : abstracts. Pt.II.* -Novosibirsk, 2014. -P. 24-25.
13. Boiko V.M., Pivovarov A.A., Poplavski S.V. Reconstruction method of gas velocity in supersonic underexpanded jets from PIV data // *17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2014) (Russia, Novosibirsk, 30 Jun. - 6 Jul., 2014) : abstracts. Pt.II.* -Novosibirsk, 2014. -P. 26-27.
14. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P. Panoramic liquid crystal indicators of shear stresses: three effects and three approaches to measurements // *17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2014) (Russia, Novosibirsk, 30 Jun. - 6 Jul., 2014) : abstracts. Pt.II.* - Novosibirsk, 2014. -P. 237-238.
15. Zharkova G.M., Petrov A.P. Influence of microparticles on the characteristics of film pressure indicators // *17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2014) (Russia, Novosibirsk, 30 Jun. - 6 Jul., 2014) : abstracts. Pt.II.* -Novosibirsk, 2014. -P. 239-240.
16. Kovrizhina V.N., Shapoval E.S., Zharkova G.M. Problems and achievements in panoramic shear stress diagnostics by liquid crystals [Электронный ресурс] // *29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014) (Russia, St. Petersburg, 7-12 Sept., 2014 г.) : Proceedings.* - No.2014_0098_paper. -S.l., 2014. -P. 1-7.- CD-ROM. Scopus ID=2-s2.0-84910669180,
17. Tolkachev S.N., Kovrizhina V.N., Zharkova G.M. Liquid crystal thermography method for investigation disturbed near - wall structure of the swept wing boundary layer on the leading edge // *The 13th Asian symposium on visualization (Novosibirsk, Russia, June 22 - 26, 2015) : abstracts.* -Novosibirsk: Parallel, 2015. -P. 227-228.

18. Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Boiko V.M., Pivovarov A.A. Flow structure visualization in supersonic annular jet exhausting from dual bell nozzle // The 13th Asian symposium on visualization (Novosibirsk, Russia, June 22 - 26, 2015) : abstracts. -Novosibirsk: Parallel, 2015. -P. 265--266.
19. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N. Thin - film coatings for visualization of near - wall flows // The 13th Asian symposium on visualization (Novosibirsk, Russia, June 22 - 26, 2015) : abstracts. -Novosibirsk: Parallel, 2015. -P. 276--277.
20. Бойко В.М., Нестеров А.Ю., Поплавский С.В. Лазер - доплеровский анемометр для высокоскоростных газожидкостных потоков // Струйные, отрывные и нестационарные течения : тезисы докладов XXIV Всероссийского семинара с международным участием (Россия, Новосибирск, 11 - 13 нояб. 2015 г.). -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 23-24.
Список цитирований в РИНЦ, id=25832384
21. Бойко В.М., Пивоваров А.А., Поплавский С.В. Экспериментальные исследования процессов диспергирования в газочапельных струях с высокой концентрацией жидкости // Струйные, отрывные и нестационарные течения : тезисы докладов XXIV Всероссийского семинара с международным участием (Россия, Новосибирск, 11 - 13 нояб. 2015 г.). -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 25-26.
Список цитирований в РИНЦ, id=25832433
22. Поплавский С.В., Запрыгаев В.И., Бойко В.М., Киселев Н.П., Пивоваров А.А. К исследованию структуры потока в окружающем пространстве при истечении свободной сверхзвуковой недорасширенной струи // Струйные, отрывные и нестационарные течения : тезисы докладов XXIV Всероссийского семинара с международным участием (Россия, Новосибирск, 11 - 13 нояб. 2015 г.). -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 131-132.
Список цитирований в РИНЦ, id=25865235
23. Шевченко А.М., Голубев М.П., Павлов Ал.А., Хотяновский Д.В., Шмаков А.С. О распределении плотности при маховском отражении ударных волн // Струйные, отрывные и нестационарные течения : тезисы докладов XXIV Всероссийского семинара с международным участием (Россия, Новосибирск, 11 - 13 нояб. 2015 г.). -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 168-170.
Список цитирований в РИНЦ, id=25870223
24. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А., Подъячева О.Ю. Оптические методы формирования высокоструктурированных полимерно - жидкокристаллических композитов // Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, наноэлектронных приборов и экологических технологий : сборник материалов международной конференции (г. Москва, 21-24 апреля 2015 г.). -М., 2015. -С. 56.
25. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Жидкокристаллические материалы и методы диагностики пристенных течений [Электронный ресурс] // Оптические методы исследования потоков : труды XIII Международной научно-технической конференции (Москва, 29 июня-03 июля 2015 г.). К 85-летию МЭИ. -М., 2015. -С. 437-443.- CD-ROM.
26. Poplavski Collective effects in the cloud of particles behind incident shock wave and methods of their research // XVIII International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-16) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : abstracts. pt. I. -Perm, 2016. -P. 171-172.
27. Tolkachev S.N., Kaprilevskaya V.S., Kovrizhina V.N., Zharkova G.M. Liquid crystal thermography technique for the investigation of stationary disturbances on the swept wing leading edge // XVIII International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-16) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : abstracts. pt. I. -Perm, 2016. -P. 200-201.
28. Zapryagaev V.I., Boiko V.M., Kavun I.N., Kiselev N.P., Pivovarov A.A. Flow structure behind the Mach disc in supersonic non-isobaric jet // XVIII International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-16) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : abstracts. pt. I. -Perm, 2016. -P. 223-224.

29. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P., Smorodsky B.V., Podjachev S.P. Application of variable cross-section channel for calibration of liquid crystals shear-stress indicators // XVIII International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-16) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : abstracts. pt. I. -Perm, 2016. -P. 235-236.
30. Zharkova G.M., Petrov A.P. Effect of the spiral LC on the amplitude and temporal characteristics of the pressure-sensitive luminophore // XVIII International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-16) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : abstracts. pt. I. -Perm, 2016. -P. 237-238.
31. Poplavski S.V., Boiko V.M., Nesterov A.U. On the peculiarities of LDA method in two phase flows with high concentration of particles // XVIII International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-16) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : abstracts. pt. II. -Perm, 2016. -P. 170-171.
32. Shevchenko A.M., Golubev M.P., Kharitonov A.M., Pavlov A.A., Pavlov A.I., Shmakov A.S. Experimental investigation of vortex wake/crossing shock waves interaction [Электронный ресурс] // Workshop on Non-equilibrium Flow Phenomena in Honor of Mikhail Ivanov's 70th Birthday (Russia, Novosibirsk, 15-18 Jun., 2015) : [Proceedings]. -S.l., 2015. -P. 1-15.
33. Kharitonov A.M., Kudryavtsev A.N., Pavlov A.A. Experimental investigations of transition between regular and Mach reflection in ITAM wind tunnels initiated by M.S. Ivanov [Электронный ресурс] // Workshop on Non-equilibrium Flow Phenomena in Honor of Mikhail Ivanov's 70th Birthday (Russia, Novosibirsk, 15-18 Jun., 2015) : [Proceedings]. -S.l., 2015. -P. 1- 28.
34. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А. Влияние немезогенных добавок на свойства высокоструктурированных жидкокристаллических композитов // Химия и физика горения и дисперсных систем (Новосибирск, Россия, 19-20 сент. 2016 г.) : сборник тезисов докладов Всероссийской школы-конференции с международным участием, посвященной 110-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР А.А. Ковальского. -Новосибирск: ИХКиГ СО РАН, 2016. -С. 22.
35. Жаркова Г. М., Стрельцов С. А. Поляризационные голографические решетки в жидкокристаллических композитах допированных наночастицами // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016) (Новосибирск, 3-6 окт. 2016 г.): Труды XIII международной научно-технической конференции = 2016 13th International Scientifictechnical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2016) – 39281: в 12 т. -Т.5 [Лазеры и их применение. Медицинская электроника]. -Новосибирск: НГТУ, 2016. -С. 36-39.
36. Podyacheva O.Yu., Suboch A.N., Bulushev D., Zacharska M., Eremenko N., Eremenko A., Kibis L.S., Boronin A.I., Stonkus O.A., Slavinskaya E.M., Ismagilov Z.R. Tailored synthesis of palladium nanoparticles on carbon nanofibers for different catalytic applications // Catalysis: Balancing the use of fossil and renewable resources (EuropaCat XII) (Kazan, 30 Aug. - 4 Sept., 2015) : XII European congress on catalysis: Abstracts. -Novosibirsk, 2016. -P. 469-470.
37. Kholdeeva O.A., Evtushok V.Y., Zalomaeva O.V., Ivanchikova I.D., Podyacheva O.Y., Suboch A.N., Stonkus O.A. Synthesis of alkyl-p-benzoquinone using H₂O₂ and a di-vanadium-polyoxotungstate: Homogeneous and heterogeneous approaches // 11th international Congress on Catalysis and Fine Chemicals (CAFC-11) (France, Lyon, 5-8 Sept., 2016) : Abstracts. -S.l., 2016. -P. 11.
38. Жданов К.Р., Романенко А.И., Жаркова Г.М., Подъячева О.Ю. Импеданс полимерно-дисперсных жидких кристаллов с углеродными нановолокнами в слабых электрических полях // Актуальные проблемы радиофизики (АПР 2015) : Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции (Томск, 5-10 окт. 2015 г.). -Томск, 2015. -С. 55-56.
39. Пикалов В.В. Методы трехмерной интерференционной томографии живых клеток [Электронный ресурс]. // Сборник тезисов седьмой международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач" (Новосибирск, Академгородок 19-24 октября 2015). - 2015. -С. 71.

40. Пикалов В.В. Метод обработки интерферограмм для извлечения фазовой информации в диагностике газовых потоков. // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2015: Тезисы Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука (Россия, Новосибирск, Академгородок, 19-23 окт. 2015 г.). - Новосибирск: Академиздат, 2015. -С. 149.
41. Пикалов В.В. Алгоритм деконволюции для реконструкции температур с учетом инерционности датчиков в быстропотекающих процессах. // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2015: тезисы Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука (Россия, Новосибирск, Академгородок, 19-23 окт. 2015 г.). - Новосибирск: Академиздат, 2015. -С.148-149.
42. Пикалов В.В. Условия совместности проекций и определение параметров систем веерной томографии. // Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач. // V Международная молодежная научная школа - конференция (Новосибирск, Академгородок, 8- 13 окт. 2013 г.): тезисы докл. - Новосибирск , 2013. -С. 72.
43. Кулаков И.Ю., Вологин Д.А., Пикалов В.В. Многосеточный алгоритм в задаче веерной ROI-томографии. // Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач. // V Международная молодежная научная школа - конференция (Новосибирск, Академгородок, 8- 13 окт. 2013 г.): тезисы докл. - Новосибирск , 2013. -С. 56.
44. Пикалов В.В. Быстрый алгоритм восстановления изображения по малому числу веерных проекций. // Методы создания, исследования и идентификации математических моделей: тез. докл. Международной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения акад. А.С. Алексеева (Новосибирск, Академгородок, 10-13 окт. 2013 г.). - Новосибирск , 2013. -С. 73.

Тезисы российских конференций

1. Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.1. -Новосибирск: ИТПМ СО РАН, 2013. -С. 300.
2. Жаркова Г.М., Петров А.П., Стрельцов С.А., Хачатурян В.М. Поляризационные голографические решетки для управления поляризованным излучением // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.1. - Новосибирск: ИТПМ СО РАН, 2013. -С. 117-121.
3. Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 200.
4. XXIV Научно - техническая конференция по аэродинамике (п.Володарского, 28 - февраля - 1 марта 2013 г.) : материалы конференции. -М.: ЦАГИ, 2013. -С. 228.
5. Бойко В.М., Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Киселев Н.П., Пивоваров А.А. Экспериментальное исследование структуры зоны обратных токов в сверхзвуковой недорасширенной струе, натекающей на тонкую иглу // Материалы XXIV научно-технической конференции по аэродинамике (п. Володарского, 28 февраля-1 марта 2013 г.) : [материалы конференции]. -М.: ЦАГИ, 2013. -С. 61-62.
6. Бойко В.М., Пивоваров А.А., Поплавский С.В. О диспергировании капель маловязких жидкостей в ускоряющемся потоке при малых числах Вебера // Материалы XXIV научно-технической конференции по аэродинамике (п. Володарского, 28 февраля-1 марта 2013 г.) : [материалы конференции]. -М.: ЦАГИ, 2013. -С. 62.

7. Бойко В.М., Голубев М.П., Павлов А.А. ЛДА-диагностика высокоскоростных многофазных потоков // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 26-29.
8. Жаркова Г.М., Подъячева О.Ю., Субоч А.Н. Влияние углеродных наноматериалов на структуру полимерно-жидкокристаллических композитов // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 55-58.
9. Жаркова Г.М., Сызранцев В.В., Бардаханов С.П., Голковский М.Г. Дисперсии напорошков в полимерно-жидкокристаллических пленках // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 59-62.
10. Павлов А.А., Павлов Ал.А. Тенденции развития теневых и интерференционных методов диагностики газовых потоков // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 119-124.
11. Павлов А.А., Павлов Ал.А. Развитие АВТ-метода для диагностики сильных фазовых неоднородностей // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 125-129.
12. Павлов А.А., Павлов Ал.А., Голубев М.П. Самонаводящиеся фильтры чернике на основе эффекта просветления // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 130-134.
13. Павлов А.А., Павлов Ал.А., Кавун И.Н., Пивоваров А.А. Использование интерферометрических данных для верификации численных расчетов // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 135-138.
14. Пономаренко А.Г., Грачев Г.Н., Земляное А.А., Павлов А.А., Тищенко В.Н., Кабанов А.М., Погодаев В.А., Гейнц Ю.Э., Смирнов А.Л., Павлов Ал.А., Пинаев П.А., Стаценко П.А. Лабораторное моделирование поглощения импульсно-периодического лазерного излучения в воздухе // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции (Новосибирск, 26 - 29 марта 2013 г.). Т.2. -Новосибирск: Параллель, 2013. -С. 152-156.
15. Бойко В.М. Газодинамическое диспергирование жидкостей в промышленных горелках // Динамика многофазных сред : материалы XIII Всероссийского семинара (Новосибирск, 8 - 10 октября 2013 г.) / под ред. В.М. Фомина, А.В. Федорова. -Новосибирск: ООО "Параллель", 2013. -С. 19.
16. Толкачев С.Н., Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Применение жидкокристаллических термоиндикаторов для визуализации структуры течения за локализованными источниками возмущений на передней кромке скользящего крыла // Проблемы механики : теория, эксперимент и новые технологии : доклады X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 100 - летию со дня рождения академика В.В. Струминского (Новосибирск, 23 - 25 апреля 2014 г.) / под ред. В.В. Козлова. -Новосибирск, 2014. -С. 210-213.
17. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П., Шаповал Е.С. Диагностика касательных напряжений на обтекаемой поверхности с помощью жидких кристаллов нематического типа // XXV Научно -

- техническая конференция по аэродинамике (п. Володарского, 27 - 28 февраля 2014 г.) : материалы научно - технической конференции по аэродинамике. -М., 2014. -С. 126-127.
18. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Применение жидкокристаллических покрытий в аэродинамическом эксперименте // Современные проблемы аэрогидродинамики :Тезисы докладов XVII школы - семинара, посвящ. памяти акад. Г.Г. Черного и 55-летию со дня основания НИИ механики МГУ (Сочи, "Буревестник" МГУ, 20-30 авг. 2014 г.). -М.: Изд -во Моск. ун - та, 2014. -С. 57-58.
 19. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. О задачах и перспективах панорамной жидкокристаллической диагностики в аэродинамическом эксперименте // КИМИЛА – 2014 : материалы конференции по измерительной технике и метрологии для экспериментальных исследований летательных аппаратов (Жуковский, ЦАГИ, 28-29 окт. 2014 г.). -№.1. -Б.м., 2014. -С. 197-218.- CD-ROM.
 20. Жаркова Г.М., Подъячева О.Ю., Стрельцов С.А., Субоч А.Н. Высокоструктурированные полимерно-жидкокристаллические композиты, модифицированные азотсодержащими углеродными нановолокнами // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады VI Всероссийской конференции (Новосибирск, 24 - 27 марта 2015 г.). Т.1. -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 107-110.
РИНЦ, id=25978311
 21. Жаркова Г.М., Стрельцов С.А., Подъячева О.Ю. Влияние углеродных наночастиц на дифракционную эффективность поляризационных полимерно-жидкокристаллических решеток // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады VI Всероссийской конференции (Новосибирск, 24 - 27 марта 2015 г.). Т.1. -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 111-114.
РИНЦ, id=25978432
 22. Жаркова Г.М., Зобов К.В., Сызранцев В.В., Романов Н.А. Исследование возможностей допирования нанопорошками неорганических оксидов полимерно-жидкокристаллических композитов // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады VI Всероссийской конференции (Новосибирск, 24 - 27 марта 2015 г.): Т. II. -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 33-35.
РИНЦ, id=26050684
 23. Тищенко В.Н., Грачев Г.Н., Гулидов А.И., Запрягаев В.И., Захаров Ю.П., Павлов А.А., Пономаренко А.Г., Посух В.Г., Шайхисламов И.Ф. Механизм объединения волн в газах и космической плазме с магнитным полем // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады VI Всероссийской конференции (Новосибирск, 24 - 27 марта 2015 г.): Т. II. -Новосибирск: Параллель, 2015. -С. 101-105.
РИНЦ, id=26207217
 24. Бойко В.М. Исследование газо-гидродинамической структуры факела распыла пневматической форсунки методами лазерной диагностики // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20 – 24 авг. 2015 г.) :[сборник трудов]. - Казань, 2015. -С. 502-504.- CD-ROM.
РИНЦ, id=24822763
 25. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Подъячев С.П. Качественная и количественная диагностика газодинамических течений с помощью жидкокристаллических материалов // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20 – 24 авг. 2015 г.) :[сборник трудов]. -Казань, 2015. -С. 1359-1361.- CD-ROM.
РИНЦ, id=24823634
 26. Поплавский С.В. О применении метода PIV в высоко градиентных потоках // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20 – 24 авг.

- 2015 г.) :[сборник трудов]. -Казань, 2015. -С. 3072-3075.- CD-ROM.
РИНЦ, id=24825364
27. Шевченко А.М., Давыдов А.А., Голубев М.П., Павлов Ал.А., Шмаков А.С. Взаимодействие вихревого следа за крылом с пересекающимися ударными волнами // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20 – 24 авг. 2015 г.) :[сборник трудов]. -Казань, 2015. -С. 4189-4191.- CD-ROM.
РИНЦ, id=24826076
28. Поплавский С.В., Бойко В.М., Пивоваров А.А. Диспергирование жидкости в дозвуковых и сверхзвуковых затопленных струях // Динамика Многофазных Сред : труды XIV Всероссийского семинара, приуроченного к 75-летию академика РАН Фомина В.М. (Новосибирск, 2 - 5 ноября 2015 г.) / под ред. В.М. Фомина, А.В. Федорова. -Новосибирск, 2015. -С. 79-81.
РИНЦ, id=25418079
29. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П. Об особенностях применения жидкокристаллических покрытий в исследованиях тепломассопереноса в однофазных средах [Электронный ресурс] // XXXII Сибирский теплофизический семинар, посвященный 80-летию со дня рождения академика В.Е. Накорякова (Новосибирск, Россия, 19 - 20 нояб. 2015 г.) : материалы Всероссийской конференции. -Новосибирск, 2015. -С. 39-40.-CD-ROM.
30. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Подъячев С.П. О возможности измерения касательных напряжений методом жидких кристаллов [Электронный ресурс] // КИМИЛА – 2016 : Материалы II Отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов (Жуковский, ЦАГИ, 25-26 окт. 2016 г.). -Б.м., 2016. -С. 452-459.- CD-ROM.
31. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П. Разработка пленочных индикаторов давления и температуры [Электронный ресурс] // КИМИЛА – 2016 : Материалы II Отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов (Жуковский, ЦАГИ, 25-26 окт. 2016 г.). -Б.м., 2016. -С. 461-469.- CD-ROM.
32. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Количественная и качественная диагностика течения на стенке канала с выступами методом жидких кристаллов // Современные проблемы аэрогидродинамики (Сочи, 5 – 15 сент. 2016 г.) : тезисы докладов XVIII Всероссийской конференции, посвященной 60-летию Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике и 125-летию со дня рождения его первого председателя академика АН СССР Н.И. Мусхелишвили. -М.: Изд-во МГУ, 2016. -С. 54-55.
33. Субоч А.Н., Кибис Л.С., Стонкус О.А., Свинцицкий Д.А., Аюшеев А.Б., Подъячева О.Ю. Каталитический синтез азот-содержащих многостенных углеродных нанотрубок с контролируемыми свойствами // Химия под знаком СИГМА: исследования, инновации, технологии (Омск, 15 - 20 мая 2016 г.) : тезисы V Всероссийской научно молодежной школы-конференции. - Омск, 2016. -С. 265-266.

5. Разработанное оборудование и другие показатели, свидетельствующие об успешном выполнении этапа.

Полученные в данном проекте результаты во многом являются новыми, ориентированными на широкое использование в аэрофизическом эксперименте как на малых, так и на больших аэродинамических установках. На основе методических исследований разрабатываются новые измерительные системы, тестируются в различных экспериментах и будут доведены до экспериментальных образцов. Ожидается, что результаты исследований по проекту и созданные измерительные системы будут востребованы научным сообществом и будут использоваться при выполнении фундаментальных и прикладных исследований в области аэродинамики.