

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Белоусова Андрея Петровича

«Разработка оптических систем локальной и полевой диагностики газожидкостных потоков» представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Диссертационная работа Белоусова А. П. посвящена разработке и исследованию принципов оптической диагностики газожидкостных потоков, разработке концепции унифицированных автоматизированных измерительных систем, и реализации на разработанной научной базе ряда специализированных измерительных комплексов. Проведенное автором в соответствии с паспортом специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы – расчетное и экспериментальное обоснование методов конструирования оптических систем, их изготовления, и эксплуатации позволило сделать вывод о возможности применения данных измерительных систем в ряде задач многофазной гидромеханики.

Диссертационная работа Белоусова А. П. построена в соответствии с общепринятой структурой и включает в себя введение, 5 глав, заключение и список литературы из 160 наименований. Объем диссертации составляет 220 страниц, на которых имеется 111 иллюстраций. Первая глава посвящена обзору существующих методов измерения параметров дисперсных сред. Во второй главе приведены результаты аналитических расчетов преобразования гауссова пучка сферическими границами раздела светопрозрачных сред – задаче, возникающей при контроле потоков с пузырьками или каплями. На базе этих результатов предложен метод обработки сигнала оптического зондирующего устройства. Продемонстрированы модельные и экспериментальные параметры сигнала, показана возможность расчета размера пузырька на основе сигнала от фронтальной стенки газового пузыря. Третья глава посвящена разработке доплеровских диагностических комплексов. Проводится моделирование отклика доплеровских систем на движущийся пузырь/каплю. Предлагается ряд методов измерения скорости и размера дисперсной фазы. В четвертой главе представлены системы полевой диагностики, которые могут быть положены в основу измерительных систем. Пятая глава посвящена применению разработанных в четвертой главе систем для изучения газожидкостных течений. Также в пятой главе приведены методы обработки изображений для определения энергетических свойств крупномасштабных вихревых структур, пространственной локализации и скорости элементов дисперсной фазы.

**Актуальность представленной диссертационной работы** обусловлена важностью разработки перспективных бесконтактных измерительных комплексов, позволяющих в новом тысячелетии существенно модернизировать энергетические, транспортные, нефтедобывающие, экологические, химические и биологические технологии, оперирующие с газожидкостными смесями. Одним из направлений разработки систем мониторинга многофазных потоков является применение методов классической, волновой и когерентной оптики. Несмотря на очень серьезные физические и технические сложности, связанные с разработкой и созданием систем оптической диагностики, в настоящее время ряд исследовательских и производственных коллективов предлагает ряд измерительных систем локального и полевого контроля параметров газожидкостных течений. В качестве примера можно привести методы лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА), методы полевой диагностики (измерение поля скорости по изображениям частиц). Следует отметить, что отмеченные методы обладают рядом ограничений, при попытках применения для изучения газожидкостных потоков.

Следующим этапом развития оптических методов применительно к газожидкостным потокам является создание универсальных подходов, позволяющих вести непрерывный мониторинг процессов. Соответствующие проекты разрабатываются в ряде развитых стран, в том числе в России, которая принимает активное участие в



создании перспективных измерительных устройств. Для оптимального использования таких систем – целесообразно заниматься разработкой современных, быстрых, точных и доступных систем оптической диагностики.

Рассматриваемые в диссертации Белоусова А. П. сложные и многофункциональные измерительные комплексы в совокупности со многими вспомогательными системами необходимы для дальнейшего развития и выхода на новый уровень экспериментальных исследований, проводимых в РФ на гидромеханических стендах и промышленных объектах. Важной составляющей исследования является обзор существующих методов для определения оптимальных путей развития. Необходимые для проведения мониторинга и контроля оптические комплексы предъявляют серьезные требования к системам обработки сигнала. Среди инженерных проблем измерительных комплексов одно из первых мест занимает согласование оптико-электронной и информационной частей.

Создание и запуск в 1999-2015 годах при непосредственном участии диссертанта ряда измерительных систем потребовало детального исследования совокупности существующих технологий, выбора оптимальных оптико-электронных решений, разработки диагностических принципов, широкого внедрения средств цифровой обработки сигнала, согласования совместной работы всех частей. Техническое перевооружение современных оптических измерительных систем, с целью создание быстрых, эффективных, доступных систем, является одной из основных задач исследования. Таким образом, тема диссертации Белоусова А. П., безусловно, является весьма актуальной.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** В большинстве представленных материалов диссертации ее автор приводит результаты как экспериментальных, так и расчетных исследований. С учетом того, что системы одновременного определения скорости и размера дисперсной фазы, диффузного освещения светопрозрачных границ раздела, измерения энергетических свойств крупномасштабных вихревых структур, метод определения пространственной локализации и некоторые другие, были созданы при участии А. П. Белоусова впервые, проведенные весьма тщательно исследования и отработка измерительных технологий продемонстрировали необходимый инженерный уровень разработанных конструкций и их высокую работоспособность, что, несомненно, подтверждает необходимую степень обоснованности сформулированных в научно-квалификационной работе положений. Более того, использование результатов, впервые полученных автором при решении ряда задач гидромеханики, послужило другим исследователям из ряда стран обоснованием правильности результатов, полученных ими в последующих исследованиях.

По важнейшим аспектам разработок автор проводит тщательное сравнение полученных им и литературных результатов, что подтверждает сформулированные выводы и рекомендации, отраженные также и в основных публикациях по теме диссертации в приоритетных изданиях. Поэтому все приведенные научные положения, выводы и рекомендации, в том числе применительно к создаваемым в будущем системам, в достаточно степени обоснованы.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации** базируется на тщательном анализе литературных, полученных автором лично и в результате коллективной деятельности данных, адекватном выборе расчетных моделей, а также на качественном соответствии результатов расчетов с имеющимися зависимостями. Полученные расчетные результаты соответствуют постановке задач, допускают практически единственное обобщающее толкование, достаточно четко сформулированы автором в соответствующих главах диссертации и совпадают с феноменологией экспериментов.



**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Новизна большинства полученных результатов вытекает из научных приоритетов создания измерительного оборудования. Многие решения в условиях эксплуатации разработанных систем получены впервые. Так, впервые исследована и закрыта проблема искажения данных, возникающих при контактной деформации пузырьков взаимодействующих с оптоволоконным зондом. Разработанный автором дистанционный метод измерения радиуса кривизны фронтальной стенки газовых пузырьков, доказывает корректность использования волоконного зондирования в ряде задач гидромеханики. Впервые разработаны и внедрены доплеровские технологии измерения статических и динамических параметров газожидкостных смесей. Следует особо подчеркнуть оригинальный метод измерения диаметра пузырька по частоте собственных колебаний границы, являющийся прямым конкурентом фазовых доплеровских технологий и превосходящий их по ряду метрологических параметров. Впервые обоснован и экспериментально апробирован метод диффузного освещения, послуживший основой ряда оптических полевых систем измерения статических и динамических параметров дисперсной фазы. Предложен новый метод компенсации пространственных искажений, в системах содержащих шаровые линзы, дающий возможность проводить контроль и мониторинг гидродинамических процессов в шаровых засыпках. Разработаны новые системы измерения энергетических свойств вихревых структур и моделирования пространственного распределения дисперсной фазы по изображениям частиц.

**Практическая значимость** полученных результатов исследований подтверждается, прежде всего, тем, что на их основе разработан широкий спектр оптико-метрологических комплексов, успешно использованных в ряде задач экспериментальной гидромеханики, в частности при проведении научных исследований в Институте химической биологии и фундаментальной медицины. При этом громадный объем полученных автором или при его непосредственном участии результатов инженерно-физических исследований использован для проектных решений отдельных элементов и систем в целом. Сформулированные автором расчетные модели отражения и преломления гауссовых пучков сферическими границами раздела, набор аналитических и численных методов расчета оптических схем, успешно используются в реализации учебных программ на профильных кафедрах НГТУ и СГУГиТ

Рецензируемая диссертация производит хорошее впечатление благодаря всестороннему рассмотрению комплекса оптических, гидромеханических и метрологических аспектов, тесно взаимосвязанных друг с другом, наличием оригинальных инженерных решений, тщательное обоснование которых представлено в диссертации.

Автором представлено решение крупной научной проблемы, имеющей большое политическое и хозяйственное значение. В диссертации изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы корректно отражен в диссертации и автореферате и подтверждается имеющимися публикациями.

Основная цель исследования – разработка актуальных оптических систем локальной и полевой оптической диагностики – реализованы на высоком научно-техническом уровне. Для этого автором обоснованы, созданы и отработаны сложные технические системы, для чего применялись соответствующие экспериментальные и расчетные методы исследований.

Автореферат диссертации достаточно в целом полно отражает ее содержание. Основные положения диссертации опубликованы как в РФ, так и за рубежом, в том числе



и в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикаций материалов докторских диссертаций и стали достоянием научного сообщества.

В то же время, на мой взгляд, работа не лишена некоторых недочетов. Среди недостатков можно отметить следующие.

- По итогам рассмотрения диссертации можно сделать вывод о большей склонности автора к использованию теоретических методов исследования. По-видимому, по этой причине практически все теоретические задачи ставятся четко и ясно. В то же время представление некоторых технических аспектов реализации разработанных методов ограничено лишь общими соображениями. В диссертации имеется 7 рисунков (рис. 2.10, 3.10, 4.4, 4.7, 5.1, 5.20, 5.55), которые могут быть отнесены к оптическим схемам, но все они выполнены не в техническом стиле по ГОСТ, а в виде сочетания псевдо-объемных фигур, затрудняющем понимание конструкции и принципов функционирования оптического устройства. Из стиля подачи оптических схем и полного отсутствия фотографий разработанных систем можно сделать вывод, что все разработки остались, в лучшем случае, на уровне лабораторных макетов, не доведенных до прототипов приборов, достойных фотографирования.
- На рис. 5.20 и 5.41 неудачно подобрана полутоновая палитра передачи двумерных распределений. При печати на черно-белом принтере рисунки выглядят черными прямоугольниками.
- Отсутствует сравнение характеристик собственных разработанных методов с методами, разработанными другими авторами.
- В списке литературы в диссертации нет патентов - ни своих, ни чужих. Складывается впечатление, что в рассматриваемой области оптического приборостроения все давно придумано и вопросы приоритета при внедрении технических решений не стоят. Тем не менее, 2 зарубежных патента автора указаны в списке основных публикаций по теме диссертации.
- В реферате указано, что имеется 40 печатных работ по теме диссертации, но в списке литературы в диссертации имеются ссылки только на 11. Автор мог бы сослаться хотя бы на все 15 своих статьи в рецензируемых журналах. Читая диссертацию с представленным списком литературы, трудно оценить степень опубликованности материала диссертации.
- В списке литературы в диссертации нет публикаций в зарубежных журналах, что свидетельствует в некоторой степени об отсутствии опыта прохождения жесткого рецензирования тремя рецензентами, практикуемого в большинстве высокорейтинговых журналов.
- На мой взгляд, в Заключение к диссертации в отдельном пункте следовало бы более четко сформулировать достижения в использовании результатов квалификационной работы. Это способствовало бы более ясному отражению значимости полученных в работе результатов. Странно, что в диссертации и автореферате такие сведения приведены в различных разделах. Странно также то, что в диссертации имеется 7 пунктов новизны, но 6 результатов. Получается, что не все новые разработки дали результаты.
- Прилагаемые к диссертации акты внедрения получены только от новосибирских организаций. Это создает впечатление работы регионального значения.

Отмеченные недостатки, однако, не снижают, безусловно, высокого уровня диссертационной работы в целом. Выполненная Белоусовым А. П. диссертационная работа является весомым вкладом в исследование и разработку систем оптической и полевой диагностики газожидкостных течений и представляет несомненный научный и практический интерес.

Представленные диссертация и автореферат соответствуют критериям и требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук («Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденное



Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842). Ее автор, Белоусов Андрей Петрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Официальный оппонент,  
И. о. заместителя директора по научной работе,  
заведующий лабораторией дифракционной оптики  
Института автоматики и электрометрии СО РАН,  
доктор технических наук

В. П. Корольков

Подпись В. П. Королькова

Подпись
<i>Королькова В</i>
сотрудника ИАиЭ СО РАН
заверяю <i>л.в.</i>
Зав. отделом кадров
Кудрявцева Н.В.
«07» 12 2017

*Отзыв получен 08 декабря 2017г.*  
*Генеральный секретарь Инст. В.В. Виноградов*  
*С отзывом ознакомлен 8.12.2017г.*  
*И. Белоусов А.П.*