

П. Д. Лобанов^{1}, Н. А. Прибатурин¹, И. К. Кабардин¹, К. С. Зубанов¹*

Развитие оптоволоконного метода измерения газосодержания

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: ivankabardin@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена развитию метода измерения газосодержания в двухфазном потоке. Метод основан на регистрации отраженного лазерного излучения от проплывающих пузырей воздуха. Работа нацелена на создание прибора и метода, при помощи которого будет возможно оценить газосодержание в потоке, действие которого основано на отражении света от пузырей. Задачи, поставленные в работе, позволяют выполнить работу в полной мере, а именно: разработать экспериментальную модель с течением двухфазного потока, зарегистрировать датчиком пузыри газа в воде, оценить локальное газосодержание в области измерений. В ходе работы был разработан волоконно-оптический датчик для регистрации пузырьков. Рассмотрены различные условия использования датчика. Разработанный метод предполагается модернизировать и использовать для измерения концентрации пузырьков в аппарате биологического роста бактерий и для измерения скорости частиц.

Ключевые слова: газосодержание, двухфазный поток, отражение, оптоволокно

P. D. Lobanov^{1}, N. A. Pribaturin¹, I. K. Kabardin¹, K. S. Zubanov¹*

Development of a Fiber Optic Method for Gas Content Measurement

¹ S. S. Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: ivankabardin@gmail.com

Abstract. The work is devoted to the development of a method for measuring gas content in a two-phase flow. The method is based on the registration of reflected laser radiation from floating air bubbles. The work is aimed at creating a device and a method by which it will be possible to estimate the gas content in the flow, the effect of which is based on the reflection of light from the belly. The tasks set in the work allow us to perform the work in full, namely: to develop an experimental model with a two-phase flow, to register gas bubbles in water with a sensor, to estimate the local gas content in the measurement area. In the course of the work, a fiber-optic sensor was developed to register bubbles. Various conditions of using the sensor are considered. The developed method is supposed to be upgraded and used to measure the concentration of bubbles in the biological growth apparatus of bacteria and to measure the particle velocity.

Keywords: gas content, two-phase flow, reflection, optical fiber

Введение

Различные отрасли промышленности не могут обойтись без реализации различных движений сред, в том числе и двухфазных потоков. За счет двухфазных потоков обеспечивается улучшенный турбулентный массообмен при различных режимах течения. Все многообразие движения частиц и жидкости условно делят на несколько классов: седиментация, фильтрование, бурлящий и циркулирующий кипящий слой, гидравлический транспорт.

Практические приложения такого типа применяют в устройствах, работу которых можно классифицировать по объемной концентрации и физическим свойствам частиц.

Оптоволоконные датчики уже использовались в некоторых работах для исследования газожидкостных потоков, а также для измерения распределения газовой фазы [1–4].

Данная работа нацелена на создание прибора и метода, действие которого основано на отражении света от пузырей, при помощи которого будет возможно оценить газосодержание в потоке.

Задачи, поставленные в работе: разработать экспериментальную модель течения двухфазного потока; зарегистрировать датчиком пузыри газа в воде; оценить локальное газосодержание в области измерений.

Описание экспериментальной установки

Концентрация пузырьков фиксируется через двухволоконный датчик, который относится к отражающему типу. Лазерный свет отражается от пузырей вблизи наконечника датчика и детектируется этим датчиком. Метод заключается в фиксации перехода сигнала, после того как пузырек пересекает детектируемое пространство.

Главным элементом экспериментальной установки (рис. 1) является оптическое волокно. Сердечник и оптическая оболочка составляют два коаксиальных слоя, которые имеют различные показатели преломления (рис. 2). Для корректной работы датчика, необходимо, чтобы показатель преломления сердечника был выше показателя преломления оболочки (разница показателей преломления не превышает 1%)

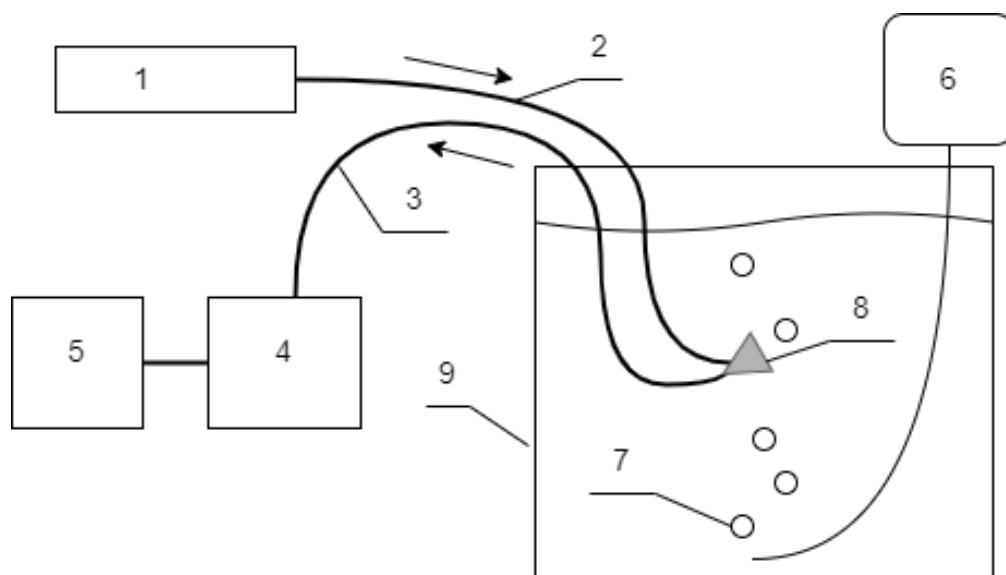


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – лазер; 2 – передающее оптоволокно; 3 – принимающее оптоволокно; 4 – фотодетектор; 5 – осциллограф; 6 – воздушный насос; 7 – всплывающие пузырьки воздуха; 8 – рабочая зона датчика; 9 – сосуд с водой

Большое значение для оптического волокна имеют материалы, входящие в его состав, и размеры, так как это влияет на физические параметры и свойства оптоволокна. Для того чтобы добиться полного внутреннего отражения в волокне, необходимо свет подводить под углом, превышающим критический. Таким образом свет по сердцевинке будет расходиться зигзагообразно. При такой передаче единственными местами значительной потери света будут места стыка оптоволокна с различными частями установки. В качестве одного из таких мест можно выделить фотодетектор, так как сигнал, отраженный от пузыря, часто бывает слабым. Стык повлияет на рассеяние и направление отражения, что может привести к потере сигнала.

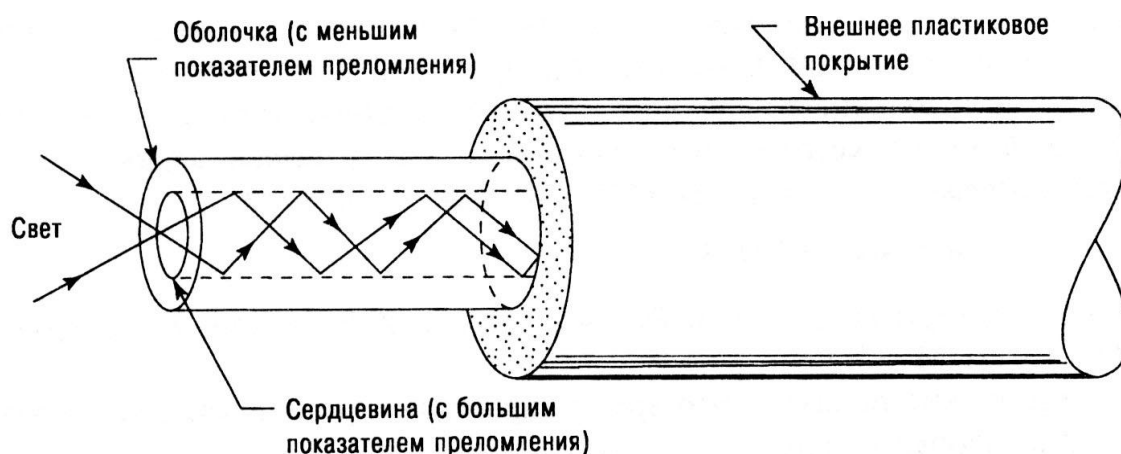


Рис. 2. Схема оптического волокна

Все рассмотренные схемы описывают принцип работы зонда. Свет, отраженный от пузыря, направляется на фотодетектор при помощи оптического волокна. На рис. 3 показана блок-схема фотодетектора, с которого на осциллограф выводятся показания изменения напряжения, зависящего от интенсивности поступающего света.

Методика расчетов

Напряжение возрастает при прохождении пузырька рядом с датчиком, при этом когда среда однородна, излучение не отражается, таким способом можно фиксировать пузыри.

Если поместить щуп датчика около пузырей и зафиксировать время, то можно определить объемную концентрацию:

$$\varphi_{bub} = \sum \frac{t_i}{T}, \quad (1)$$

где t_i – время нахождения пузырька вблизи датчика; T – общее время измерения.

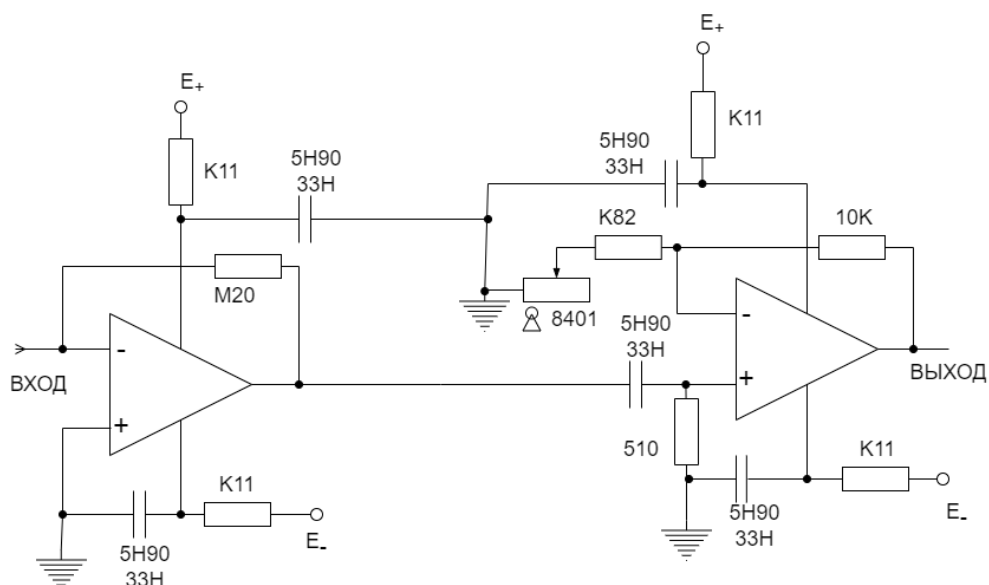


Рис. 3. Схема фотодетектора

Исходя из полученных данных, была разработана схема с тремя оптическими волокнами (дифференциальная схема лазерного доплеровского анемометра), показанная на рис. 3. Этот способ подойдет при исследовании гидродинамики двухфазных потоков с большой концентрацией дисперсной фазы псевдооживленного и циркулирующего псевдооживленного слоя.

Эксперимент проводился в лабораторных условиях с подачей пузырькой непосредственно вблизи детектирующего наконечника зонда. Лазерное излучение, направленное на оптическое волокно, отражается при прохождении пузыря, после чего сигнал в виде света попадает во второе оптическое волокно и поступает на фотодетектор. Демонстрационная фотография работы датчика представлена на рис. 4.

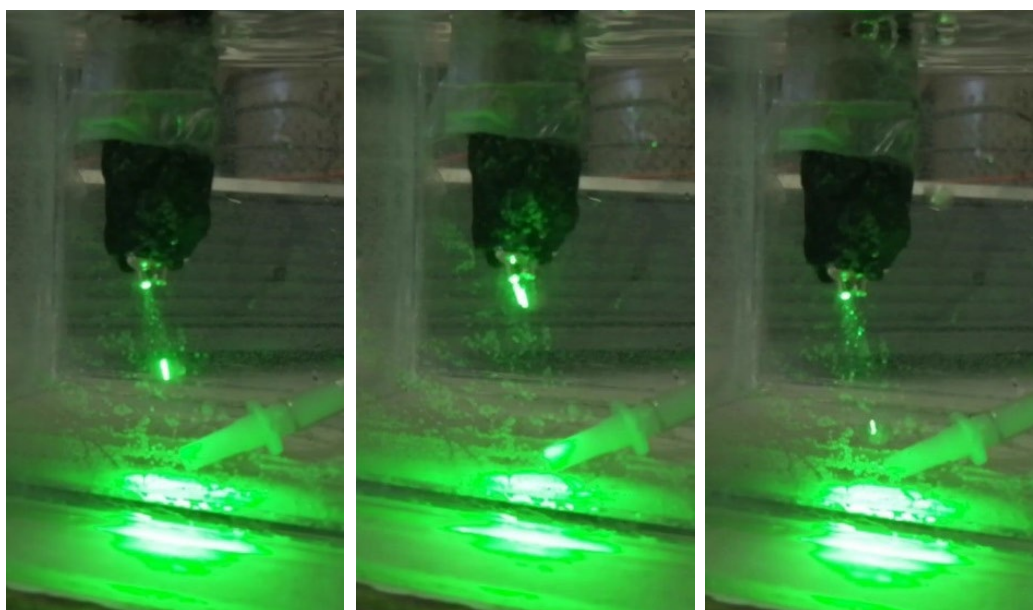


Рис. 4. Датчик фиксирует проходящий пузырь

Результаты

Показания осциллографа, которые представляют собой регистрируемый сигнал при прохождении пузыря через детектируемую область, представлены на рис. 5. Отраженное излучение фиксируется в виде пика на осциллограмме, другими словами, каждый пик – это детектируемый пузырь. Верхнее значение полученного напряжения варьируется в диапазоне от 100 до 200 мВ. Сам датчик способен выдавать максимальное напряжение в 15 В, поэтому можно сделать вывод о его высокой чувствительности, что, в рамках данной работы, является важным показателем.

Можно наблюдать и другой тип показаний осциллографа. При большой мощности подаваемого на датчик излучения вблизи стенки сигнал в большей мере несет информацию о свете, отраженном от стенок. В данном случае регистрируемый пузырь заберет часть отраженного от стенок света, и вместо пика будет резкий спад напряжения (рис. 6).

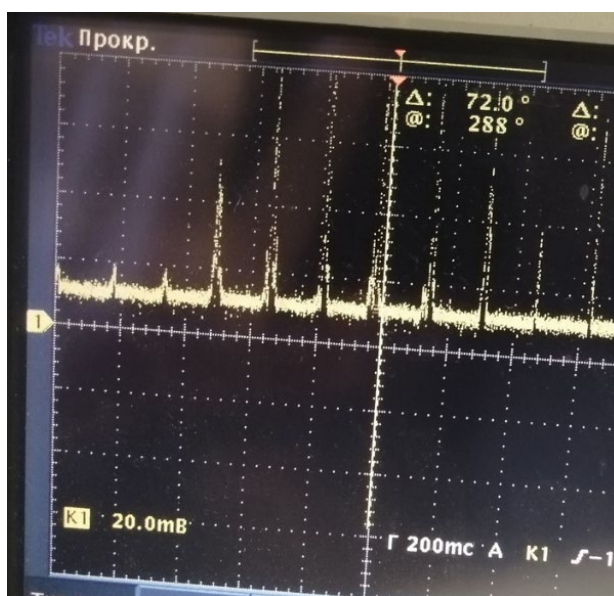


Рис. 5. Показания осциллографа при прохождении пузыря через детектируемый объем

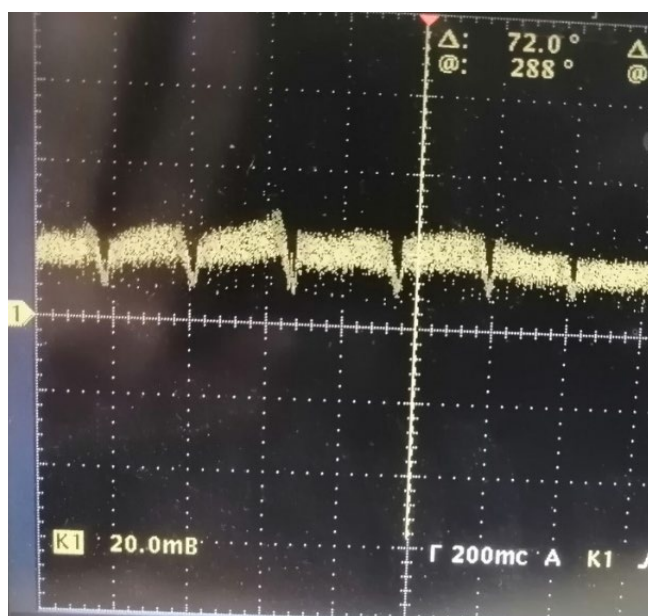


Рис. 6. Пузырь поглощает часть отраженного света от стенки

Проведенные эксперименты позволили подтвердить эффективность методов измерения газосодержания за счет получения информации с отраженного света от пузыря. Таким образом, можно измерить локальное газосодержание, которое имеет огромное практическое применение. Еще одним немаловажным свойством датчика является его чувствительность.

Применяя формулу (1) и данные с осциллограммы, можно получить локальное газосодержание. Примем полное время эксперимента T равным 2 с. В первом случае $\phi_{bub} = 0,16$ или $\phi_{bub} = 16\%$. Во втором случае получим $\phi_{bub} = 0,12$ или $\phi_{bub} = 12\%$.

Заключение

Разработан датчик для измерения локального газосодержания, основанный на дифференциальной схеме лазерного доплеровского анемометра с тремя оптическими волокнами. Отмечена высокая чувствительность метода при измерении содержания газа вблизи стенки с сильным лазерным излучением. Лабораторные испытания датчика для двух случаев подачи газа в воде показали газосодержание с высокой точностью. Предложенный датчик может быть использован для различных условий течения двухфазных потоков.

Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jones O.C., Delhayе J.-M. Transient and statistical measurement techniques for two-phase flows: a critical review // *Int. J. Multiph. Flow.* – 1976. – Vol. 3. – No. 2. – P. 89–116.
2. Cartellier A., Achard J.L. Local phase detection probes in fluid/fluid two-phase flows // *Rev. Sci. Instrum.* – 1991. – Vol. 62. – No. 2. – P. 279–303.
3. Boyer C., Duquenne A.-M., Wild G. Measuring techniques in gas–liquid and gas–liquid–solid reactors // *Chem. Eng. Sci.* – 2002. – Vol. 57. – No. 16. – P. 3185–3215.
4. Delhayе J.M., Cognet G. *Measuring Techniques in Gas-Liquid Two-Phase Flows* // *Measuring Techniques in Gas-Liquid Two-Phase Flows* / под ред. Delhayе J.M., Cognet G. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1984. – 755 p.

© П. Д. Лобанов, Н. А. Прибатурин, И. К. Кабардин, К. С. Зубанов, 2023