

К. С. Зубанов^{1}, И. К. Кабардин¹, В. Е. Ледовский¹, А. Т. Янчат¹*

Калибровка оптоволоконного датчика измерения газосодержания

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: k.zubanov@g.nsu.ru

Аннотация. В работе произведена калибровка оптоволоконного зонда измерения газосодержания в многофазном потоке. В основе метода измерения газосодержания лежит отражение светового пучка в среде от фазовых неоднородностей, в роли которых выступает газовая составляющая многофазного потока. Представлен зондовый метод измерения газосодержания, путем погружения зонда в измерительный объем. При отражении света от пузырьков воздуха, рассеянный свет обратно по оптоволокну проходит до фотоприемника, где формируется электрический сигнал. Анализ сигнала позволяет проводить измерения локального газосодержания в измерительном объеме. Газосодержание определяется по суммарному времени регистрации света фотоприемником в течение всего эксперимента. Выполнена экспериментальная демонстрация работы предложенного метода и калибровка зонда.

Ключевые слова: многофазный поток, оптоволокну, зонд, измерение газосодержания

K. S. Zubanov^{1}, I. K. Kabardin¹, V. E. Ledovskiy¹, A. T. Yanchat¹*

Calibration of a Fiber Optic Sensor for Measuring Gas Content

¹Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation
* e-mail: k.zubanov@g.nsu.ru

Abstract. In this paper, a fiber-optic probe for measuring gas content in a multiphase flow was calibrated. The method of measuring the gas content is based on the reflection of a light beam in the medium from phase inhomogeneities, which are the gas component of a multiphase flow. A probe method for measuring gas content is presented by immersing the probe into a measuring volume. When light is reflected from air bubbles, the scattered light passes back through the optical fiber to the photodetector, where an electrical signal is formed. Signal analysis makes it possible to measure the local gas content in the measuring volume. The gas content is determined by the total time of light registration by the photodetector during the entire experiment. The experimental demonstration of the proposed method and calibration of the probe were performed.

Keywords: multiphase flow, optical fiber, probe, gas content measurement

Введение

В настоящее время существует целый ряд методов для диагностики размера пузырей и газосодержания [1–3]. Все они обладают своими достоинствами и недостатками. Применение оптических методов, которые исследуют среду через иллюминатор, затруднено в связи со слабой прозрачностью культуральной среды. Существует класс методов на основе зондовых ультразвуковых методов.

Диагностические системы на основе таких подходов позволяют измерить локальные распределения скорости. Примеры использования таких методов в лабораторных исследованиях встречаются в виде научных статей. В промышленных технологиях такого рода методы не применялись. Поэтому применение зондов с такого рода методами позволит впервые получить новую информацию о распределении скорости, а в перспективе, и о размерах пузырей, и о локальном газосодержании в малопрозрачной культуральной жидкости, в которой проходит активный биологический процесс.

Таким образом, для создания точного и верифицированного инструмента оценки газогидродинамических параметров аппарата ферментации С1-газов методом численного моделирования необходимы зондовые измерители скорости, применимые для непрозрачных многофазных потоков.

Описание метода

Схема работы зонда для измерения газосодержания представлен на (рис. 1). Работа зонда основана на измерении лазерного света, который отражается от пузырьков. Индикация пузырьков происходит, когда пузырьки находятся близко к наконечнику датчика. Напряжение имеет сначала постоянное значение, но, когда интенсивность проходящего света растет, начинает расти напряжение.

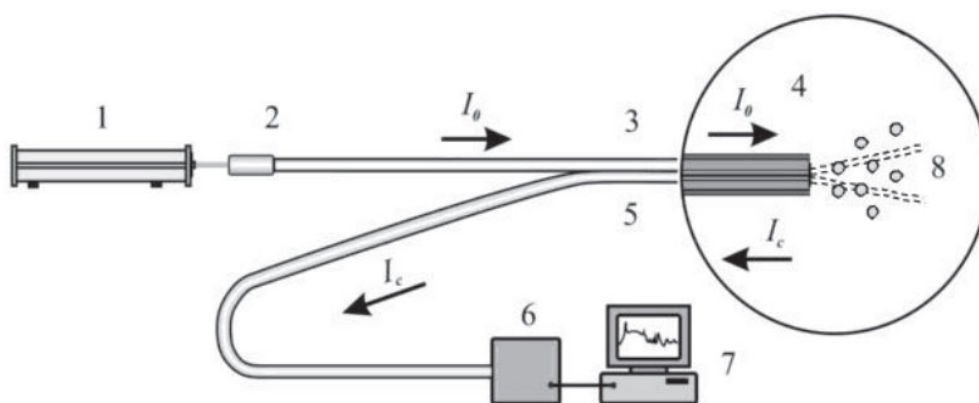


Рис. 1. Схема зондирующего канала [4]: 1 – лазер; 2 – градиентная линза; 3 – зондирующий оптоволоконный кабель; 4 – наконечник датчика; 5 – принимающий оптоволоконный кабель; 6 – фотодетектор; 7 – осциллограф; 8 – двухфазный поток

Основным элементом зонда является оптическое волокно. У оптического волокна присутствует два слоя: сердечник и оптическая оболочка с разными показателями преломления n_1 и n_2 (рис. 2). У оболочки показатель преломления меньше, чем у сердечника. В местах соединения оптического волокна может происходить потеря светового сигнала. Это может приводить к потере сигнала, даже если у фотодетектора высокая чувствительность.

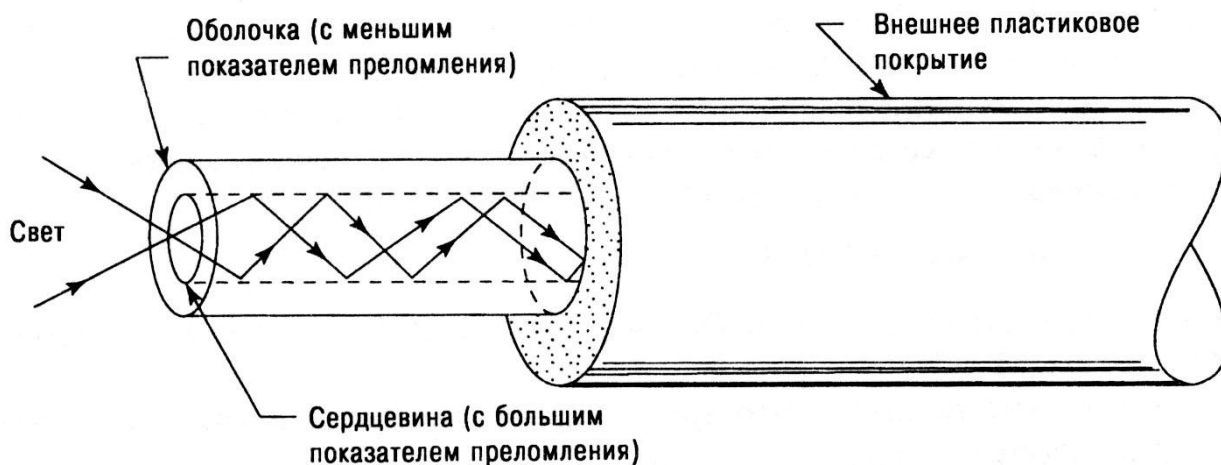


Рис. 2. Устройство оптического волокна

Отраженный свет от пузыря попадает в оптическое волокно. Оптическое волокно присоединено к фотодетектору. Затем на осциллографе фиксируется изменение напряжения на выходе. Оно зависит от интенсивности света.

Когда наконечник датчика находится вблизи пузырька, происходит изменение уровня сигнала, а именно возрастает напряжение. Объемная концентрация пузырьков определяется по времени нахождения наконечника датчика вблизи пузырька по формуле:

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

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

Электрический сигнал с каждого зонда регистрируется аналого-цифровым преобразователем в соответствующем блоке формирования и управления сигнала и передается на персональный компьютер, где он обрабатывается, результаты экспериментальных измерений визуализируются на графиках и сохраняются на персональном компьютере.

Результаты

Оптоволоконный метод измерения локального газосодержания многофазного потока был реализован с помощью зонда, в наконечник которого подводится по оптоволоконному кабелю световой пучок (рис. 3), и опробован в лабораторных условиях на экспериментальном стенде (рис. 4).

Имеется жидкостный резервуар 1 из которого при помощи насоса 2 по каналу 3 циркулирует жидкостный поток с фазовыми неоднородностями в виде пузырьков газа. Расход через поперечное сечение канала контролируется ультразвуковым расходомером. В измерительном участке встраивается зонд измерения газосодержания 5, сигнал с которого поступает на модуль обработки сигнала 6.

После этого на персональном компьютере при помощи программного обеспечения, написанного на языке Python, происходит анализ регистрируемого сигнала и вычисление необходимых значений (рис. 4).

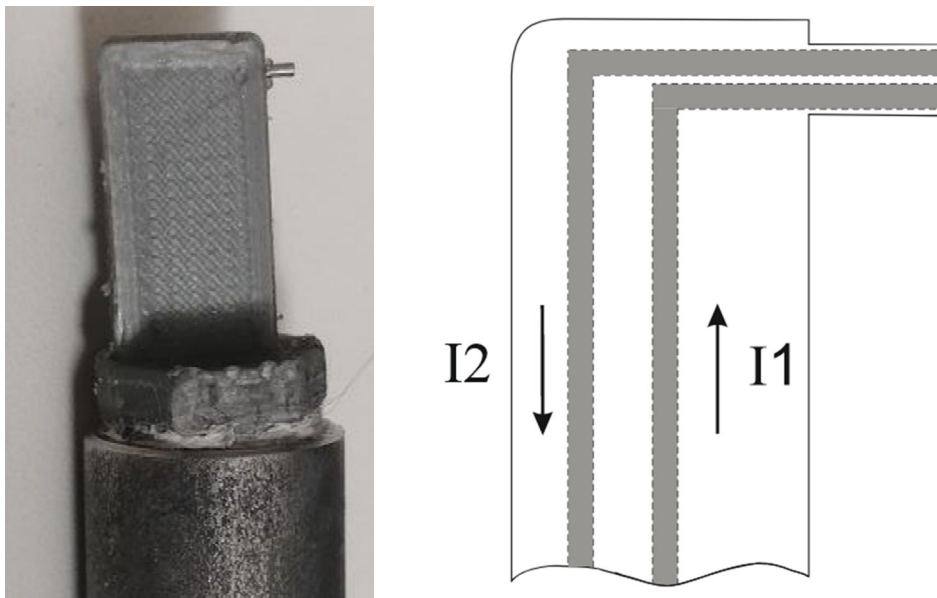


Рис. 3. Макет зонда измерения газосодержания

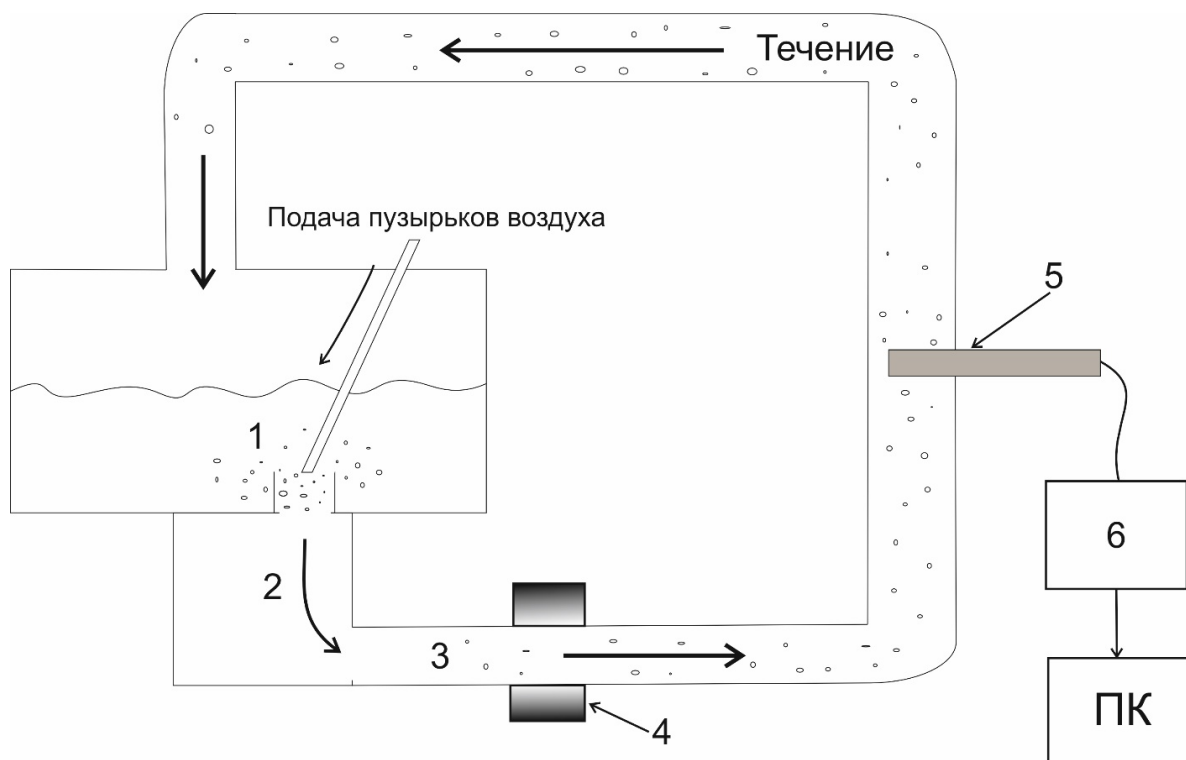


Рис. 4. Схема экспериментального стенда: 1 – Жидкостный резервуар; 2 –насос; 3 – проточный канал; 4 – ультразвуковой расходомер; 5 – Зонд; 6 – модуль регистрации и обработки сигнала

В качестве жидкости для потока использовалась вода, газовую фазу составляли пузырьки воздуха, вводимые в канал при помощи компрессора.

При обработке регистрируемого сигнала анализируется напряжение с фотоприемника. Параметр порогового напряжения определяет минимальное напряжение регистрируемого сигнала, при котором производится регистрация газовой фазы. При регистрации сигнала, величина которого меньше порогового, регистрируется жидкая фаза (рис. 5). Процент газосодержания определяется отношением зарегистрированной газовой фазы в кадре к размеру кадра (рис. 6).

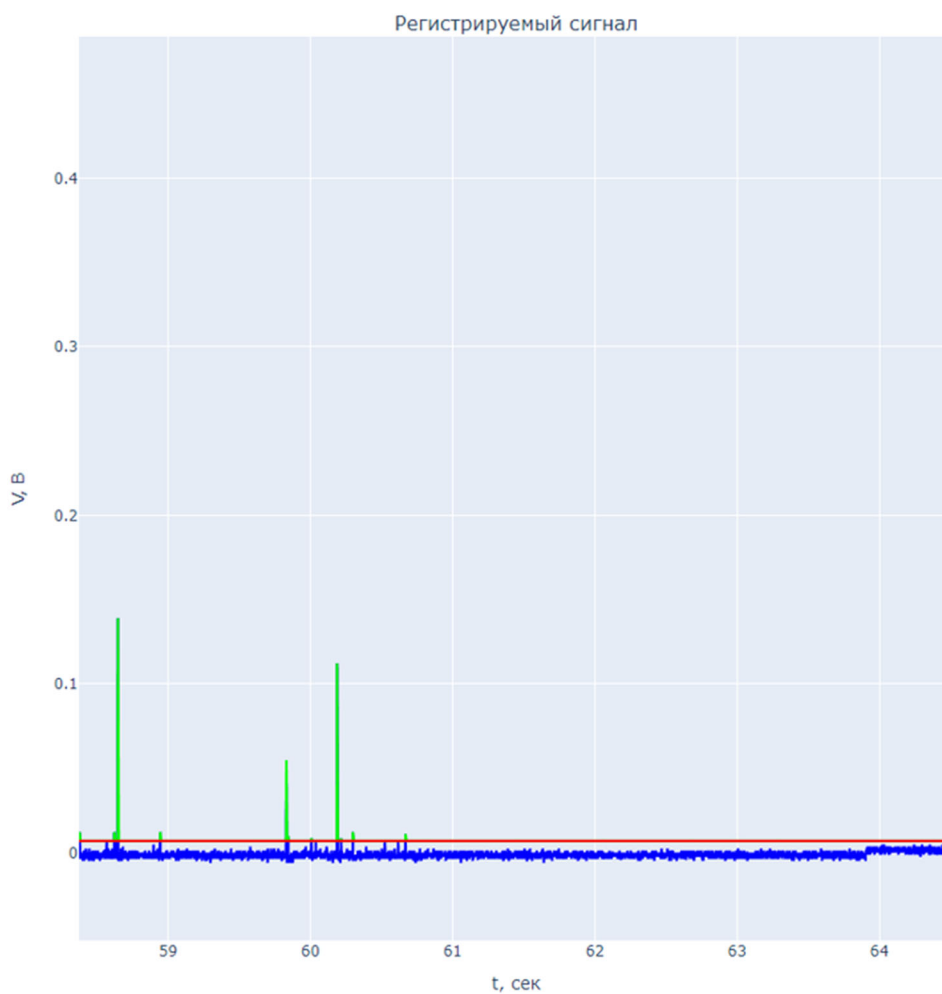


Рис. 5. Регистрируемый зондом сигнал

Заключение

Разработанный метод измерения газосодержания позволяет измерять локальное газосодержание в многофазном потоке путем регистрации отраженного света от фазовых неоднородностей.

Применение данного метода позволит измерять локальное газосодержание многофазных потоков в оптически непрозрачных средах путем погружения зонда в измерительную область.

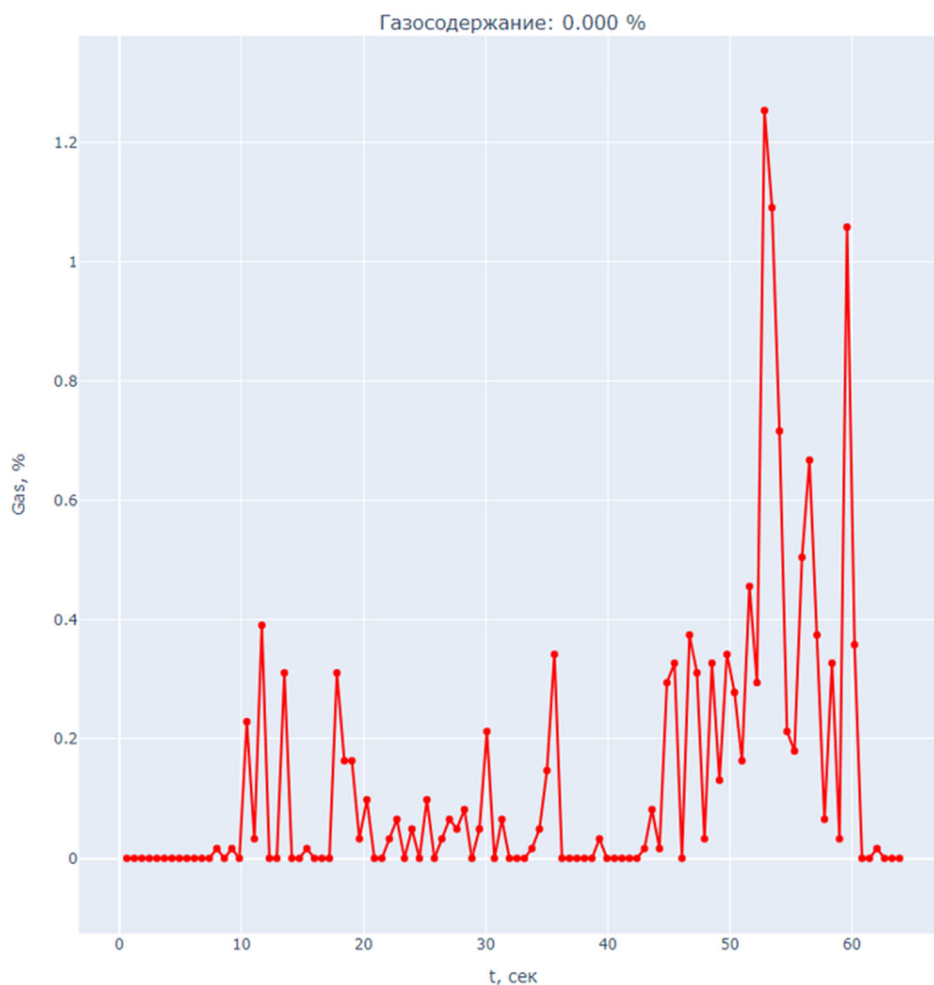


Рис. 6. Измерение газосодержания

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / СПб.: Политехника, 2004.
2. Могильнер А. И., Морозов С. А., Захаров С. О., Уралец А. Ю. Детектирование пузырьков газа в жидкометаллическом теплоносителе с помощью магнитных расходомеров // ФЭИ, г. Обинск. – 1986.
3. Лешков В. В., Школяренко В. В., Таранин В. Д. Устройство контроля газа в жидкометаллическом теплоносителе. Патент №2426111.
4. A. R. Evseev; Diagnostics of two-phase flows with high concentration of a solid dispersed phase using fiber-optic sensors. *AIP Conf. Proc.* 13 October 2016; 1770 (1): 030102.

© К. С. Зубанов, И. К. Кабардин, В. Е. Ледовский, А. Т. Янчат, 2024