

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.24412/2077-8481-2026-1-76-86

УДК 681.586.5

*М. А. АСАЁНОК*, канд. техн. наук

*А. О. ЗЕНЕВИЧ*, д-р техн. наук, проф.

*Е. В. НОВИКОВ*, канд. техн. наук, доц.

*А. В. ШВАКОВ*

Белорусская государственная академия связи (Минск, Беларусь)

### ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДУКТА В ПРОДУКТОПРОВОДЕ

#### Аннотация

Проведена оценка возможности применения оптического волокна, используемого в телекоммуникациях, для создания волоконно-оптического датчика, позволяющего реагировать на изменения скорости движения продукта в продуктопроводе. Целью является разработка простого в реализации волоконно-оптического датчика, пригодного для регистрации изменения скорости потока, как информативного параметра движения продукта в продуктопроводе, и позволяющего регистрировать факт утечки продукта, на основе макроизгибов оптического волокна. Предложена оригинальная конструкция волоконно-оптического датчика на базе одномодового оптического волокна G655. Создана экспериментальная установка и разработана методика исследования характеристик предложенного датчика. Проведены исследования свойств волоконно-оптического датчика для разных длин волн оптического излучения и радиусов изгиба его пластин. Разработан метод определения уменьшения скорости потока продукта в продуктопроводе с использованием предложенного волоконно-оптического датчика.

#### Ключевые слова:

волоконно-оптический датчик, оптическое волокно, макроизгиб оптического волокна, скорость движения продукта, мониторинг утечек.

#### Для цитирования:

Волоконно-оптический датчик контроля уменьшения скорости распространения продукта в продуктопроводе / М. А. Асаёнок, А. О. Зеневич, Е. В. Новиков, А. В. Шваков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 1 (90). – С. 76–86.

#### Введение

В настоящее время оптическое волокно активно используется для мониторинга состояния магистральных продуктопроводов, особенно тех, где транспортируются нефть, газ, химические вещества и другие опасные продукты. При этом одним из важнейших направлений мониторинга является контроль утечек, под которым подразумевают комплекс методов и технологий, позво-

ляющих обнаружить, локализовать и оценить объем вещества, потерянного из замкнутой системы [1].

При транспортировке по продуктопроводу легковоспламеняющихся или взрывоопасных продуктов, а также химически агрессивных веществ к датчикам предъявляются особые требования. Для легковоспламеняющихся или взрывоопасных продуктов к таким требованиям прежде всего относится отсутствие искрообразования, а для химиче-

ски агрессивных продуктов – стойкость к химическому воздействию. В подобных случаях наиболее подходящими являются волоконно-оптические датчики, для работы которых используется оптическое излучение, а не электрический ток, что исключает искрообразование. Также оптическое волокно устойчиво к различного рода химически агрессивным веществам.

В настоящее время для обнаружения наличия мест разрывов и утечек продукта находят применение волоконно-оптические датчики, контролирующие температуру или виброакустические шумы [1, 2]. Волоконно-оптические датчики температуры осуществляют контроль температуры поля грунта возле продуктопровода и его изменения. Принцип работы таких датчиков базируется на измерении рамановского рассеяния в оптическом волокне. В основу работы виброакустических волоконно-оптических датчиков положены измерения рассеяния Брюлиэна – Мальдештама в оптическом волокне.

Волоконно-оптические датчики, базирующиеся на измерении рамановского рассеяния в оптическом волокне, сложны в реализации и позволяют контролировать на наличие утечки трубопровод протяженностью до 35 км. Они контролируют температуру вдоль всего продуктопровода. В случае возникновения утечки температура оптического волокна изменяется, что фиксируется при помощи этих датчиков. Точность измерения изменения температуры составляет до 0,01 °С [3].

Несмотря на высокое разрешение, данные датчики используют косвенные способы обнаружения места нахождения утечки. Это связано с тем, что они регистрируют не изменения параметров самого продукта утечки, а только признаки его воздействия на окружающую среду. В таком случае достаточно высока вероятность ложных срабатываний

волоконно-оптических датчиков, основанных на измерении рамановского рассеяния в оптическом волокне, под воздействием факторов внешней среды.

Виброакустические волоконно-оптические датчики обеспечивают пространственное разрешение до 12,5 см при определении местоположений областей возникновения утечки [3]. Также они сложны в реализации.

Однако вдоль продуктопровода могут возникать шумы и вибрации естественного и технического происхождения, что зачастую приводит к ложным срабатываниям виброакустических волоконно-оптических датчиков.

Для промышленных систем, где требуется регулярный мониторинг герметичности трубопроводов, необходим достаточно простой в реализации волоконно-оптический датчик, пригодный для регистрации изменения одного из самых информативных параметров движения продукта в продуктопроводе – скорости потока продукта. Это явилось целью данной работы.

### **Конструкция волоконно-оптического датчика**

На рис. 1 приведена предложенная конструкция волоконно-оптического датчика для определения изменения скорости потока продукта в продуктопроводе. В представленном датчике оптическое волокно уложено между двумя пластинами из полиэстера. При этом концы оптического волокна выводятся за пределы пластин, а сами пластины соединены между собой путем нагрева, причем предварительно изогнуты в средней части при помощи цилиндра радиусом  $R$  под углом 90°.

В результате формируется изгиб пластин с радиусом  $R$  и, следовательно, возникает макроизгиб оптического волокна с таким же радиусом.

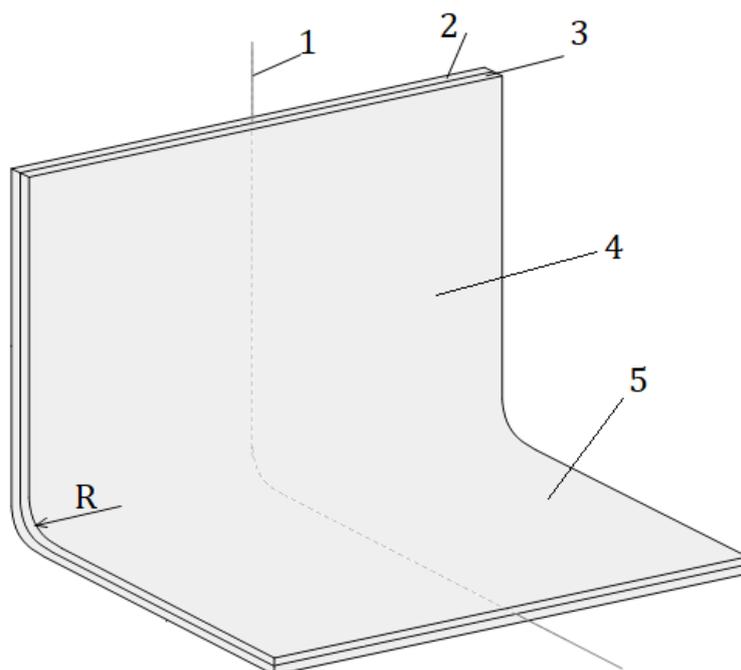


Рис. 1. Конструкция волоконно-оптического датчика: 1 – оптическое волокно; 2, 3 – пластины из полиэстера; 4 – часть пластин, которая подвергается воздействию со стороны продукта; 5 – часть пластин для крепления датчика к продуктопроводу;  $R$  – радиус изгиба пластины

Отметим, что наличие макроизгиба оптического волокна вносит дополнительные потери мощности оптического излучения, распространяющегося по этому волокну. Чем меньше радиус  $R$ , тем большие потери мощности вносит макроизгиб [4, 5].

Волоконно-оптические датчики частью пластин 5 крепят в продуктопроводе таким образом, что при воздействии потока продукта на верхнюю часть пластин 4 этого датчика происходит его разгибание. При этом угол разгиба датчика между частями пластин 4 и 5 становится больше  $90^\circ$ , а максимальное значение данного угла может составлять  $180^\circ$ . Для максимального угла разгиба датчика потеря мощности оптического излучения была достаточно мала независимо от длины волны оптического излучения. Такую потерю мощности не удавалось определить при помощи приборов, используемых в экспериментальной установке, из-за имеющейся у них погрешности измерения.

Поэтому далее потеря мощности оптического излучения при угле разгиба датчика  $180^\circ$  считалась равной нулю.

В результате разгибания датчика длина дуги макроизгиба оптического волокна уменьшается, а радиус изгиба увеличивается. Это приводит к тому, что дополнительная потеря мощности оптического излучения, вносимая макроизгибом оптического волокна, уменьшается. Отметим, что чем больше скорость потока продукта, тем больше угол, на который разгибаются части пластин 4 и 5, и меньше потери мощности оптического излучения, распространяющегося по оптическому волокну. Поэтому по изменению потерь мощности оптического излучения в оптическом волокне можно судить о величине угла разгиба пластин датчика и, соответственно, об изменении скорости потока продукта.

В волоконно-оптическом датчике было использовано одномодовое оптическое волокно G655, широко приме-

няемое в телекоммуникациях. Оно является наиболее подходящим, т. к. имеет наилучшую восприимчивость к макроизгибам по сравнению с другими телекоммуникационными оптическими волокнами [4, 5].

### Экспериментальная установка и методика измерения

Для проведения исследования характеристик волоконно-оптического

датчика использовалась экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рис. 2.

Экспериментальная установка работает следующим образом. От источника оптического излучения 1 оптическое излучение подавалось в оптическое волокно 5, которое является частью волоконно-оптического датчика 3. Мощность излучения на выходе из волокна контролировалась измерителем мощности 2.

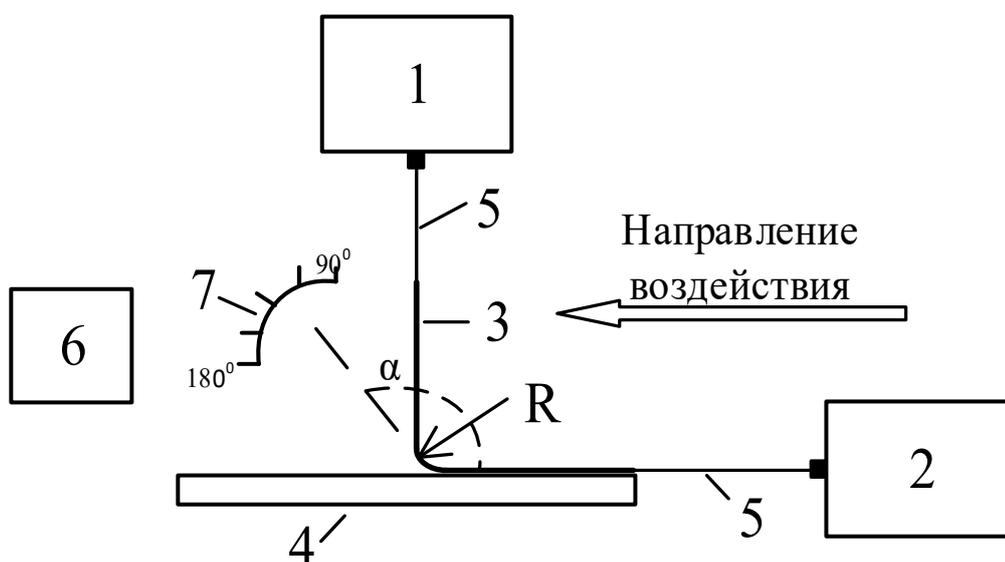


Рис. 2. Структурная схема экспериментальной установки: 1 – источник оптического излучения; 2 – измеритель мощности; 3 – волоконно-оптический датчик; 4 – платформа; 5 – оптическое волокно; 6 – анемометр; 7 – угломер;  $R$  – радиус изгиба пластины;  $\alpha$  – угол разгиба датчика

Волоконно-оптический датчик 3 нижней своей частью был закреплен на платформе 4, размещенной в цилиндрическом коробе, имитирующем продуктопровод. На вертикальную часть 3 датчика направлялся воздушный поток, имитирующий движение продукта в продуктопроводе (короб на рис. 2 не показан). Скорость воздушного потока могла регулироваться. Ее величина измерялась анемометром 6.

В результате воздействия воздушного потока изменялся угол разгиба  $\alpha$  между верхней и нижней частями датчика 3. Величина этого угла контролирова-

лась угломером 7 с точностью  $\pm 0,5^\circ$ , что допустимо для исследований, поскольку при изменении угла разгиба частей датчика на  $1^\circ$  изменения мощности оптического излучения после прохождения через датчик не превышали погрешности измерителя мощности 2.

В экспериментальной установке использовался источник оптического излучения 1 постоянной мощности  $P_0 = 1$  мВт. Длина волны оптического излучения источника могла изменяться и принимать следующие значения: 1310, 1490, 1550 и 1625 нм. Такие длины волн соответствуют «окнам прозрачности»

одномодового оптического волокна [6]. Протяженность оптического волокна 5 составляла 1 м. При такой протяженности потерей мощности оптического излучения на длинах волн, соответствующих «окнам прозрачности», можно было пренебречь. Отметим, что для используемого в экспериментальной установке оптического волокна потеря мощности оптического излучения не превышала 0,4 дБ/км.

Измеритель мощности позволял регистрировать на используемых длинах волн мощность оптического излучения до 10 ПВт, а величина потери мощности оптического излучения в датчике  $D$  определялась по формуле

$$D = 10 \lg \left( \frac{P_0}{P} \right), \quad (1)$$

где  $P$  – измеренная мощность оптического излучения на выходе датчика.

Объектом исследования были специально изготовленные волоконно-оптические датчики с радиусами макроизгиба пластин  $R$  от 2,5 до 15,0 мм. Отметим, что при радиусах, меньших 2,5 мм, может произойти излом оптического волокна волоконно-оптического датчика, а при значениях  $R > 15,0$  мм изменения потери мощности оптического излучения для исследуемых длин волн в диапазоне углов разгиба частей датчика в пределах от  $90^\circ$  до  $180^\circ$  потери мощности оптического излучения на макроизгибе были ниже погрешности регистрирующей аппаратуры.

Как отмечалось ранее, при проведении исследования воздействие на волоконно-оптический датчик осуществлялось при помощи воздушного потока, как имитация движения продукта в виде газовой смеси, распространяющейся по продуктопроводу. Площадь поверхности верхней подвижной части пластины, на которую воздействует воздушный поток, составляла  $0,01 \text{ м}^2$ , что позволяло практически полностью перекрывать

плоскость сечения короба, в котором размещался датчик, и обеспечить разгиб датчика на максимальный угол при максимальной скорости воздушного потока.

Для определения динамического давления  $S$ , действующего на датчик, использовалось соотношение

$$S = \rho v^2 / 2, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность среды;  $v$  – скорость потока продукта.

Оценка динамического давления  $S$ , действующего на датчик с площадью верхней пластины  $0,01 \text{ м}^2$ , установленный в исходном положении перпендикулярно потоку, показывает, что при скоростях потока воздуха от 1 до 10 м/с давление может меняться от 0,6 до более 60 Па. Отметим, что такой диапазон скоростей потока воздуха характерен для воздухопроводов систем приточно-вытяжной вентиляции, в связи с чем при проведении исследований он и был использован [7].

Величина угла разгиба датчика возрастала с увеличением скорости движения потока воздуха. При скорости потока воздуха 10 м/с и динамическом давлении 61,0 Па угол разгиба датчика составлял  $180^\circ$ . При скорости потока воздуха 1 м/с и динамическом давлении 0,6 Па угол разгиба датчика принимал значение  $90^\circ$ .

Для разрабатываемого датчика оценивалось среднее значение чувствительности к изменению скорости потока воздуха  $\beta$  по формуле

$$\beta = \frac{\Delta D}{\Delta v}, \quad (3)$$

где  $\Delta D$  – изменение потери мощности в датчике;  $\Delta v$  – изменение скорости потока воздуха.

Измерительные приборы, используемые в экспериментальной установке, были поверены и прокалиброваны перед началом измерения. Исследования

проводились согласно требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. При выполнении измерений поддерживались следующие условия окружающей среды: температура – от 20 °С до 25 °С, влажность – до 70 %, атмосферное давление – от 975 до 1025 гПа.

### **Результаты измерения и их обсуждение**

В процессе проведения исследования определялись зависимости потери мощности оптического излучения в волоконно-оптическом датчике от величины угла  $\alpha$  между частями 4 и 5 датчика. На рис. 3 показаны зависимости потери мощности оптического излучения в волоконно-оптическом датчике с радиусом изгиба пластин  $R = 2,5$  мм от величины угла  $\alpha$  для используемых в исследованиях длин волн.

Как следует из полученных зависимостей, увеличение угла  $\alpha$  приводит к уменьшению потери мощности в волоконно-оптическом датчике. Это связано с тем, что с ростом величины  $\alpha$  происходит уменьшение, по сравнению с исходным значением, длины дуги макроизгиба оптического волокна датчика. Как показано в [5], уменьшение длины дуги макроизгиба приводит к снижению потери мощности на этом макроизгибе. Для одинаковых значений  $\alpha$  наибольшая потеря мощности наблюдалась для длины волны оптического излучения 1625 нм, а наименьшая – для длины волны 1310 нм. Как следует из зависимостей, представленных на рис. 3, значения потери мощности для других длин волн находились между значениями, полученными для 1310 и 1625 нм.

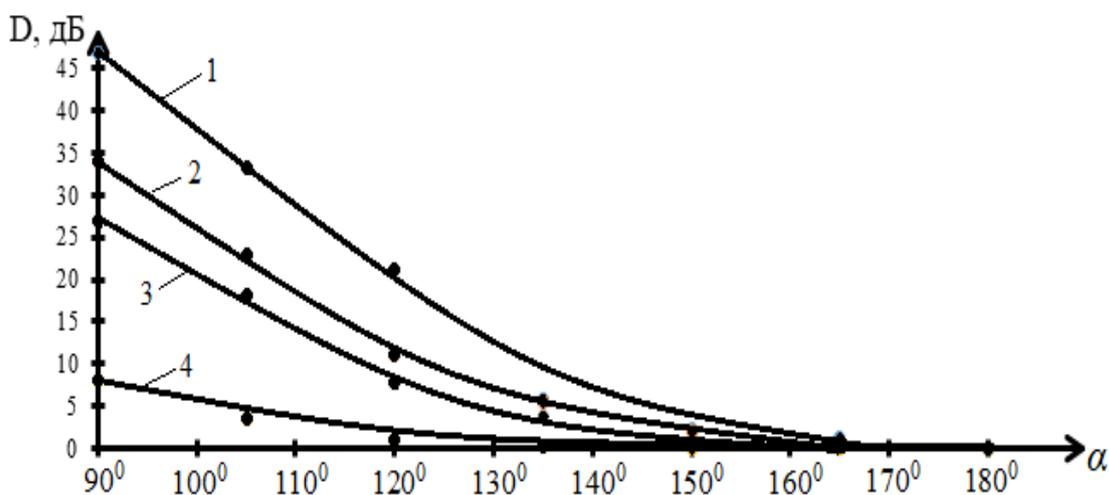


Рис. 3. Зависимости потери мощности оптического излучения на волоконно-оптическом датчике с радиусом изгиба пластин 2,5 мм от величины угла  $\alpha$ : 1 – для длины волны 1625 нм; 2 – для длины волны 1550 нм; 3 – для длины волны 1490 нм; 4 – для длины волны 1310 нм

Такое поведение зависимостей обусловлено тем, что площадь модового пятна, формируемого оптическим излучением, зависит от длины волны этого излучения и с ростом длины волны площадь модового пятна увеличивается.

Чем больше площадь модового пятна, тем больше при создании макроизгиба оно смещено в сторону оболочки волокна от центра сечения данного оптического волокна. Это значит, что для большей площади модового пятна в об-

ласти макроизгиба большая часть оптического излучения, распространяющегося по оптическому волокну, переходит в его оболочку, а затем и за пределы волокна. Поэтому для больших площадей модового пятна, т. е. больших длин волн излучения, наблюдается большая потеря мощности оптического излучения в области макроизгиба оптического волокна.

Зависимости, представленные на рис. 3, являются типовыми. Для других радиусов изгиба пластин  $R$  поведения

этих зависимостей от величины угла  $\alpha$  при разных длинах волн оптического излучения были аналогичными. При увеличении  $R$  наблюдается уменьшение величины потери мощности оптического излучения для всех исследуемых длин волн и диапазона изменения угла  $\alpha$ . В качестве подтверждающего примера на рис. 4 показаны зависимости потери мощности оптического излучения от величины  $\alpha$  для длины волны 1625 нм при различных радиусах изгиба пластин.

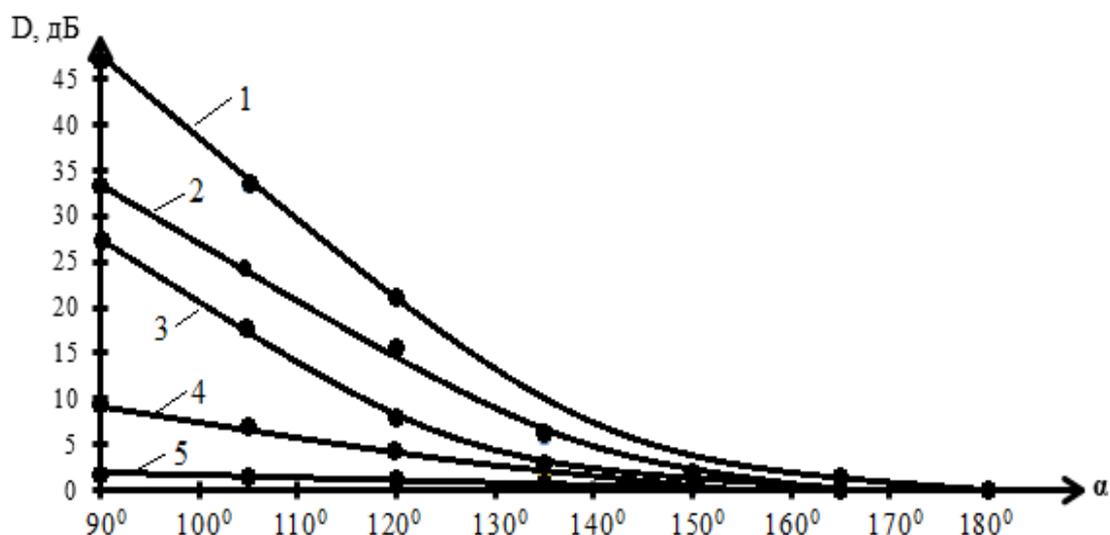


Рис. 4. Зависимости потери мощности оптического излучения от величины угла  $\alpha$  для длины волны 1625 нм при различных начальных радиусах изгиба пластин: 1 – при радиусе 2,5 мм; 2 – при радиусе 4,0 мм; 3 – при радиусе 5,0 мм; 4 – при радиусе 7,5 мм; 5 – при радиусе 11,0 мм

Отметим, что вышепредставленные зависимости являются типичными для всех исследуемых длин волн. Увеличение радиуса  $R$  при постоянном значении угла разгиба  $\alpha$  приводит к уменьшению потери мощности на волоконно-оптическом датчике.

На рис. 5 показана зависимость величины угла  $\alpha$  между пластинами датчика и радиусом предварительного изгиба пластин, при которых потеря мощности оптического излучения в волоконно-оптическом датчике составляет 1 дБ.

Приведенные на рис. 5 данные по-

лучены для длины волны оптического излучения 1625 нм и являются типичными для всех исследуемых длин волн излучения. Как следует из рис. 5, увеличение радиуса  $R$  приводит к уменьшению величины угла  $\alpha$ , при котором потеря мощности на датчике составляет 1 дБ. Это связано с тем, что потеря мощности оптического излучения зависит от величины радиуса и длины дуги макроизгиба. Для получения одинаковой потери мощности оптического излучения на макроизгибах с различными радиусами требуется обеспечивать раз-

ные длины дуг этих макроизгибов. Меньшая длина дуги требуется для меньших радиусов макроизгиба. Отметим, что длина дуги макроизгиба увеличивается с ростом угла  $\alpha$ .

Увеличение скорости потока воздуха приводило к росту величины угла  $\alpha$ , при котором потеря мощности составляла 1 дБ (см. рис. 5). Повышение скорости влечет за собой увеличение

динамического давления потока воздуха на верхнюю часть волоконно-оптического датчика.

В табл. 1 представлены сведения о величинах угла  $\alpha$ , при которых удается обеспечить одинаковую потерю мощности оптического излучения на макроизгибе оптического волокна волоконно-оптического датчика с радиусом изгиба пластин  $R = 2,5$  мм.

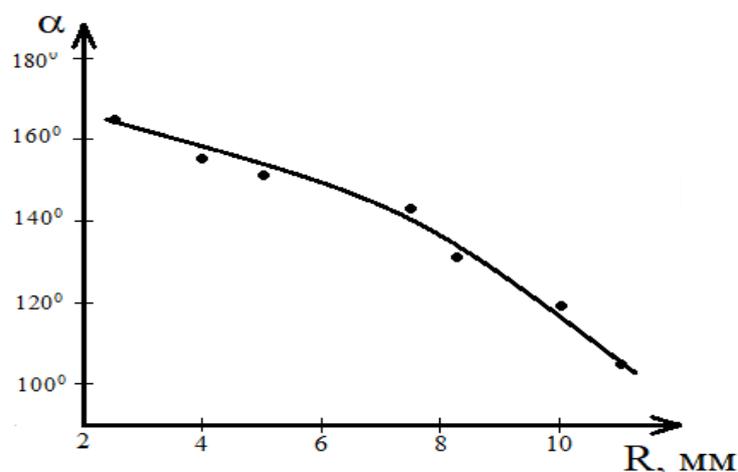


Рис. 5. Зависимость величины угла  $\alpha$  между пластинами датчика и радиусом предварительного изгиба пластин, при которых потеря мощности оптического излучения в волоконно-оптическом датчике составляет 1 дБ

Табл. 1. Характеристики волокна волоконно-оптического датчика

Длина волны, нм	Потеря мощности, дБ	Величина угла $\alpha$ , град	Скорость потока воздуха, м/с	Оценка исходного динамического давления на датчик с площадью верхней пластины 0,01 м <sup>2</sup> , Па
1310	1	124	2,7	4,5
1490		148	4,5	12,4
1550		158	5,4	17,9
1625		165	7,4	33,5

Как следует из данных (см. табл. 1), увеличение длины волны приводит к уменьшению величины угла  $\alpha$ . Это связано с тем, что с ростом длины волны повышается потеря мощности оптического излучения в области макроизгиба оптического волокна. Поэтому для более коротких длин волн оптического из-

лучения при больших значениях длины дуги макроизгиба наблюдалась такая же потеря мощности, как при меньших значениях длины дуги для больших длин волн. Отметим, что величина угла  $\alpha$  возрастает с увеличением длины дуги.

Полученные результаты исследований датчика разработанной конструк-

ции позволяют предложить способ контроля уменьшения скорости движения продукта в продуктопроводе, сущность которого заключается в том, что волоконно-оптический датчик с определенными параметрами, прежде всего радиусом изгиба и площадью пластины, соответствующими плотности и скорости движения потока перемещаемого по продуктопроводу продукта, помещают в продуктопровод и постоянно контролируют величину потерь мощности оптического излучения на выходе из оптического волокна. Параметры датчика подбираются такими, чтобы при нормальном движении продукта угол разгиба пластин датчика был близок к  $180^\circ$ , что приводит к тому, что потери мощности оптического излучения в оптическом волокне становятся минимальными по величине. При возникновении утечки скорость потока продукта за местом ее появления в большинстве случаев падает, давление на датчик снижается, уменьшается и угол разгиба датчика, приближаясь к  $90^\circ$ . При этом падение мощности излучения на датчике возрастает, что фиксирует измеритель мощности.

Выполнена оценка возможности реализации предложенного способа при помощи волоконно-оптического датчика с радиусом изгиба пластин  $R = 2,5$  мм. Начальное значение скорости движения потока воздуха выбиралось равным 10 м/с, чему соответствовало давление 61,0 Па. Определялось уменьшение скорости движения потока воздуха, для которого потеря мощности оптического излучения в волоконно-оптическом датчике становилась равной 1 дБ. Величина потери мощности оптического излучения 1 дБ была выбрана с учетом того, что используемый измеритель мощности оптического излучения позволял определять потерю мощности оптического излучения с точностью  $\pm 0,1$  дБ. Полученные при этом значения скоростей движения

воздушного потока и давлений для различных длин волн представлены в табл. 1.

Как следует из данных (см. табл. 1), наименьшее снижение скорости движения потока воздуха и соответствующее этому изменение давления удается зафиксировать при использовании в датчике длины волны 1625 нм. Регистрируемое изменение скорости движения потока воздуха составило 2,6 м/с. Это связано с тем, что на длине волны оптического излучения 1625 нм волоконно-оптический датчик имел наибольшую чувствительность, а наименьшей чувствительность была при использовании длины волны 1310 нм. Для волоконно-оптического датчика, характеристики которого представлены в табл. 1, средние значения чувствительности к изменению скорости потока воздуха  $\beta$  составляли 0,14; 0,18; 0,22; 0,38 дБ на 1 м/с для длин волны 1310, 1490, 1550 и 1625 нм соответственно.

Отметим, что для использованной конструкции волоконно-оптического датчика наименьшее регистрируемое снижение скорости движения потока воздуха для 10 м/с составляло 1 м/с, при этом потеря мощности оптического излучения в волоконно-оптическом датчике – 0,3 дБ.

Таким образом, при помощи предложенного волоконно-оптического датчика можно реализовать вышерассмотренный способ контроля уменьшения скорости движения продукта в продуктопроводе. Однако для конкретных условий применения датчика в определенном типе продуктопровода потребуются доработка его конструкции в части выбора радиуса площади и предварительного изгиба пластин датчика, а также длины волны оптического излучения.

### Заключение

Предложена конструкция волоконно-оптического датчика, который позволяет контролировать скорость движения продукта в продуктопроводе и при ее уменьшении формировать сигнал о возникновении утечки.

Выполнены исследования характеристик волоконно-оптического датчика для различных длин волн оптического излучения и радиусов изгиба пластин данного датчика. Результаты этих исследований позволяют оптимизировать

конструкцию датчика для использования с различными типами продуктов.

Разработан способ контроля уменьшения скорости движения продукта в продуктопроводе при помощи предложенного волоконно-оптического датчика.

*Статья выполнена в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Принцип создания комбинированных датчиков на основе телекоммуникационного оптического волокна» (договор № Т25УЗБ-167 от 05.03.2025).*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румановский, И. Г. Мониторинг магистральных газопроводов с применением оптоволоконной технологии / И. Г. Румановский, Н. А. Никитин, А. В. Егорова // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 10. – С. 427–432.
2. Golacki, P. The vibro-acoustic behaviour of infinite homogeneous and composite rods: application to distributed optical fibre acoustic sensors / P. Golacki, DJ. Thompson. – 2019. – Vol. 41, pt. 1. – P. 129–136.
3. Improving Spatial Resolution of Raman DTS Using Total Variation Deconvolution / J. P. Bazzo, D. R. Pipa, C. Martelli [et al.] // IEEE Sensors Journal. – 2016. – Vol. 16, № 11. – P. 4425–4430.
4. Датчик обнаружения проникновения на основе макроизгиба одномодового оптического волокна / А. О. Зеневич, Т. М. Лукашик, Е. В. Новиков [и др.] // Веснік сувязі. – 2020. – № 1 (159). – С. 56–59.
5. Использование макроизгиба оптоволоконной основы для создания датчика массы / Г. В. Василевский, А. О. Зеневич, С. В. Жданович [и др.] // Известия вузов. Серия : Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 10. – С. 930–937.
6. Исследование свойств макроизгиба одномодового оптического волокна / И. Р. Гулаков, А. О. Зеневич, Т. А. Матковская, Е. В. Новиков // Труды учебных заведений связи. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 15–20.
7. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СНиП 41-01-2003 – СП 60.13330.2020 ; введ. 30.12.2020. – М. : Свод правил : М-во стр-ва и жилищно-коммунального хозяйства Рос. Федерации, 2020. – 133 с.

*Статья сдана в редакцию 6 ноября 2025 года*

#### Контакты:

m.asayonok@bsac.by (Асаёнок Марина Анатольевна);  
a.zenevich@bsac.by (Зеневич Андрей Олегович);  
e.novikov@bsac.by (Новиков Евгений Владимирович);  
v-i-a-n-d-y@yandex.by (Шваков Андрей Васильевич).

**M. A. ASAENOK, A. O. ZENEVICH, E. V. NOVIKOV, A. V. SHVAKOV**

## **FIBER-OPTIC SENSOR FOR MONITORING PRODUCT FLOW VELOCITY REDUCTION IN PRODUCT PIPELINES**

### **Abstract**

The paper evaluates the feasibility of using optical fiber, applied in telecommunications, to create a fiber-optic sensor capable of responding to changes in product flow velocity within the product pipeline. The objective is to develop a simple-to-implement fiber-optic sensor, suitable for recording flow velocity changes as an informative parameter of product movement, as well as registering leakage incidents, based on optical fiber macro-bending. An original design for a fiber-optic sensor on the basis of G.655 single-mode optical fiber is proposed. An experimental setup was created, and a methodology to study characteristics of the proposed sensor was developed. The properties of the fiber-optic sensor were investigated across various optical radiation wavelengths and bending radii of its plates. A method was developed for determining the decrease in product flow rate within the pipeline using the proposed fiber-optic sensor.

### **Keywords:**

fiber-optic sensor, optical fiber, optical fiber macro-bending, speed of product movement, monitoring of leaks.

### **For citation:**

Fiber-optic sensor for monitoring product flow velocity reduction in product pipelines / M. A. Asaenok, A. O. Zenevich, E. V. Novikov, A. V. Shvakov // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2026. – № 1 (90). – P. 76–86.