

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКАНИРУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Желякова Полина Олеговна*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: poz1@tpu.ru

## INVESTIGATION OF A SCANNING TRANSDUCER FOR TESTING OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF EXTENDED OBJECTS

*Zhelyakova Polina Olegovna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** данная статья посвящена разработке и исследованию макета измерительного преобразователя, предназначенного для контроля диаметра цилиндрических изделий сканирующим методом. В процессе исследования были проведены лабораторные испытания и эксперименты на собранном макете, выявлены имеющиеся недостатки макета, которые планируется устранить в будущем.

**Abstract:** the article is devoted to the development and investigation of an experimental model of a measuring transducer, which is designed to testing the diameter of cylindrical objects using a scanning method. In the course of the investigation, laboratory tests and experiments were carried out on the developed experimental model, shortcomings of the experimental model were identified. These shortcomings are planned to be eliminated in the future.

**Ключевые слова:** измерение диаметра; кабельные изделия; сканирующий метод; оптические методы измерения; неразрушающий контроль; сканирующий узел.

**Keywords:** cable products; scanning method; non-destructive testing; scanning unit; optical methods of measurement; diameter measurement.

В настоящее время провода и кабели широко применяются в различных сферах человеческой деятельности, без них тяжело представить жизнь современного человека. От различных электрических и геометрических параметров, которые обычно связаны между собой, зависит качество готовых кабельных изделий. Несоблюдение допусков геометрических параметров может привести как к отбраковке, так и к изменению электрических характеристик кабельного изделия. По этой причине необходимо контролировать геометрические и электрические характеристики кабельных изделий непосредственно во время их производства.

Для кабельных изделий, имеющих круглое сечение, например, проводов, кабелей или изолированных жил важным конструктивным параметром служит наружный диаметр. Важно, чтобы в процессе производства наружный диаметр контролируемых кабельных изделий оставался одинаковым по всей их длине.

На данный момент в России распространены зарубежные системы и приборы контроля диаметра кабельных изделий, имеющие определенные недостатки для российских потребителей, такие как, например, высокая цена и ряд эксплуатационных характеристик. Большим упущением является то, что в кабельной промышленности практически отсутствуют приборы от российских компаний, занимающихся производством измерительного оборудования. Поэтому можно сказать, что выбранная тема актуальна с точки зрения импортозамещения.

Целью работы было разработать и собрать макет измерительного преобразователя, который был бы способен контролировать диаметр цилиндрических объектов сканирующим методом.

Объектами контроля в данной работе служат цилиндрические кабельные изделия, например, провода, кабели или изолированные жилы, имеющие круглое сечение.

Кабельные изделия служат для передачи на определенные расстояния информации или электрической энергии, с их помощью создаются различные электронные, электрические, волоконно-оптические, радиотехнические и другие цепи и схемы [1].

Существуют контактные и бесконтактные методы измерения диаметра. Контактные методы имеют существенные недостатки, такие как: недолговечность; невозможность установки прибора после экструзионной камеры; не обеспечивают требуемую точность и не имеют большого срока службы [2; 3]. Для решения перечисленных проблем применяются бесконтактные измерители диаметра кабеля. Такие измерители надежны, обладают высокой точностью измерения, высоким быстродействием. Для бесконтактных измерений диаметра применяются оптические, ультразвуковые, пневматические, емкостные и другие первичные измерительные преобразователи. С помощью них происходит преобразование контролируемого параметра, в нашем случае диаметра, в соответствующую физическую величину [4]. Зачастую в кабельной промышленности используются именно оптические методы измерения диаметра.

К оптическим методам измерения диаметра относится метод измерения сканированием, применяемый в данной работе. Для реализации данного метода устройство (см. рисунок 1) должно содержать сканирующий узел, создающий тонкий луч, равномерно перемещающийся с постоянной скоростью  $V$  в зоне измерения шириной  $W$ . Луч прерывается, пересекая контролируемый объект, и на воспринимающем излучение фотоприемнике возникает импульс, длительность которого равна времени движения луча  $t$  в поперечном сечении объекта контроля [4].

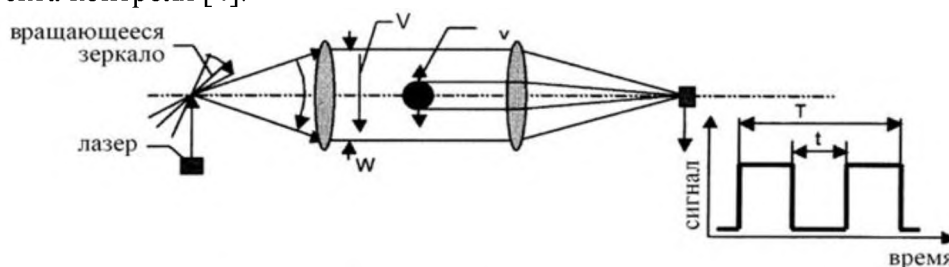


Рисунок 1 – Схема со сканирующим узлом

Длительность импульса фотоприемника измеряется и пересчитывается в диаметр контролируемого объекта по следующей формуле (1):

$$D = \frac{t}{T} \cdot W, \quad (1)$$

где  $T$  – это период сканирования всей рабочей зоны.

Компактные полупроводниковые лазерные модули обычно выступают в качестве источников излучения в таких оптических схемах. С помощью вращающегося или вибрирующего зеркала осуществляется перемещение луча по рабочей зоне.

Данная технология позволяет измерять изделия, изготовленные из любого материала, в том числе прозрачного, и имеющие любой цвет [5].

К достоинствам данного метода можно отнести малую погрешность, высокую скорость измерения и широкий диапазон измерений. Недостатком является высокая цена устройства из-за необходимости использования лазерного модуля с малым углом расходимости в качестве источника излучения и качественной широкоапертурной оптики. Кроме того, наличие подвижных механических узлов требует их высококачественного изготовления для получения требуемого ресурса работы, что также увеличивает цену устройства [4].

В ходе выполнения экспериментальной части работы был собран макет измерительного преобразователя. Макет включает в себя следующие конструктивные элементы:

вращающееся шестиугольное зеркало, лазерный модуль, фотодиод, систему коллиматоров и плату управления. Внешний вид макета представлен на рисунке 2.

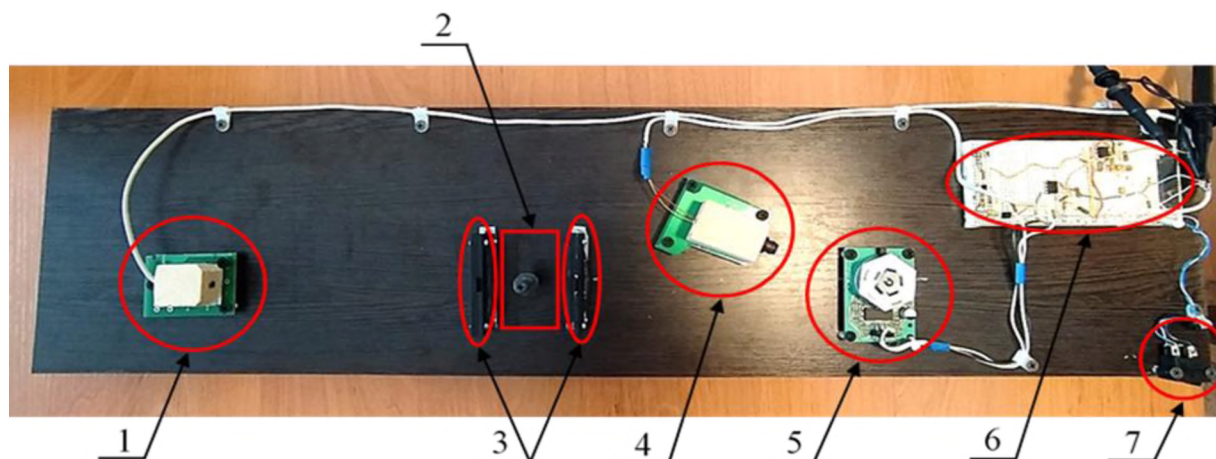


Рисунок 2 – Внешний вид макета: 1 – фотодиод; 2 – рабочая зона; 3 – система коллиматоров; 4 – лазерный модуль; 5 – вращающееся зеркало; 6 – плата управления; 7 – кнопка включения

Частота сканирования преобразователя была измерена с помощью осциллографа, она составляет 1,36 кГц.

Размер рабочей зоны макета составляет 50 мм. Максимальный диаметр объекта контроля, который возможно проконтролировать с помощью устройства, равен 45 мм.

При проведении лабораторных испытаний было выявлено, что объекты диаметром менее 2 мм устройство не детектирует. В дальнейшем планируется устранить данный недостаток путем совершенствования конструкции оптической системы и электронной схемы детектирования объекта. Таким образом, с помощью разработанного макета можно проводить измерения объектов, имеющих диаметр от 2 до 45 мм.

В ходе проведения эксперимента была снята зависимость длительности импульса от диаметра объектов контроля. В качестве объектов контроля выступали образцовые калибры различных диаметров, начиная с 2,5 мм и заканчивая 40 мм. При проведении эксперимента образцовые калибры поочередно ставились в одну точку, находящуюся по центру рабочей зоны. И использованные в ходе эксперимента калибры аттестованы ФБУ «Томский ЦСМ», каждый из них имеет свой сертификат о калибровке средства измерения.

В таблице приведены значения диаметров  $d$  образцовых калибров и полученные в ходе эксперимента значения длительности импульсов  $t$ , которые равны времени движения сканирующего луча в поперечном сечении контрольных объектов.

Таблица – Результаты измерений

Диаметр калибра $d$ , мм	Длительность импульса $t$ , мкс
2,494	3,375
4,196	6,85
10,178	18,8
15,043	28,25
19,985	38
24,835	47,5
29,995	57,5
39,988	76,5

Полученная зависимость представлена на рисунке 3.

С помощью программы Microsoft Excel была проведена линейная аппроксимация экспериментальных данных с достоверностью, равной  $R^2 = 0,9999$ . Это показывает, что разработанный измерительный преобразователь имеет практически идеальную линейную функцию преобразования.

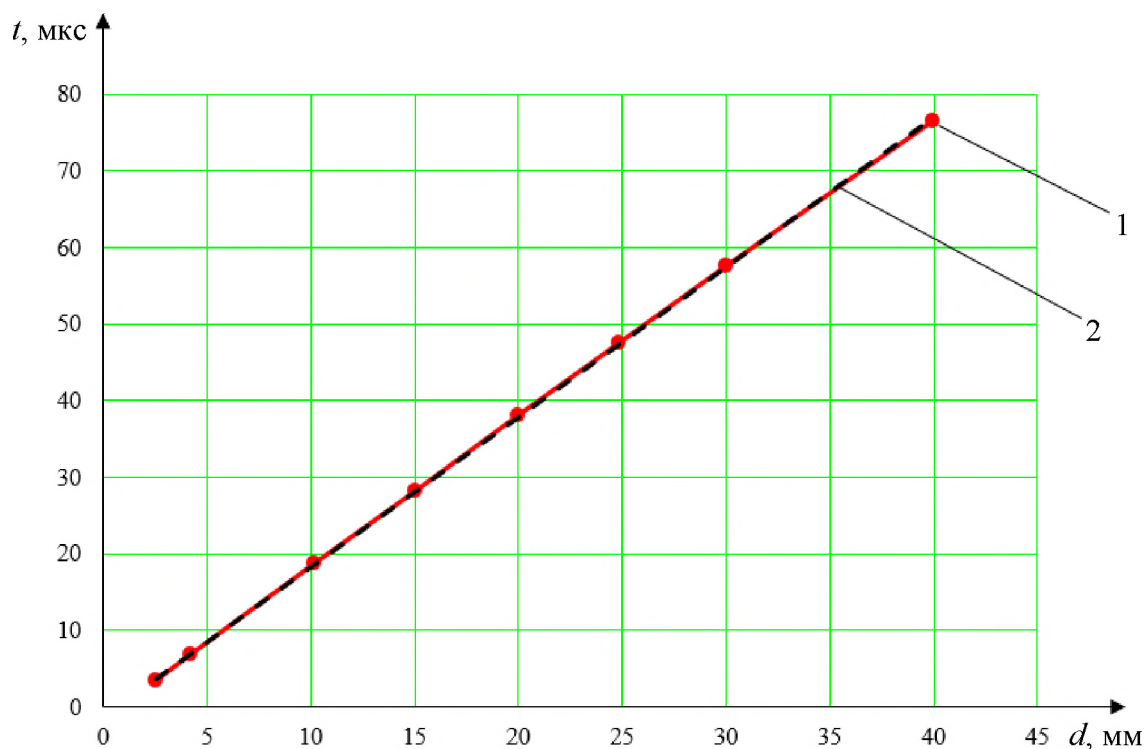


Рисунок 3 – График зависимости длительности импульса  $t$  от диаметра образцовых калибров  $d$  (1) и линия тренда (2)

Также было выведено уравнение прямой (1), которое в будущем можно использовать для расчёта диаметра в реальном измерительном приборе:

$$t = 1,9529 \cdot d - 1,2177 \quad (2)$$

Результатом данной работы стал разработанный и собранный макет измерительного преобразователя на основе сканирующего метода. На данном этапе работы макет способен преобразовывать диаметр цилиндрического объекта в электрический импульс с пропорциональной длительностью.

В дальнейшем планируется совершенствовать имеющийся макет и преобразовать его в полноценный измерительный прибор, который был бы способен пересчитывать длительность импульса в диаметр и выводить результат на индикатор или на дисплей персонального компьютера. Для осуществления озвученных планов требуется включить в состав макета процессорную плату. Также планируется устранить имеющиеся недостатки разработанного макета, используя новые конструктивные и схемотехнические решения.

#### Список литературы

1. Основы кабельной техники: учебник для студентов высших учебных заведений / В. М. Леонов, И. Б. Пешков, И. Б. Рязанов, С. Д. Холодный; под ред. И. Б. Пешкова. – Москва: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
2. Аникеенко, В. М. Основы кабельной техники: учебное пособие / В. М. Аникеенко, С. С. Марьин; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 193 с.: ил.
3. Канискин, В. А. Основы кабельной техники: учебное пособие / В. А. Канискин, Б. И. Сажин; Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина (ЛПИ). – Л.: Изд-во Ленинградского технологического ин-та, 1990. – 86 с.: ил.
4. Фёдоров, Е. М. Технологический контроль диаметра и эксцентricности электрического кабеля в процессе производства: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.11.13 /

- Е. М. Фёдоров; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. А. Е. Гольдштейн. – Томск, 2010. – 155 с.: ил.
5. Принцип измерения – Текст: электронный // Электонт: [сайт]. – Запорожье, 2022. – URL: <http://www.elecont-ua.com/ru/products/diametr/solutions/> (дата обращения: 24.10.2022).

УДК 628.14

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК В ВОДОПРОВОДАХ

*Жуань Сыпэн, Мамонова Татьяна Егоровна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

E-mail: [sypen@tpu.ru](mailto:sypen@tpu.ru)

## METHODS FOR IDENTIFYING LEAKS IN WATER PIPES

*Ruan Sipeng, Mamonova Tatyana Egorovna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** представляемая работа посвящена обзору методов определения утечек в водопроводах. Проведенный анализ существующих методов и технологий позволяет утверждать, что использование совокупности методов определения утечек для трубопроводного транспорта водоснабжения представляет собой более эффективный подход для обеспечения работы системы трубопроводной сети, при этом необходимо учитывать влияние различных параметров перекачиваемой жидкости и трубопровода. Также необходимо разработать комплексный подход для определения точности местоположения утечек.

**Abstract:** the presented work is devoted to a review of methods of leakage detection in water pipelines. The analysis of existing methods and technologies suggests that the use of a combination of leak detection methods for water supply pipelines represents a more efficient approach to ensure the operation of the pipeline network system, while taking into account the influence of various parameters of the pumped liquid and the pipeline. There is also a need to develop a comprehensive approach to determine the accuracy of leak location.

**Ключевые слова:** утечка в водопроводе; контроль градиента давления; акустический метод; комплексный метод.

**Keywords:** leak in the water pipeline; pressure gradient control; acoustic method; complex method.

**Введение.** Как известно, проблема бесперебойного водоснабжения объектов городской инфраструктуры и устранения аварийных ситуаций из-за появления пробоев и утечек в трубопроводах в настоящее время одну из существенных задач [1].

Утечки происходят из-за причин различного характера, основными из них принято считать перепад давлений внутри и снаружи закрытых емкостей и трубопроводов, в процессе использования которых внутренняя среда (вода) через появившиеся дефекты может либо просачиваться (микроутечки), либо протекать с достаточно большим расходом. Так же причиной возникновения утечек в трубопроводах являются наличие разницы давлений внутри трубы, разрушение материала стенки трубы, отказ уплотнительных деталей. Кроме того, существуют и другие факторы, приводящие к появлению утечек в водопроводах, такие как халатность, несоблюдение техники безопасности, плохое качество управления, незаконная эксплуатация.

Утечки воды в водопроводах являются актуальной проблемой для сети водообеспечения почти всего мира. Представляется важным фактом, что в Южной Африке 37 % всего объема снабжаемой воды теряется из-за утечек в трубных линиях. При мониторинге этого показателя значение достигает 7 %, а в некоторых развивающихся странах этот показатель больше чем 50 % [2].