

Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 6 (144). С. 28-37.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 6 (144). P. 28-37.

Научная статья  
УДК 678/620.178.169  
doi: 10.30987/2223-4608-2023-28-37

## Абразивная износостойкость и ресурс эксплуатации труб из стеклокомпозита

Сергей Викторович Иванов<sup>1</sup>, аспирант  
Вадим Александрович Антошин<sup>2</sup>, аспирант  
Денис Александрович Мельников<sup>3</sup>, аспирант  
Али Юсупович Албагачиев<sup>4</sup>, д.т.н.

<sup>1, 2, 3, 4</sup> ООО «Новые Трубные Технологии», Москва, Россия;  
<sup>1, 2, 3, 4</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук», Москва, Россия.

<sup>1</sup> ivanov@ntt.su, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>2</sup> antoshin@ntt.su, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>3</sup> melnikov@ntt.su, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>4</sup> albagachiev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6874-0561>

**Аннотация.** В данной статье представлены исследования абразивной износостойкости внутренней поверхности стеклокомпозитных труб, которые прокладываются по технологии микротоннелирования при строительстве водопроводов питьевой воды, ирригационных и канализационных систем. Благодаря очень гладкой внутренней поверхности, трубы имеют высокий коэффициент скорости прохождения жидкости по трубе и низкий коэффициент шероховатости. При длительной эксплуатации перемещения воды и твердых частиц по трубопроводу в конечном итоге приводит к износу внутренних стенок трубы. Изучение данных по абразивному износу и абразивной стойкости стеклокомпозитных труб позволяет рассчитывать работоспособность трубопровода при заданных условиях, прогнозировать срок безаварийной эксплуатации трубопроводов, а также проводить обоснованный выбор материала для изготовления трубопровода. В качестве объектов исследования были выбраны образцы стеклокомпозитных труб, изготовленные ООО «Новые Трубные Технологии» методом непрерывной намотки с внутренним слоем на основе: ортофталевой полиэфирной, изофталевой полиэфирной и винилэфирной смол. Оценка общей износостойкости внутренней поверхности труб проводилась на испытательном стенде по Дармштадскому методу (ГОСТ Р 55877-2013, метод Б). Данный метод позволяет имитировать истирание и износ футеровок и труб, которые могут возникнуть в реальных условиях эксплуатации. В качестве абразивного материала использовался дробленый кварц. По результатам исследований были определены среднеарифметические значения износа и коэффициенты безопасности стеклокомпозитных труб в зависимости от количества испытательных циклов. Данные были использованы для выбора наиболее перспективного материала в качестве полимерной матрицы для производства стеклопластиковых труб для систем водоснабжения и водоотведения.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, стеклокомпозиты, абразивный износ, срок эксплуатации, микротоннелирование, дармштадский метод

**Благодарности:** Материал подготовлен в рамках научных исследований по договору № К.412-19, заключенного между ООО «Новые Трубные Технологии» и ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», экспериментальные исследования проведены в научно-образовательном центре «Водоснабжение и водоотведение» и в сертифицированном (сертификат соответствия № RU.MCC.212.407.01883) и аккредитованном (аттестат аккредитации №RU.MCC.АЛ.963) научно-исследовательском и испытательном центре «МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ»

**Для цитирования:** Иванов С.В., Антошин В.А., Мельников Д.А., Албагачиев А.Ю. Стойкость к абразивному износу и определение срока эксплуатации труб из стеклокомпозита // 2023. № 6 (144). С. 28–37.  
doi: 10.30987/2223-4608-2023-28-37

## Abrasive wear resistance and service life of pipes made of fiber-glass composite

Sergey V. Ivanov<sup>1</sup>, PhD student  
Vadim A. Antoshin<sup>2</sup>, PhD student  
Denis A. Melnikov<sup>3</sup>, PhD student  
Ali Yu. Albagachiev<sup>4</sup>, D. Eng.,

<sup>1, 2</sup> LLC "New Pipe Technologies", Moscow, Russia;  
<sup>1, 2, 3, 4</sup> IMS RAS named after A.A. Blagonravov, Moscow, Russia  
<sup>1</sup> ivanov@ntt.su  
<sup>2</sup> antoshin@ntt.su  
<sup>3</sup> melnikov@ntt.su  
<sup>4</sup> albagachiev@yandex.ru

**Abstract.** This article presents studies of the abrasive wear resistance of fiber-glass composite pipes inner surface, which are laid using microtunneling technology under construction of drinking water pipes, irrigation and sewerage systems. Due to a very smooth inner surface, the pipes have a high coefficient of fluid flow speed transmission through the pipe and a low coefficient of roughness. When in long-term operation, the movement of water and solid particles through the pipeline eventually causes wear of inner walls of the pipe. The study of data on abrasive wear and abrasive resistance of fiber-glass composite pipes allows calculating the pipeline's operability under controlled conditions, predicting the period of trouble-free operation of pipelines and making a reasonable choice of material for pipeline manufacturing. The objects of the study of glass composite pipes samples were selected, manufactured by LLC «New Pipe Technologies» using the method of continuous winding with an inner layer based on: orthophthalic polyester, isophthalic polyester and vinyl ester resins. The assessment of the overall wear resistance of the inner surface of the pipes was fulfilled using test equipment according to the Darmstadt method (GOST R 55877-2013, method B). This method allows simulating the abrasion and wear of linings and pipes that may occur in real operating conditions. Crushed quartz was used as an abrasive material. According to the results of the research, the arithmetic mean values of wear and safety coefficients of fiber-glass composite pipes were determined depending on the number of test cycles. The data were used to select the most promising material as a polymer matrix for the production of fiberglass pipes both for water supply and sewerage.

**Keywords:** composite materials, fiber-glass composite, abrasive wear, service life, microtunneling, Darmstadt method.

**Acknowledgements:** The material was prepared within the framework of scientific research under contract No. K.412-19, concluded between LLC «New Pipe Technologies» and «NRU MGSU», experimental studies were conducted in the scientific and educational center «Water supply and disposal», certified (certificate compliance No. RU.ICS.212.407.01883) and authorized (accreditation certificate No. RU.ICS.AL.963) research and testing center «MGSU STROY-TEST».

**For citation:** Ivanov S.V., Antoshin V.A., Melnikov D.A., Albagachiev A.Yu. Abrasive wear resistance and service life of pipes made of fiber-glass composite / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 6 (144). P. 28–37. doi: 10.30987/2223-4608-2023-28-37

### Введение

С начала XXI века изделия из стеклокомпозитов составляют все большую конкуренцию в строительной промышленности таким материалам как сталь, чугун, полиэтилен, полипропилен, железобетон и другое, благодаря своим высоким механическим и эксплуатационным характеристикам. В частности, стеклокомпозит нашел применение как материал для изготовления труб при сооружении водопроводов, трубопроводов бытовой канализации, промышленных и других водостоков. Для производства водопроводных и канализационных труб большого диаметра до 4000 мм обычно используются стеклокомпозиты на основе

связующего из полиэфирных или винилэфирных смол. Полиэфиры обладают отличной прочностью и химической стойкостью, а также отличаются устойчивостью к кислотам. Винилэфирные смолы представляют собой отдельный тип смол, хотя они отверждаются и перерабатываются так же, как полиэфиры [1 – 3].

В сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) одним из наиболее перспективных методов строительства новых инженерных сетей является метод бестраншейной прокладки – микротоннелирование. Микротоннелирование позволяет прокладывать трубопроводы и тоннели без вскрытия поверхности развитой инфраструктуры и обустройства объездных

путей, что значительно сокращает стоимость и сроки проведения работ. Выбор стеклокомпозитных труб для микротоннелирования определяется сочетанием эксплуатационных требований к трубе, а также оценкой способности трубы и системы соединения труб выдерживать осевые усилия во время монтажа [4 – 8].

После установки трубы должны отвечать строгим требованиям по устойчивости к коррозии, абразивному износу, герметичности самой трубы и соединительных элементов, высоким гидравлическим характеристикам и способности воспринимать значительные нагрузки при усадке грунта в течение всего периода эксплуатации.

Благодаря очень гладкой внутренней поверхности трубы имеют высокий коэффициент скорости прохождения жидкости по трубе и низкий коэффициент шероховатости. В результате скорость прохождения жидкости по трубе на 15 % больше, чем у железобетонных и других типов труб при таком же угле наклона. При длительной эксплуатации перемещения воды и твердых частиц по трубопроводу в конечном итоге приводит к износу внутренних стенок трубы. Скорость и степень износа зависят от свойств абразивного материала, таких как гранулометрический состав, химический состав, скорость прохождения абразивного материала через трубу и другие [9]. В связи с этим, абразивный износ или истирание в системах водоотведения является одним из основных критерием оценки срока службы труб.

Целью данной работы являлось изучение данных по абразивному износу и абразивной стойкости стеклокомпозитных труб, изготовленных на основе различных полимерных матриц. В результате исследований будет

рассчитана работоспособность трубопровода при заданных условиях, спрогнозирован срок безаварийной эксплуатации трубопроводов, а также проведен обоснованный выбор материала для изготовления трубопровода.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбрана стеклокомпозитная труба для микротоннелирования, изготовленная методом непрерывной намотки с внутренним слоем на основе:

- изофталевой полиэфирной смолы (образец № 1);
- ортофталевой полиэфирной смолы (образец № 2);
- винилэфирной смолы (образец № 3).

Образцы для испытаний представляли собой отрезки труб (диаметр  $DN$  400 мм, рабочее давление  $PN$  0,6 МПа, кольцевая жесткость  $SN$  5000 Па), торцы которых были гладкими, ровными и перпендикулярными оси трубы. Верхняя часть отрезков трубы была срезана на половину диаметра плоскостью, параллельной продольной оси трубы. С торцов образцы герметично перекрывались пластинами, являющимися частью испытательного стенда.

Длина образца была принята  $1000 \pm 10$  мм по ГОСТ Р 55877-2013. Количество образцов для испытаний трубной продукции одного наименования – 1 шт. Исходные трубы изготовлены в соответствии ТУ 22.21.21-004-99675234-2019 [10, 11].

Перед проведением испытаний были измерены: длина каждого образца; внутренний диаметр; толщина стенки с точностью  $\pm 0,5$  мм. Численные значения измерений представлены в табл. 1.

### 1. Геометрические характеристики образцов

Номер образца	Внутренний диаметр, мм	Длина, мм	Толщина стенки, мм
1	$405,2 \pm 0,5$	$1000 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,5$
2	$405,2 \pm 0,5$	$1000 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,5$
3	$406,6 \pm 0,5$	$1000 \pm 0,5$	$6,9 \pm 0,5$

Испытания выполнялись на экспериментальной установке, состав, основные характеристики и схема которой описаны в ГОСТ Р 55877-2013 (метод Б – Дармштадский метод).

Принципиальная схема испытательного стенда, позволяющего имитировать истирание и износ футеровок и труб, которые могут возникнуть в реальных условиях эксплуатации представлена на рис. 1.

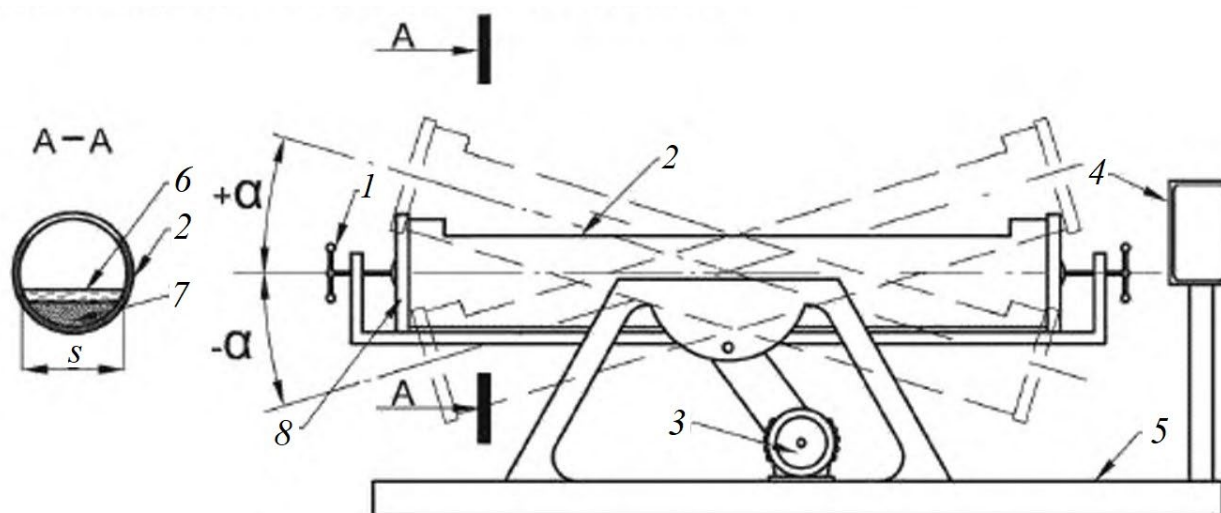


Рис. 1. Принципиальная схема испытательного стенда по ГОСТ Р 55877-2013 (метод Б):

1 – устройство фиксации торцевых пластин; 2 – образец для испытаний; 3 – привод; 4 – устройство управления; 5 – основание стенда; 6 – уровень воды; 7 – абразивный материал; 8 – торцевая пластина;  $s$  – ширина зеркала воды;  $\pm \alpha$  – углы отклонения рамы [10]

В данной работе для проведения исследований применяли «Испытательный стенд для выполнения испытаний образцов труб из реактопластов, армированных стекловолокном, по ГОСТ Р 55877-2013 (метод Б)» (заводской номер ДШС-001), который состоит из рамы испытательного стенда с мотором-редуктором, измерительного устройства с индикатором и счетчика импульсов. Стенд оснащен устройствами для фиксации образца, исключающими его возможные смещения в течение всего времени испытаний, и позволяет проводить испытания одновременно трех образцов трубной продукции [12].

В качестве абразивного материала использовался дробленый кварц, изготовленный по ТУ 571726-002-45588031-01, с размером макрогранул 4,0...5,0 мм (условно соответствует зернистости F4 корунда). Фотография просеянного абразивного материала, применявшегося в испытаниях, представлена на рис. 2. Для наполнения одного образца абразивной смесью (кварцит и вода) использовалось 5,8 кг кварцита. Ширина зеркала воды после размещения абразивной смеси составляла  $235 \pm 3$  мм. Такое соотношение абразивного материала и воды обеспечило равномерное перемещение абразивной смеси по поверхности испытуемых образцов.



Рис. 2. Абразивный материал

Перед началом испытаний рама испытательного стенда была установлена в горизонтальном положении. В раме закреплялись образцы с торцевыми пластинами. Изображение установленных образцов представлено на рис. 3.



Рис. 3. Экспериментальный стенд

В «нулевой зоне» каждого образца на расстоянии 20 мм от края были выбраны точки сравнения, не подвергаемые истиранию в процессе испытаний (маскировались армированной лентой). Относительно этих точек была измерена относительная высота контрольных точек до начала испытаний для последующего измерения величины износа.

После проведения измерений образцы были заполнены абразивной смесью, как было описано ранее, а края образцов были закрыты армированной полимерной пленкой для предотвращения выплескивания. Стенд был включен в рабочий режим согласно ГОСТ Р 55877-2013: скорость качаний рамы испытательного стенда составляла  $10 \pm 2$  испытательных циклов в минуту с углом наклона образцов  $\pm 22,5^\circ$  относительно горизонтальной плоскости. Таким образом, за один испытательный цикл образцу придавалось угловое перемещение равное  $90^\circ$ . Во время каждого наклона образца, закрепленного в раме испытательной установки, абразивный состав перемещается от одной торцевой пластины к другой, вызывая тем самым абразивный износ в нижней части внутренней поверхности образца.

Относительно выбранной измерительной базы были записаны координаты контрольных точек вдоль продольной линии, параллельной оси трубы, с помощью измерительного устройства ИЧЦ-0-25 0,001 (рис. 4).



Рис. 4. Устройство контроля ИЧЦ-0-25 0,001

Для каждого образца было установлено 69 контрольных точек следующим образом: первая точка в каждом образце располагалась

на расстоянии 160 мм от края трубы, далее контрольные точки располагались с шагом 10 мм (точность не менее  $\pm 0,02$  мм). Последняя контрольная точка в каждом образце располагалась на расстоянии 160 мм от второго края образца.

Для измерения количества пройденных испытательных циклов использовался счетчик импульсов СИ20-У.Н.Р. с бесконтактным индуктивным датчиком LA.30-55.P4.U1.K. Суммарное количество испытательных циклов в серии разовых испытаний составляло 200000. Количество испытательных циклов в каждом разовом испытании – 50000. После выполнения каждого разового испытания (при достижении 50000 испытательных циклов, количество которых измерялось счётчиком импульсов) из образцов удалялась абразивная смесь и измерялся износ в каждой контрольной точке ( $a_i$ ). Помимо этого, визуально определялись и фиксировались признаки повреждения внутренней поверхности образцов.

Чистое время работы испытательного стенда составило 334 ч. Непрерывность работы испытательного стенда контролировалось системой видеонаблюдения и дистанционного управления работой привода.

После проведения испытаний для каждого разового испытания ( $k$ ) вычисляли среднеарифметическое значение износа по формуле:

$$a_{\text{средн},k} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (1)$$

где  $a_i$  – износ в каждой контрольной точке, мм;  
 $n$  – количество контрольных точек.

### Результаты исследования

Значения среднеарифметического износа образцов труб после каждого единичного испытания, которые были рассчитаны на основании измеренных значений износа в контрольных точках для каждой трубы в зависимости от количества испытательных циклов представлены в табл. 2.

График зависимости износа от количества испытательных циклов представлен на рис. 5.

## 2. Среднеарифметические значения износа по результатам испытаний

Номер образца	Тип образца (маркировка)	Количество испытательных циклов, шт.	$a_{\text{средн.к}}$ , мм
1	Труба 400-0,6-10000 К (лайнерный слой на основе изофталевой смолы)	50000	0,024
		100000	0,073
		150000	0,187
		200000	0,355
2	Труба 400-0,6-10000 В (лайнерный слой на основе ортофталевой смолы)	50000	0,025
		100000	0,066
		150000	0,111
		200000	0,216
3	Труба 400-0,6-5000 ВЭС (лайнерный слой на основе винилэфирной смолы)	50000	0,008
		100000	0,023
		150000	0,042
		200000	0,065

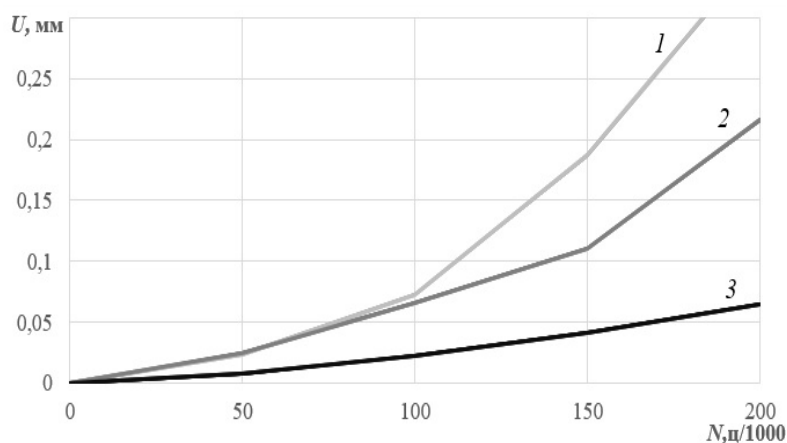


Рис. 5. График износа внутренней поверхности труб:  
1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3

На основании полученных результатов в соответствии с пунктом 9.2.3 ГОСТ Р 55877-2013 были рассчитаны коэффициенты безопасности ( $F_{6k}$ ) стеклокомпозитных труб систем водоотведения в зависимости от количества испытательных циклов по формуле:

$$F_{6k} = \frac{\delta_{\text{л}}}{a_{\text{средн.к}}}, \quad (2)$$

где  $a_{\text{средн.к}}$  – среднеарифметическое значение износа для разового испытания номера  $k$ , мм;  $\delta_{\text{л}}$  – толщина лайнерного слоя стеклокомпозитной трубы, мм.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

3. Значения коэффициентов безопасности в зависимости от количества испытательных циклов (толщина лайнерного слоя 1,5 мм)

Номер образца	Тип образца (маркировка)	Количество испытательных циклов, шт.	$F_{6k}$
1	Труба 400-0,6-10000 К (лайнерный слой на основе изофталевой смолы)	50000	62,50
		100000	20,55
		150000	8,02
		200000	4,23
2	Труба 400-0,6-10000 В (лайнерный слой на основе ортофталевой смолы)	50000	60,00
		100000	22,73
		150000	13,51
		200000	6,94
3	Труба 400-0,6-5000 ВЭС (лайнерный слой на основе винилэфирной смолы)	50000	187,50
		100000	65,22
		150000	35,71
		200000	23,08

Показатель износа, именуемый как «дармштадский ресурс», определялся как длина потока абразивной смеси, вызывающая износ 100 % толщины лайнерного слоя. Предполагалось, что 200 000 испытательных циклов соответствуют пробегу потока взвеси протяженностью 400 км. Для оценки количества испытательных циклов, необходимых для

истирания лайнерного слоя (толщиной 1,5 мм для всех трех образцов), полученные зависимости износа от количества циклов были аппроксимированы к полиномиальным функциям (в степени 2, величина достоверности аппроксимации  $R^2$  составила не менее 0,99). Полученные в графическом виде зависимости представлены на рис. 6.

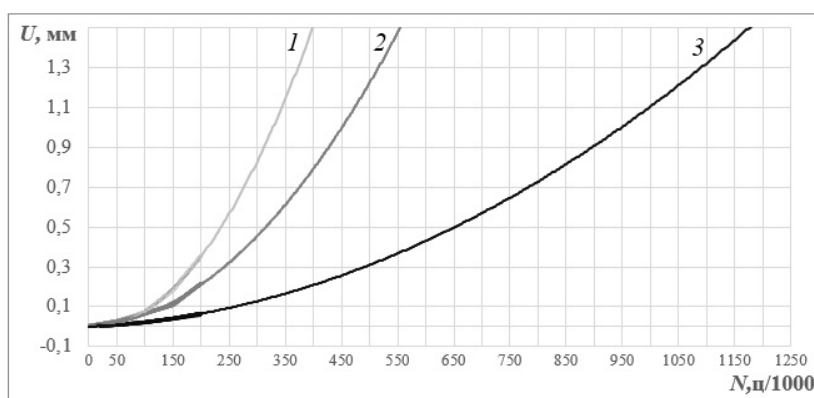


Рис. 6. Зависимости износа внутренней поверхности труб от количества циклов:

1 – полиномиальная, образец № 1 ( $R^2 = 0,9986$ ); 2 – полиномиальная, образец № 2 ( $R^2 = 0,9911$ ); 3 – полиномиальная, образец № 3 ( $R^2 = 0,9996$ )

По экстраполяции полученных зависимостей было определено предполагаемое количество испытательных циклов, необходимых для разрушения лайнерного слоя каждого образца

(при допущении об устоявшемся характере разрушения лайнера). Результаты определения представлены в табл. 4.

4. Количество испытательных циклов и пробег потока взвеси в испытуемых трубах до полного износа лайнерного слоя

Номер образца	Толщина лайнерного слоя, мм	Количество испытательных циклов, шт.	Пробег потока взвеси, км
1	1,5	402 000	804
2	1,5	537 000	1074
3	1,5	1 276 000	2552

Зная расчетную скорость течения воды на участке самотечного трубопровода, можно определить долговечность лайнерного слоя, выраженную через износостойкость. На рис. 7 представлена зависимость долговечности

(стойкости к истиранию) лайнерного слоя испытываемых труб в зависимости от скорости потока абразивной смеси.

Полученные зависимости, выраженные через функции, представлены в табл. 5.

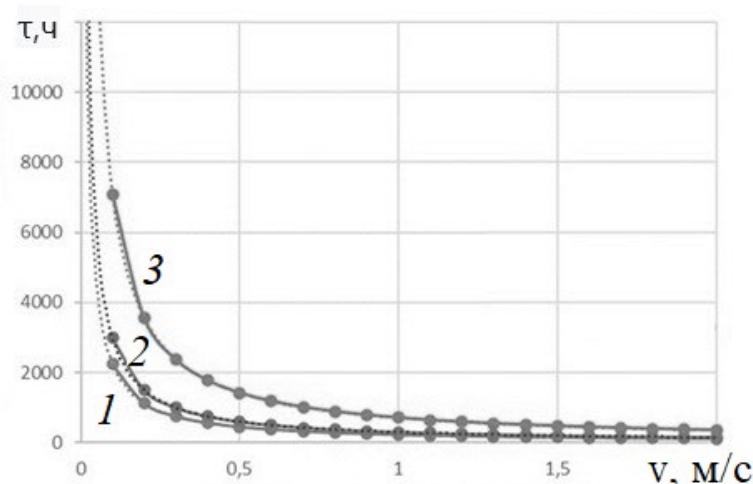


Рис. 7. Зависимость долговечности лайнерного слоя от скорости потока абразивной среды: 1 – образец № 1 ( $y = 222,22x^{-1}$ ); 2 – образец № 2 ( $y = 298,33x^{-1}$ ); 3 – образец № 3 ( $y = 708,89x^{-1}$ )

5. Зависимость долговечности лайнерного слоя ( $A$ ) от скорости потока абразивной среды ( $v_a$ )

Номер образца	Толщина лайнерного слоя, мм	Пробег потока взвеси, км	Долговечность лайнерного слоя от скорости потока взвеси, ч
1	1,5	804	$A(v_a) = 222,22v_a^{-1}$
2	1,5	1074	$A(v_a) = 298,33v_a^{-1}$
3	1,5	2552	$A(v_a) = 708,89v_a^{-1}$

Кроме этого, проводился визуальный осмотр поверхностей образцов после испытаний (рис. 8 а, б, в). На поверхности образцов

1 и 2 были видны сколы, образовавшиеся при испытании. На образце 3 наличие образовавшихся дефектов носит единичный характер.



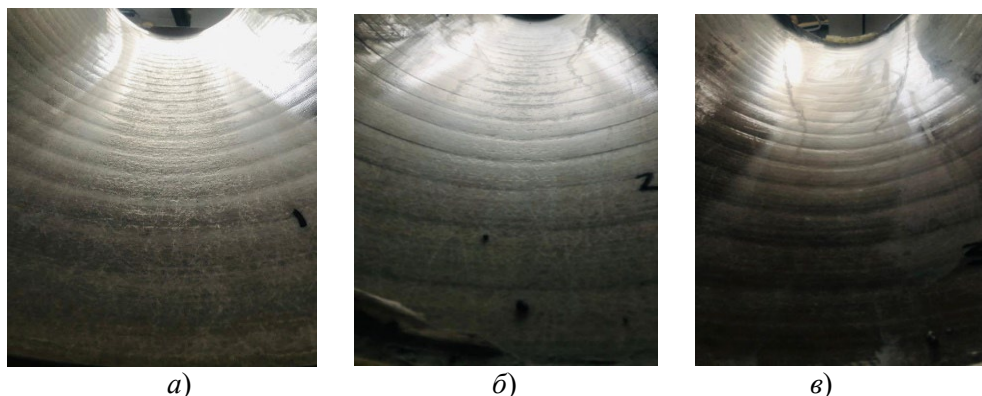


Рис. 8. Внутренняя поверхность после 200 000 испытательных циклов:  
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

### Выводы

По результатам испытаний на определение износостойкости внутренней поверхности стеклокомпозитных труб в соответствии с ГОСТ Р 55877-2013 (метод Б – Дармштадский метод) срок эксплуатации труб составляет не менее 50 лет (эквивалент 100 000 циклов).

Максимальный износ лайнерного слоя за 100 000 циклов составил не более 5 % (0,073 мм). Дополнительно проведенные испытания до 200 000 циклов, показали, что максимальный износ составляет не более 24 % (0,355 мм) от общей толщины лайнерного слоя.

Результаты расчетов были использованы для выбора наиболее перспективного материала в качестве полимерной матрицы при производстве стеклокомпозитных труб для их установки методом микротоннелирования. Стойкость труб с внутренним слоем на основе винилэфирной смолы не менее чем в 2 раза превосходит по абразивной стойкости трубы с внутренним слоем из орто- и изофталевой полиэфирной смолы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бьёркланд И. Пластмассовые трубы, их характеристики и области применения. М.: NPG, 2000. 116 с.
2. Li Hong (Ed.) *Fiberglass Science and Technology: Chemistry, Characterization, Processing, Modeling, Application, and Sustainability*. Springer, 2021. 555 p.
3. Асланова М.С., Колесов Ю.И., Хазанов В.Е., Ходаковский М.Д., Шейко В.Е. *Стекланные волокна*. М.: Химия, 1979. 256 с.
4. Лопатина А.А., Сазонова С.А. Анализ технологий укладки труб // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура* 2016. Т. 7. № 1. С. 93–111.

5. Li Hong (Ed.) *Fiberglass Science and Technology: Chemistry, Characterization, Processing, Modeling, Application, and Sustainability*. Springer, 2021. p.555

6. Альтмайер Г. *Напорные трубы для воды, газа и промышленных трубопроводов. Справочник по пластмассовым трубам* / Л.: Химия, 1985. 248 с.

7. Ромейко В.С. *Трубы и ускорение развития экономики*. М.: Экономика, 1989. 150 с.

8. Мельников Д.А., Иванов С.В., Антошин В.А. *Стеклокомпозитные трубы и изделия из них: заданное сочетание эксплуатационных и технологических свойств* // *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. 2020. № 6. С. 22–23.

9. Raymond L. Sterling. *Developments and research directions in pipe jacking and microtunneling* // *Underground Space*, 2020, Vol. 5, Issue 1. pp. 1–19.

10. ГОСТ Р 55877-2013. *Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном. Методы испытаний. Определение износостойкости внутренней поверхности*.

11. ТУ 22.21.21-003-99675234-2019 (взамен ТУ 2296-003-99675234-2007). *Трубы, муфты, фасонные и соединительные детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном, изготовленные по технологии «НТТ», для питьевого водоснабжения. Технические условия. Дата введения 01.07.2019 г.*

12. Албагачиев А. Ю. Патент на полезную модель. Российская Федерация, МПК G01N19/02 / Машина для измерения трибометрических параметров материалов. // А.Ю. Албагачиев, А.Г. Абакумкин., Ю.В. Баранов, В.Н. Хованский., Н.П. Хованская. Заявитель и патентообладатель: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (RU) - 2011138337/28; заявл.20.09.2011115919. опубл. 20.09.2011.

### REFERENCES

1. Bjerklund I. *Plastic pipes, their characteristics and applications*. Moscow: NPG, 2000, 116 p.
2. Li Hong (Ed.) *Fiberglass Science and Technology: Chemistry, Characterization, Processing, Modeling, Application, and Sustainability*. Springer, 2021. 555 p.
3. Aslanova M.S., Kolesov Yu.I., Khazanov V.E., Khodakovskiy M.D., Sheiko V.E. *Glass fibers*. Moscow: Chemistry, 1979, 256 p.

4. Lopatina A.A., Sazonova S.A. Analysis of pipe-laying technologies / Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture. Vol. 7, 2016, no. 1. pp. 93–111.

5. Li Hong (Ed.) Fiberglass Science and Technology: Chemistry, Characterization, Processing, Modeling, Application, and Sustainability. Springer, 2021. p.555

6. Altmaier G. Pressure pipes for water, gas and industrial pipelines. Handbook of plastic pipes / Leningrad: Khimiya, 1985, 248 p.

7. Romeyko V.S. Pipes and acceleration in the development of the economy. Moscow: Ekonomika, 1989, 150 p.

8. Melnikov D.A., Ivanov S.V., Antoshin V.A. Fiber-glass composite pipes and products made of them: a given combination of serviceability and processing behavior/ The best accessible water supply and water discharge technologies, 2020, no. 6, pp. 22–23.

9. Raymond L. Sterling. Developments and research directions in pipe jacking and microtunneling // Underground Space, 2020, Vol. 5, Issue 1. pp. 1–19.

10. State standard R 55877-2013. Pipes and pipeline parts made of reactoplasts, glass-reinforced. Testing techniques. Inner surface wearing test.

11. TS 22.21.21-003-99675234-2019 (supersede TS 2296-003-99675234-2007). Pipes, couplings, shaped pieces and fittings of pipelines made of reactoplasts, glass-reinforced, manufactured according to «NTT» technology for portable water supply. Technical standards. Date of introduction 01.07.2019

12. Albagachiev A. Yu. Patent for a utility model. Russian Federation, IPC G01N 19/02 / Machine for measuring tribometric parameters of materials. // A.Yu. Albagachiev, A.G. Abakumkin., Yu.V. Baranov, V.N. Khovansky., N.P. Khovanskaya. Applicant and patent holder: IMS RAS named after A.A. Blagonravov (RU) - 2011138337/28; application 20.09.201115919. publ. 09/20/2011.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.03.2023; одобрена после рецензирования 03.04.2023; принята к публикации 17.04.2023

The article was submitted 23.03.2023; approved after reviewing 03.04.2023; accepted for publication 17.04.2023

