

# Преимущества базальтовых непрерывных волокон в композитных трубах систем теплоснабжения

## Advantages of using basalt continuous fibers in composite pipes of heat supply systems

Сергей Оснос

Учредитель Компании «Basalt Fiber Materials Technology Development», Д. Т. Н.  
E-Mail: Basaltem@Gmail.com

Sergey OSNOS

Founder of the company «Basalt Fiber Materials Technology Development», Doctor of Technical Sciences  
E-mail: basaltem@gmail.com

Александр Федотов

Представитель Компании «Basalt Fiber Materials Technology Development» в РФ  
E-Mail: A7fdt.v4@Gmail.com

Alexander FEDOTOV

Representative of the company «Basalt Fiber Materials Technology Development» in the Russian Federation  
E-mail: a7fdt.v4@gmail.com

Константин Строгонов

Доцент Кафедры Инновационных Технологий Наукоёмких Отраслей Национального Исследовательского Университета «Мэи», К. Т. Н., Доцент  
E-Mail: Strogonovkv@Yandex.ru

Konstantin STROGANOV

Associate Professor of the Department of Innovative Technologies of High-tech Industries of the National Research University «MEI», Ph.D., Associate Professor  
E-mail: strogonovkv@yandex.ru

Александр Шаклеин

Директор, Гк «Машспецстрой»  
E-Mail: Shakleinperm@Gmail.com

Alexander SHAKLEIN

Director, Mashspetsstroy Group of Companies  
E-mail: shakleinperm@gmail.com

Аннотация. Износ трубопроводов трасс централизованного теплоснабжения в странах бывшего СССР составляет 70–80%, что требует проведения неотложных работ по их реконструкции и замене. Применение композиционных труб на основе базальтовых непрерывных волокон (БНВ) в системах тепло- и водоснабжения, канализации является наиболее приоритетным в техническом и экономическом плане. Характеристики БНВ определяют длительные ресурсы эксплуатации труб – более 50 лет. Широкое применение композиционных труб в коммунальном и водном хозяйствах требует создания промышленных производств БНВ и труб диаметрами от 25 мм до 1200–1500 мм. В статье кратко освещены организационные и экономические вопросы создания заводов БНВ и композитных труб. *Ключевые слова:* базальт, композитные трубы, трубопроводы, промышленное производство композитных труб, энергоэффективность, долговечность.

Abstract. The wear of pipelines of district heating routes in the countries of the former USSR is 70–80%, which requires urgent work on their reconstruction and replacement. The use of composite pipes based on basalt continuous fibers (BNB) in heat and water supply and sewerage systems is the highest priority in technical and economic terms. The characteristics of the BNV determine the long-term operating resources of the pipes – more than 50 years. The widespread use of composite pipes in public utilities and water management requires the creation of industrial production plants and pipes with diameters from 25 mm to 1200–1500 mm. The article briefly highlights the organizational and economic issues of the creation of BNV plants and composite pipes.

*Keywords:* basalt, composite pipes, pipelines, industrial production of composite pipes, energy efficiency, durability.



### Расход энергии в базальтоплавильных агрегатах технологических линий ТЕ ВCF 2500 составляет 10% в себестоимости производства БНВ

К настоящему времени техническое состояние стальных труб трасс централизованного теплоснабжения в РФ и странах бывшего СССР находится в крайне неудовлетворительном состоянии, их износ составляет 70–80%, при ежегодном увеличении степени износа на 1,5–2% [1, 2].

По данным Федеральной службы государственной статистики, протяженность трубопроводов, требующих замены, в РФ

растет на 4% каждый год, а систем канализации – на 9% ежегодно. При этом нормативный срок службы большого количества имеющихся тепловых сетей уже превысил расчетный период эксплуатации в 25 лет [3]. Долговечность стальных отечественных водопроводных сетей при существующих способах прокладки не превышает 12–15 лет [4].

Общая коррозия стальных труб, особенно сварочных швов, зарастание труб продуктами коррозии и карбонатными отложениями приводит теплотрассы в предаварийные и аварийные состояния. Теплотрассы нуждаются в капитальном ремонте и реконструкции с заменой стальных труб. Оценочные данные по длине трубопроводов ЖКХ и в энергетике, уровню их аварийности и потерь представлены в таблице 1.

В настоящее время для укладки трубопроводов систем водоснабжения, теплоснабжения и канализации применяют стальные и композиционные трубы.

Проведем комплексный анализ труб с учетом совокупности их характеристик, стоимости труб и их укладки в трубопроводы, долговечности эксплуатации. При этом важным показателем оценки труб,

Отрасли	Длина трубопроводов	Уровень аварийности	Потери
ЖКХ	17 млн км трубопроводов.	Около 1 млн аварий и повреждений в год.	Транспортируемой среды до 30%;
	Магистральных трубопроводов: 366 тыс. км тепловых сетей; 523 тыс. км водоводов; 163 тыс. км канализации	200 аварий на 100 км; 100 аварий на 100 км водоводов и сетей канализации	Тепла до 40%; Энергии до 15%
Энергетика	12 млн км трубопроводов сетей горячего водоснабжения, производственных и технологических трубопроводов АЭС, ГРЭС, ТЭЦ, ТС, ЦРП, котельных	Около 600 тыс. аварий и повреждений в год	Транспортируемой среды до 30%; Теплоты до 40%
Нефтегазовая и химическая	Более 5 млн км магистральных, технологических и вспомогательных трубопроводов	Около 1 млн аварий и повреждений в год	Около 1 млн т нефти
Металлургия	Более 3 млн км производственных и технологических трубопроводов	200 тыс. аварий и повреждений в год	Транспортируемой среды до 20%

Таблица 1. Потери в трубопроводных системах

Источник: ГК «Машспецстрой»

выполненных из различных материалов, будет надежность и длительность эксплуатации инженерных трубопроводов.

### Сравнительный технико-экономический анализ типов труб теплотрасс

Стальные трубы подвержены коррозии и имеют ограниченный расчетный период эксплуатации – 25 лет [5]. СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий» оговаривает верхний допустимый температурный предел эксплуатации систем горячего водоснабжения +75 °С при расчетном сроке эксплуатации 25–30 лет, а СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» допускает эксплуатацию трубопроводов до +95 °С.

Слабым звеном теплотрасс из стальных труб являются сварочные швы, которые наиболее подвержены коррозии и разрушению. Стоимость стали и стальных труб за последние годы возросла в 2,5

Исследования и анализ, проведенные отечественными НИИ и зарубежными научными центрами, показывают, что в современных условиях применение стальных труб для трасс теплоснабжения теряет экономический смысл, особенно с учетом ограниченного ресурса их эксплуатации [7, 8]. Поэтому следует переходить к полимерным и композиционным трубам, которые не подвержены коррозии и имеют более длительные ресурсы эксплуатации [6].

Полимерные полиэтиленовые трубы имеют ограничения по температуре применения и давлениям, поскольку не имеют армирующей основы волокнами.

Композиционные трубы (КТ) на основе базальтовых непрерывных волокон (БНВ) имеют ряд преимуществ по сравнению со стальными и полимерными:

- более высокие прочностные характеристики;
- обеспечивают требуемые и повышенные давления, температуры теплоносителя до +180 °С;
- химически стойкие;

Таблица 2. Сравнительные характеристики композитов БНВ и легированной стали

Характеристики и показатели	Легированная сталь	Композиты БНВ
Прочность на разрыв, МПа	390	не менее 1300
Модуль упругости, ГПа	200	70–90
Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	7856	1800
Стойкость к знакопеременным нагрузкам	низкая	высокая
Коэффициент теплового расширения, %	14	1,5
Коррозионная и химическая стойкость	подвержена коррозии	не подвержена коррозии
Температура применения, °С	- 50 ... до + 300	- 200 ... до + 200
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*°С	47	0,6

\* Себестоимость производства КТ при собственном производстве БНВ в 1,6–1,8 раза ниже стоимости аналогичных по назначению стальных труб средних и больших диаметров.

- имеют длительные сроки эксплуатации не менее 50 лет [9, 10].

В таблице 2 представлены сравнительные характеристики композитов БНВ и легированной стали (на основе данных НИИ строительных конструкций и НИИ бетона и железобетона, сравнительных испытаний композитной арматуры БНВ и стальной арматуры) [7, 14–17].

Анализ таблицы 2 показывает, что по своим технико-экономическим характеристикам армирующие, композитные материалы и изделия на основе БНВ позволяют успешно заменить изделия из стали. Это особо актуально в связи с ростом стоимости сырья в последние годы, когда цены на сталь возросли в 2,5–3 раза.

На рис. 1 представлен пример успешного применения полимерных композитных труб вместо стальных. По сравнению с традиционными стальными:

- отсутствие коррозии и долговечность эксплуатации;
- прочность на разрыв в 2,5–3 выше легированных сталей;
- в 4 раза меньше вес;
- простота стыковки труб без проведения сварочных работ.

Коэффициент теплового расширения КТ в 9 раз ниже, чем у стальных труб [11, 12].

Это позволяет прокладывать теплотрассы из КТ по прямой и исключить компенсационные колена для парирования температурного расширения, как это делают при прокладке стальных трубопроводов.

Основой композиционных материалов являются непрерывные волокна (75–80% состава): стеклянные (СВ), углеродные (УВ) и БНВ, которые определяют их прочностные и эксплуатационные характеристики, а также во многом стоимость.

БНВ – единственные волокна, которые производят из расплавов природного сырья – базальтовых пород магматического происхождения. Изначально они имеют высокую химическую и термическую стойкость, длительные сроки эксплуатации под воздействием окружающей и агрессивных сред [13, 14].

Сравнительный анализ основных характеристик, себестоимости производства и стоимости продаж БНВ, СВ и УВ представлен в таблице 3 [15].

Себестоимость производства БНВ определяется: стоимостью щебня фракции 5–20 мм на карьере, энергопотреблением

на плавление базальта и выработку волокон, производительностью фильерных питателей. Современные технологии и оборудование третьего и четвертого поколений обеспечивают производство БНВ с достаточно высокими прочностными характеристиками, близкими к уровню углеводородных, с низкими энергозатратами (в 1,8 раза ниже стеклянных и в несколько раз ниже производства УВ) и себестоимостью промышленного производства на уровне Е-стекловолокна [16].

По совокупности технических и эксплуатационных характеристик БНВ обладают рядом преимуществ по сравнению с СВ, а по стоимости в 15–20 раз ниже УВ [13].



Рис. 1. Замена изношенных корродированных стальных труб на композитные

Низкая гигроскопичность базальтовых волокон (в 6–8 раз ниже СВ) обеспечивает исключительное применение тепло- и звукоизоляционных материалов в авиационной и судостроительной промышленности [14, 17, 18].

Армирующие материалы на основе БНВ – рубленые волокна (базальтовую фибру), армирующие дорожные и строительные сетки, арматуру применяют в строительной отрасли и дорожном строительстве [11, 19, 20].

Разработана и принята нормативная документация – ГОСТы, СНиПы, ТУ и рекомендации ведущих НИИ железобетона, НИИ дорожного строительства на применение БНВ армирующих материалов руб-

Характеристики	БНВ	Е-стекло- волокно	S-стекло- волокно	Углеродное волокно
Прочность на разрыв, МПа	3000...4900*	3000...3800	4020...4650	3500...6000
Модуль упругости, ГПа	79...90	73...76	83...86	250...450
Диаметр первичных волокон, микрон	9 ... 17	6 ... 17	6 ... 15	6 ...15
Текс (вес в грамм 1000 м ровинга)	60 ... 4800	40 ... 4800	40 ... 4800	60 ... 2400
Температура применения, °С	-200...+600	-50...+350	-50...+300	-50...+400
**Себестоимость промышленного производства, в USD/кг	0,7** ... 0,9	1,1 ... 1,4	2,5–3,5	45 ... 60
Цена продаж, в USD/кг	2 ... 3	1,5 ... 2,5	3,5 ... 4,5	50 ... 90
Мировые объёмы производства тыс. т/год (данные на 2021 г.)	75 ... 80	8000 ... 9000 97% – Е-стекловолокно		130 ... 150

\* Высокие прочностные характеристики БНВ (для авиационного применения) достигнуты на оборудовании четвертого поколения и базальтовом сырье высокого качества.

\*\* Себестоимость производства БНВ на технологическом оборудовании третьего и четвертого поколения для условий промышленного производства в РФ.

Таблица 3. Сравнительный анализ основных характеристик, себестоимости производства и стоимости продаж БНВ, СВ и УВ

ленных волокон, арматуры, армирующих дорожных и строительных сеток для повышения прочности и трещиностойкости бетона и асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [21–24].

Характеристики БНВ обеспечивают химическую стойкость и длительность эксплуатации композиционной арматуры не менее 50 лет под воздействием окружающей и агрессивных сред (растворов солей, щелочей, кислот и морской воды). БНВ по совокупности технико-экономических показателей может быть принят за основу для производства композиционных труб.

К настоящему времени объемы производства БНВ и материалов БНВ в мире достигли 75–80 тыс. т в год. Основные производства БНВ созданы компанией

Basalt Fiber Materials Technology Development для заказчиков в КНР. Поэтому для обеспечения потребностей коммунального и водного хозяйства, строительной и нефтегазовой отраслей в композитных трубах (КТ) потребуется создание новых крупных производств БНВ – основа для композитных труб ровинги и ленты БНВ (до 80% состава), которые пропитываются связующими с последующей полимеризацией.

### Основные положения создания заводов БНВ

РФ обладает собственными источниками базальтового сырья, энергоресурсов,

имеет наиболее предпочтительные в мире условия создания заводов БНВ, армирующих и композиционных материалов (АКМ) для обеспечения собственных нужд и развития экспорта.

В частности, существует возможность создания заводов БНВ и КТ производительностью 12 тыс. т в год, с перспективой дальнейшего увеличения объемов производства до 25 тыс. т в год и более.

### Сырьевая и энергетические составляющие производства композитных труб БНВ

Базальты – это природное, магматическое сырье для производства волокон. Энергозатраты на подготовку базальтового сырья для производства БНВ выполнены в природных условиях. Стоимость дробленого базальта фракции 5–20 мм на карьере составляет 4,5–6 долл. за тонну и в себестоимости производства БНВ он составляет до 3%.

Для плавления базальтов и вытяжки БНВ применяют газозлектрические плавильные агрегаты с платинородиевыми фильерными питателями. Расход энергоносителей в базальтоплавильных агрегатах технологических линий ТЕ ВCF 2500 (четвертого поколения) составляет не более 10% в себестоимости производства БНВ.

Информация о характеристиках технологических линий ТЕ ВCF производства БНВ представлена на сайте и публикациях компании [15, 24].

План создания промышленных производств – заводов БНВ АКМ представлен в статье «Базальтовые непрерывные волокна (БНВ) характеристики и преимущества. Сырье, технологии и оборудование. Создание заводов БНВ и материалов БНВ» [25].

Для промышленного производства композиционных труб компания предлагает технологии и оборудование их непрерывной намотки. Пропитанные связующие ровинги и ленты БНВ укладывают в тело трубы, подобно ткани. Это придает трубе требуемую продольную и поперечную прочность, при минимальном расходе БНВ и связующего.

Промышленное производство БНВ является высокотехнологичным с высоким уровнем рентабельности от 70 до 90–120%, в зависимости от объемов произ-

## Для промышленного производства композиционных труб компания предлагает технологии их непрерывной намотки. Пропитанные связующие ровинги и ленты БНВ укладывают в тело трубы, подобно ткани

водства. Производство с законченным циклом от БНВ до композиционных труб, обеспечивает более высокую рентабельность 150–160% и сжатые сроки возврата инвестиций. Накоплен положительный опыт создания заводов БНВ АКМ, а также широкого применения их продукции в строительной отрасли, дорожном строительстве, энергетике и промышленности [11, 12, 17, 18, 20, 24, 26, 27–29].

Рынок сбыта заводов БНВ и КТ обеспечивает потребности отраслей, представленных в таблице 1, а также производства КТ, созданных по месту потребления труб, в том числе и в других странах (т. к. транспортировка труб средних и больших диаметров на большие расстояния не является рациональной).

Рис. 2. Производство композитных труб



Производство стальных труб на заводе

Источник: Grigorenko / depositphotos.com



## Анализ технико-экономических характеристик СВ, БНВ и УВ свидетельствует, что базальтовые непрерывные волокна имеют наиболее оптимальное соотношение «характеристики – стоимость»

### Выводы

1. Сравнительный анализ технико-экономических характеристик СВ, БНВ и УВ свидетельствует, что базальтовые непрерывные волокна имеют наиболее предпочтительное соотношение «характеристики – стоимость» для производства композиционных труб коммунального назначения: теплотрасс, водоснабжения и канализации; труб для энергетики и нефтегазовой отрасли.
2. Производство БНВ-композиционных труб требует в 20 раз меньше энергоресурсов, чем производство

стальных. БНВ производят из расплавов природного базальтового сырья. БНВ-композиционные материалы, изделия, трубы производят по «холодным» технологиям. Это важно в современных условиях существенного повышения мировых цен на энергоносители и экологических требований по декарбонизации промышленности.

3. Применение БНВ-композиционных труб в системах тепло и водоснабжения, канализации по своим техническим и экономическим показателям является наиболее приоритетным. Характеристики БНВ определяют длительные сроки эксплуатации композиционных труб, не менее 50 лет.
4. Широкое применение композиционных БНВ-труб требует создания крупных промышленных производств БНВ и КТ.
5. Основные работы в области разработки технологий и оборудования производства БНВ и КТ уже выполнены, накоплен положительный опыт создания заводов БНВ АКМ, а также широкого применения их продукции в строительной отрасли, дорожном строительстве, энергетике и промышленности.



Труба с теплоизоляцией базальтовым волокном

Источник: 8th / depositphotos.com

### Использованные источники

1. URL: <https://realty.ria.ru/20230622/seti-1879819539.html>
2. Трофимова Н. Б. Инновации и инвестиции в деятельности по управлению коммунальной инфраструктурой муниципального образования: Монография / Н. Б. Трофимова. – Москва–Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 129 с.
3. Витальев В. П. Бесканальная прокладка тепловых сетей // М.: Энергия, 1971. С. 282.
4. Stepanova T. A. Analysis of thermal-hydraulic characteristics of composite pipes compared to metallic and polymeric materials / T. A. Stepanova, K. V. Strogonov, A. V. Feduyukhin, P. V. Khoreva, I. M. Bernadiner // Ecology and Industry of Russia. 2019. № 23(1). Pp. 38–41.
5. ГОСТ 10704-91. «Трубы стальные электросварные прямые».
6. ГОСТ 18599-2001. «Трубы напорные из полиэтилена».
7. ГОСТ 30732-2006. «Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой».
8. Амосов Н. Т. Оценка технических показателей применения композитных и металлических трубопроводов / Н. Т. Амосов, К. В. Строгонов, А. В. Федюхин, Ф. Н. Газизов // Computational nanotechnology. 2018. № 3. С. 73–84.
9. Strogonov K. V. Energy and economic assessment of composite products production on the example of pipe products // 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2021. 9388044.
10. ГОСТ Р 55068–2012. «Трубы и детали трубопроводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло- и базальтоволокнами. Технические условия».
11. Степанова В. Ф., Краюшкина Е. В., Химерик Т. Ю., Негматуллаев С. Х., Оснос С. П. Армирующие материалы на основе базальтовых непрерывных волокон. Характеристики и опыт применения в строительстве и дорожном строительстве // Композитный мир. № 3 (100), 2022.
12. Негматуллаев С. Х., Оснос С. П., Степанова В. Ф. Арматура базальтопластиковая. Характеристики, производство, применение // Технологии бетонов. № 3–4, 2016.
13. Деревянко В. Н. д. т. н., проф. и др. Стойкость базальтового волокна в различных средах
14. Джигирис Д. Д., Махова М. Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий // Москва, Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.
15. Оснос С. П., Рожков А. И., Федотов А. А. Почему базальтовые непрерывные волокна станут основой производства армирующих и композиционных материалов в 21 веке // Композитный мир. № 1(98), 2022. С. 22–27.
16. Базальтовое волокно и продукция на его основе // Полоцк-Стекловолокно. URL: <http://www.polotsk-psv.by/production/catalog/bazalt/>
17. Оснос С. П., Рожков И. А., Федотов А. А. Комплексное применение и создание производств материалов на основе базальтов – базальтовых волокон и чешуи для судостроения // Судостроение. № 5, 2022. С. 9–19.
18. Оснос С. П. Basalt Fiber Materials Technology Development Co., Ltd Применение материалов на основе базальтовых волокон в авиакосмической отрасли // Композитный мир. № 4, 2015. С. 59–63.
19. Негматуллаев С. Х., Оснос С. П., Степанова В. Ф. Арматура базальтопластиковая: характеристики, производство, применение // Технологии бетонов. № 3–4, 2016.
20. Краюшкина Е. В., Оснос С. П. Материалы на основе базальтовых волокон в дорожном строительстве // Дороги. Инновации в строительстве. Геосинтетические материалы. Спецвыпуск. № 34 февраль, 2014. С. 57–61.
21. ГОСТ 31938-2012. «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций».
22. ДСТУ – НБВ.2.6–185:2012. «Руководство по проектированию и изготовлению бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой на основе базальто- и стекловолокна».
23. СП 297.1325800.2017. «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования».
24. Оснос М. С., Оснос С. П. Базальтовые непрерывные волокна – основа создания промышленных производств и широкого применения армирующих и композитных материалов // Композитный мир. № 1, 2019.
25. Оснос С. П., Рожков И. А., Федотов А. А. Базальтовые непрерывные волокна (БНВ): характеристики и преимущества. Сырье, технологии и оборудование. Создание заводов БНВ и материалов БНВ // Композитный мир. № 2(99), 2022. С. 18–27.
26. Оснос С. П., Рожков И. А. Вопросы производства и комплексного применения материалов на основе базальтовых непрерывных волокон в энергетике // Композитный мир. № 1(94), 2021. С. 54–60.
27. Оснос С. П., Федотов А. А. Комплексное применение и создание производств материалов на основе базальтовых волокон и чешуи для нефтегазовой отрасли // Neftegaz. RU. № 1, 2023. С. 26–34.
28. Osnos S., Rozhkov I. Application of basalt rock-based materials in the automotive industry. JEC Composites magazine № 147, 2022. p. 33–36.
29. Osnos S., Osnos M. BCF: developing industrial production for reinforcement materials and composites. JEC Composites magazine № 139, March – April 2021. p. 19–24.