

Обзорная статья

УДК 543.51:669.294

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-7-155-166

## СОВРЕМЕННЫЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ ТРУБЫ: МАТЕРИАЛЫ, СВОЙСТВА, ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ (обзор)

Д.А. Мельников<sup>1</sup>, А.Ю. Албагачиев<sup>2</sup>, А.В. Славин<sup>1</sup>, А.А. Рыбин<sup>1</sup>, А.В. Хрульков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук», Москва, Россия; info@imash.ru

**Аннотация.** Рассмотрены материалы, свойства, технологии изготовления и области применения стеклопластиковых труб. Представлены основные виды технологий изготовления стеклопластиковых труб и отрасли, в которых они применяются. Приведены основные свойства стеклопластиковых труб. Показано, что одной из важных причин снижения прочностных характеристик является пористость. Поры являются концентраторами напряжений и снижают диффузионную стойкость. Для снижения пористости предложен способ намотки с применением вибровоздействия.

**Ключевые слова:** стеклопластиковые трубы, связующие, наполнители, свойства, намотка, пористость, вибрационное воздействие

**Для цитирования:** Мельников Д.А., Албагачиев А.Ю., Славин А.В., Рыбин А.А., Хрульков А.В. Современные стеклопластиковые трубы: материалы, свойства, технологии изготовления и области применения (обзор) // Труды ВИАМ. 2026. № 7 (161). С. 155–166. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-7-155-166.

Review article

## MODERN FIBERGLASS PIPES: MATERIALS, PROPERTIES, MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (review)

D.A. Melnikov<sup>1</sup>, A.Yu. Albagachiev<sup>2</sup>, A.V. Slavin<sup>1</sup>, A.A. Rybin<sup>1</sup>, A.V. Khrulkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; info@imash.ru

**Abstract.** This article examines the materials, properties, manufacturing technologies and applications of fiberglass pipes. There are presented main types of fiberglass pipe manufacturing technologies and the industries, in which they are applied. The article gives the main properties of fiberglass pipes, highlighting that porosity is the significant reason for reduced strength properties. Pores act as stress concentrators and reduce diffusion resistance. A winding method using vibration is proposed to reduce porosity.

**Keywords:** fiberglass pipes, binders, fillers, properties, winding, porosity, vibration

**For citation:** Melnikov D.A., Albagachiev A.Yu., Slavin A.V., Rybin A.A., Khrulkov A.V. Modern fiberglass pipes: materials, properties, manufacturing technologies and applications (review). *Trudy VIAM*, 2026, no. 7 (161), pp. 155–166. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-7-155-166.

## Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) все шире применяются в самых различных областях и их потребление постоянно растет [1–3].

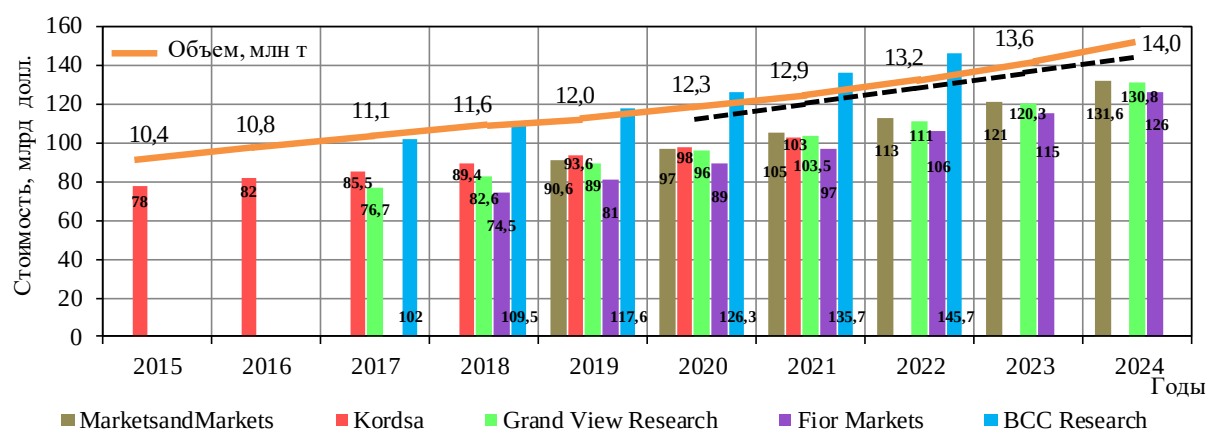


Рис. 1. Оценка мирового рынка полимерных композиционных материалов [4]

На рис. 1 показан рост применения ПКМ по оценкам различных экспертов. На рис. 2 представлена структура рынка ПКМ по типам армирующего волокна и полимерной матрицы. Доля рынка стекловолокна в 2024 г. в общем объеме композитов составила 87 %, а в строительстве достигла ~31 %.

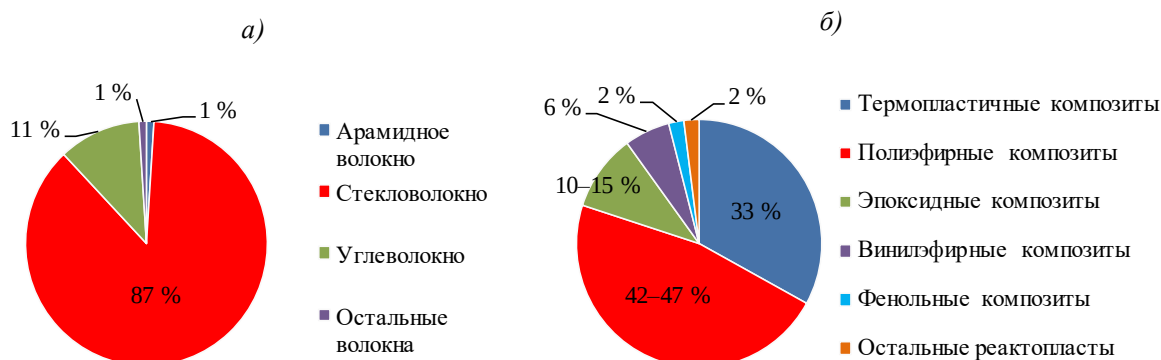


Рис. 2. Структура рынка полимерных композитов по типам армирующего волокна (а) и полимерной матрицы (б) [4]

В настоящее время продолжают работы по созданию новых композиционных материалов и проводятся исследования по изучению их технологических и эксплуатационных свойств [5–7].

Большой объем конструкций из ПКМ изготавливают из стеклопластиков, что объясняется теми свойствами, которыми они обладают:

- высокие удельные механические свойства – прочность при растяжении 150–750 МПа, а у однонаправленных стеклопластиков может превышать и 1700 МПа, модуль упругости 15–55 ГПа;
- высокая устойчивость к воздействию кислот и щелочей;
- объемное электрическое сопротивление  $10^{12}$ – $10^{14}$  Ом·см, диэлектрическая проницаемость 3,5–5,0 [8].

Для современной инфраструктуры – нефтегазопроводов, систем водоснабжения и водоотведения, химической промышленности и энергетики – требуются трубопроводы, устойчивые к коррозии, агрессивным средам, обладающие долгим сроком службы, легкостью монтажа и эксплуатации [9–12].

Стеклопластиковые трубы (композиты на основе стекловолокна и полимерной матрицы), особенно изготовленные методом непрерывной намотки, являются основной альтернативой традиционным металлическим и железобетонным трубам.

Первая стеклопластиковая труба была изготовлена в 1961 г. (рис. 3) и она до сих пор эксплуатируется в деривационном водоводе в сложных условиях окружающей среды, хотя прошло уже более 65 лет [13].



Рис. 3. Фотография стеклопластиковой трубы, изготовленной в 1961 г.

Стеклопластиковые трубы, представляют собой композитные конструкции на основе полимерной матрицы, армированной стекловолокном, и разработаны из-за острой потребности в коррозионностойких и долговечных трубопроводных системах. В середине XX в. их промышленное применение неразрывно связано с развитием химии термореактивных смол (прежде всего – эпоксидных и полиэфирных) и технологий переработки стекловолокна. Первооткрывателем стала американская компания Ameron, разработавшая в 1960-х гг. первые напорные трубы для нефтедобычи, способные работать при давлении до 30 МПа в агрессивных средах, содержащих сероводород ( $H_2S$ ) и солевые рассолы. Эта технологическая революция позволила решить проблему катастрофической коррозии стальных трубопроводов, особенно актуальную для транспортировки агрессивных сред. К 1980-м гг. стеклопластиковые трубы перешли из категории экзотических решений в разряд стандартизованных изделий, чему способствовала разработка международных (ISO, ASTM) и национальных (ГОСТ) стандартов, регламентирующих их производство и применение.

Таким образом, применение в будущем стеклопластиковых труб в различных отраслях – только вопрос времени [14–17].

### Материалы и технология

Для изготовления стеклопластиков применяются различные связующие (в основном – полиэфирные и эпоксидные), а в качестве наполнителей используются стеклонити и стекложгуты, при этом основным видом изготовления является намотка [18, 19].

Для стеклопластиковой трубы, изготавливаемой методом непрерывной намотки, применяются следующие материалы:

- непрерывный стеклоровинг E-glass, который широко используется в производстве стеклопластиковых изделий, обладает высокой прочностью и хорошей адгезией к полимерным матрицам; угол 3–5 градусов обеспечивает оптимальную ориентацию волокон для восприятия осевых и кольцевых нагрузок;
- рубленый стеклоровинг, который используется для армирования структурного слоя и обеспечивает хорошую вязкость, а также повышает прочность при сдвиге;

– кварцевый песок, который используется в качестве наполнителя для снижения стоимости и придания плотности структурному слою, обеспечивает достаточную прочность и износостойкость; фракция песка 0,2–0,8 мм обеспечивает оптимальное соотношение между прочностью и технологичностью;

– ненасыщенная полиэфирная смола, главными параметрами которой являются вязкость  $450 \pm 50$  мПа·с (при температуре 25 °С) и время гелеобразования  $23 \pm 2$  мин.

### Виды намотки и другие способы изготовления стеклопластиковых труб

По видам укладки материала при намотке можно дать следующую классификацию:

– *спирально-кольцевая* – укладочный механизм перемещается вдоль оси вращающейся оправки, обеспечивая укладку непрерывных волокон по винтовым траекториям (рис. 4). Угол армирования регулируется соотношением скорости вращения мандрели и поступательного движения укладчика – от 5 до 88 градусов относительно оси трубы. Такая укладка позволяет получать трубы устойчивые к высокому давлению;

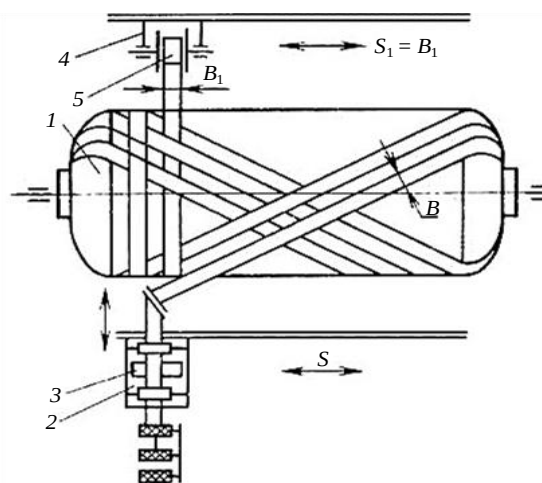


Рис. 4. Схема спирально-кольцевой намотки: 1 – оправка; 2, 3 – вертлюг для продольных лент; 4 – подвижная каретка с катушками для кольцевой намотки; 5 – катушки для кольцевой ленты

– *продольно-поперечная* – стеклянная лента с нахлестом укладывается на оправку с одновременной прикаткой роликом (рис. 5). Такая схема обеспечивает плотную укладку и минимальную толщину слоя связующего между волокнами;

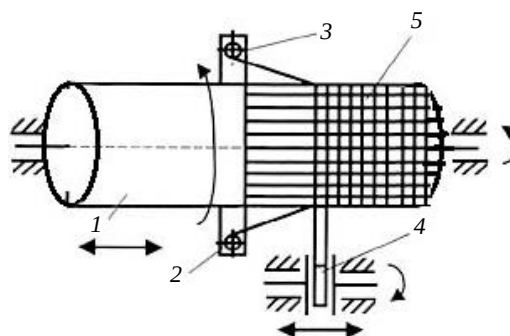


Рис. 5. Схема продольно-поперечной намотки. 1 – оправка; 2, 3 – вертлюг для продольных лент; 4 – катушки для кольцевой ленты; 5 – намотанный слой

– *поперечная (кольцевая)* – препрег в виде лент укладывается в плоскости, перпендикулярной оси вращения оправки;

– *продольная (осевая)* – арматура укладывается вдоль оси изделия.

Содержание стекловолокна достигает 75–85 % (по массе).

Рассмотрим другие способы изготовления труб:

– центробежное формование применяется преимущественно для безнапорных и слабонапорных труб большого диаметра (канализация, коллекторы). Связующее с рубленым волокном (и часто песком) заливается во вращающуюся форму, где под действием центробежных сил формируется плотная, часто многослойная стенка (рис. 6). Такая технология характеризуется высокой производительностью и хорошей геометрической точностью, но ограниченной прочностью;

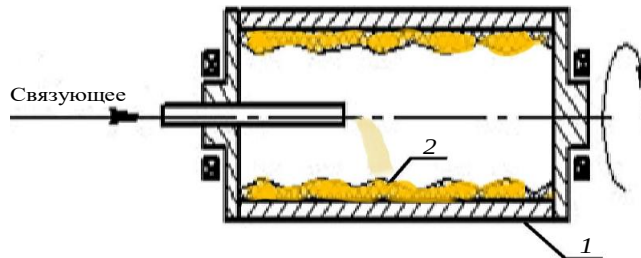


Рис. 6. Центробежное формование: 1 – оправка; 2 – связующее

– другим видом технологии является *пултрузия*, которая используется для труб относительно малых диаметров постоянного сечения (опоры, корпуса). Процесс заключается в непрерывном протягивании пропитанных волокон через нагретую фильеру. Получают изделия с высоким содержанием волокна и отличными продольными характеристиками, но небольшой кольцевой прочностью. Схема пултрузионной установки представлена на рис. 7;

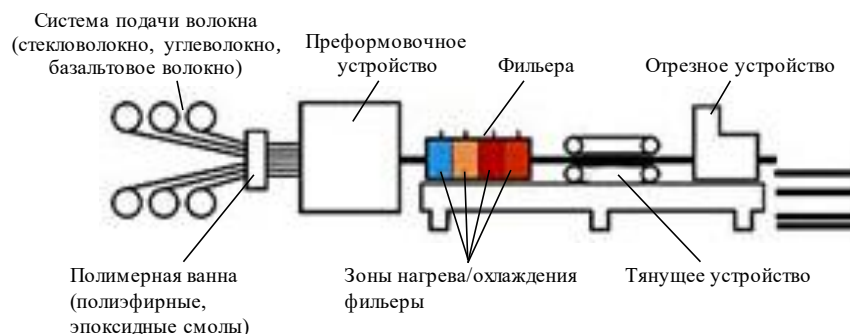


Рис. 7. Схема пултрузионной установки

– *аддитивные методы* (включая 3D-печать) позволяют создавать сложные геометрические формы с высокой точностью. Для стеклопластиковых труб это может означать возможность изготовления изделий с нестандартными сечениями, встроенными элементами или переменной толщиной стенки. Технологии FDM (Fused Deposition Modeling) или SLS (Selective Laser Sintering) с использованием композиционных материалов на основе стекловолокна и полимеров могут стать решением для прототипирования и мелкосерийного производства. Преимущества включают сокращение времени на подготовку производства и минимизацию отходов.

Отдельно рассмотрим процесс непрерывной намотки. *Непрерывная (филаментная) намотка* – основная технология для изготовления напорных труб средних и больших диаметров (50–4000 мм), при которой непрерывные нити стеклоровинга, пропитанные связующим, укладываются на вращающуюся оправку (мандрел) под заданным углом и натяжением.

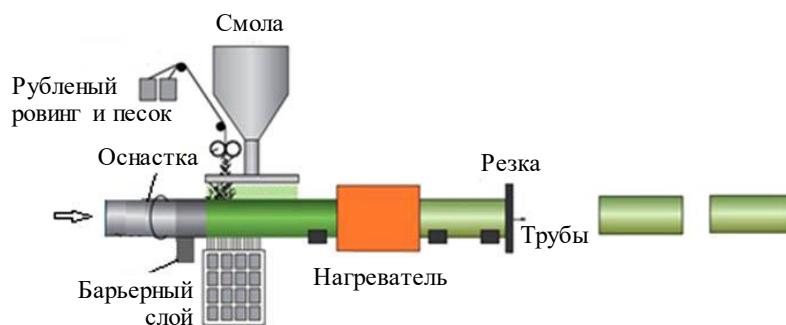


Рис. 8. Схема непрерывной намотки

Технология непрерывной намотки (рис. 8) хорошо освоена в РФ и за рубежом. На рис. 9 представлено фото стеклопластиковой трубы, изготовленной по технологии непрерывной намотки.



Рис. 9. Стеклопластиковая труба, изготовленная по технологии непрерывной намотки

Технология изготовления стеклопластиковой трубы методом непрерывной намотки определяется ее конструктивной особенностью. Схема слоев стеклопластиковой трубы и ее структура приведены на рис. 10.

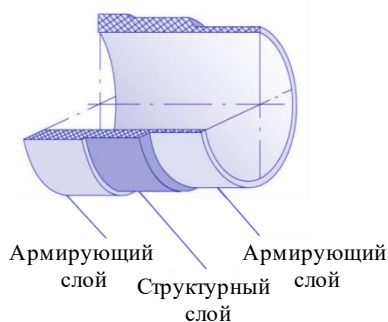


Рис. 10. Схема слоев стеклопластиковой трубы

Основанием для намотки композита служит оправка, которая может быть изготовлена из стали, алюминия или композиционных материалов. На рис. 10 показаны слои стеклопластиковой трубы:

– внутренний барьерный слой предотвращает проникновение связующего в оправку и обеспечивает гладкую поверхность для последующих слоев, содержит стеклоровинг, намотанный под углом 5 градусов. Этот слой толщиной 4–10 мм обеспечивает прочность и жесткость трубы под действием внутренних и внешних нагрузок;



– средний структурный слой (массовая доля песка 60 %) толщиной 4–80 мм обеспечивает необходимую толщину и жесткость стенки трубы, наполнение песком снижает стоимость и плотность композита;

– внешний армирующий слой толщиной 4–10 мм (угол намотки непрерывного стекловолокна 5 градусов) обеспечивает прочность и жесткость трубы под действием внутренних и внешних нагрузок. Оптимальный угол намотки 5 градусов обеспечивает максимальную прочность при кольцевых нагрузках. Наружный слой покрыт полимерным связующим для защиты от ультрафиолета и влаги.

Изготовление труб по технологии непрерывной намотки предусматривает постоянное армирование будущей трубы стекловолокном по окружности при продвижении оправки. Эта технология позволяет получать более качественный продукт по более низкой цене. При этом создается очень плотный ламинат, в котором максимально используется потенциал трех основных видов сырья: непрерывного ровинга из стекловолокна, рубленого ровинга и кварцевого песка, которые обеспечивают высокую прочность при кручении и осевом армировании, а песчаный наполнитель повышает жесткость за счет увеличения толщины. Благодаря системе подачи смол, на оборудовании можно наносить специальную внутреннюю полимерную прослойку для защиты от сильной коррозии, используя при этом стандартную смолу для структурной и внешней частей ламината. Для повышения износостойкости, химической стойкости и улучшения внешнего вида трубы можно использовать другие материалы, например стеклянную или полиэфирную пленку.

Установка для непрерывной намотки состоит из цельной стальной оправки, поддерживаемой цилиндрическими балками. При вращении балок стальная лента натягивается за счет трения, а роликовый подшипник позволяет ленте двигаться в продольном направлении, благодаря чему вся оправка непрерывно движется по спиральной траектории к выходному узлу. По мере вращения оправки на нее непрерывно с помощью электронных датчиков подаются композиционные материалы в точных количествах. Сначала наносится разделительная пленка, затем – стекловолокно различных форм и узоров, пропитанное матрицей из полиэфирной смолы. Конструкционные слои состоят только из стекла и смолы, а средний слой – из рубленого стекловолокна, кварцевого песка и смолы. После того как труба сформирована на оправке, ее отверждают, а затем обрезают до нужной длины. Концы трубы калибруют под муфту.

На рис. 11 показана установка для изготовления стеклопластиковых труб.



Рис. 11. Установка для непрерывной намотки стеклопластиковых труб

### Свойства стеклопластиковых труб

Рассмотрим, какие свойства имеют стеклопластиковые трубы.

*Рабочее давление* (Pressure Nominal – PN) – стандартизованный ряд (PN4, PN6, PN10, PN16, PN25), указывающий на максимально допустимое рабочее давление при

температуре 20 °С – например, параметр PN16 соответствует давлению 16 бар (1,6 МПа). Выбор параметра PN зависит от гидравлического расчета системы. Долговременные (Long Term Hydrostatic Pressure – LTHP) и кратковременные (Rapid Tank Pressure – RTP) испытания материала доказывают способность выдерживать рабочее давление в течение всего срока службы (50 лет и более) без разрушения или существенной деформации.

*Прочность при растяжении и сжатии* критична для напорных труб:

- для эпоксидных стеклопластиковых труб высокого давления при растяжении 180–240 МПа, при сжатии 200–300 МПа;
- для полиэфирных труб с песком при растяжении 80–120 МПа, при сжатии 150–200 МПа.

*Ударная вязкость* (по Шарпи) важна для стойкости к транспортировке и монтажу в диапазоне значений 70–120 кДж/м<sup>2</sup> [11].

*Кольцевая жесткость* (Stiffness Nominal – SN) определяет способность трубы сопротивляться внешним нагрузкам (грунта, транспорта) без чрезмерной деформации. Кольцевая жесткость выражается в Н/м<sup>2</sup> (ГОСТ Р 54560–2015: SN2500, SN5000, SN10000) или в psi (ASTM: PS20, PS40, PS80). Например, SN10000 означает, что труба выдерживает внешнюю нагрузку, вызывающую деформацию не более 5 % при нагрузке 10000 Н/м<sup>2</sup>. Для разных условий эксплуатации предъявляются различные требования к кольцевой жесткости – например, классов SN5000 и SN10000. Требуется строгое соответствие заявленному классу, так как отклонения от нормы могут привести к потере несущей способности трубы и аварийным ситуациям. Обеспечение кольцевой жесткости позволяет применять трубы в различных условиях прокладки, включая подземную бестраншейную прокладку, надземную прокладку с опорами и подводную эксплуатацию. Подбор труб с соответствующей кольцевой жесткостью требует учета геологических условий, глубины заложения и предполагаемых нагрузок.

*Температурный рабочий диапазон* эксплуатации труб определяется типом связующего: полиэфирные смолы общего назначения работоспособны от –60 до +80 °С, винилэфирные – от –60 до +110 °С, эпоксидные – от –60 до +130 °С. Однако длительное воздействие температур, близких к верхнему пределу, приводит к деградации матрицы и снижению прочности.

*Химическая стойкость* – характеризует способность материала сохранять свои физико-механические свойства при длительном контакте с транспортируемой средой, а также критична для труб, используемых при транспортировке агрессивных сред, таких как кислоты, щелочи, растворители, нефть. Разрушение материала под действием химически активной среды может происходить в результате коррозии, растворения, набухания или других химических реакций. Материалы обязательно должны тестироваться на стойкость к конкретным транспортируемым средам при рабочих температурах и концентрациях. Потеря прочности не должна превышать 20–30 % после длительной экспозиции. Важно учитывать изменение не только прочности, но и других параметров, таких как модуль упругости и температурный коэффициент линейного расширения.

*Диффузионная стойкость* – характеризует способность материала препятствовать проникновению транспортируемой среды через стенку трубы, что особенно важно для газов и летучих углеводородов, так как проникновение среды может приводить к утечкам, загрязнению окружающей среды и снижению давления в системе. Диффузия зависит от пористости материала, типа полимера и характеристик транспортируемой среды. Недопустимо чрезмерное проникновение среды через стенку трубы. Коэффициент проницаемости должен быть ниже установленных норм. Высокая диффузионная стойкость гарантирует герметичность трубопровода, отсутствие утечек транспортируемой среды и



сохранение ее чистоты. Для достижения высокой диффузионной стойкости необходимо применять материалы с низкой пористостью и создавать барьерные слои, препятствующие проникновению газов и жидкостей.

*Стойкость к ползучести* – характеризует способность материала сохранять свою форму и размеры под действием постоянной нагрузки в течение длительного времени, что особенно важно для трубопроводов, эксплуатируемых под высоким давлением и при повышенных температурах, где деформации ползучести могут приводить к изменению геометрической формы трубы и снижению ее пропускной способности. Обеспечение высокой стойкости к ползучести позволяет использовать трубы в системах, работающих под постоянной нагрузкой, гарантируя сохранение их геометрической формы и функциональности в течение всего срока эксплуатации. Для достижения высокой стойкости к ползучести необходимо использовать материалы с высокой термостойкостью и низкой скоростью релаксации напряжений.

### Области применения стеклопластиковых труб

Актуальность применения стеклопластиковых труб, полученных методом непрерывной намотки, перед металлическими и железобетонными трубами определяют следующие основные преимущества:

- выдающаяся коррозионная стойкость – не подвержены ржавчине, электрохимической коррозии, устойчивы к широкому ряду химикатов;
- высокая удельная прочность (прочность/масса), поэтому снижаются затраты на транспортировку и монтаж;
- долговечность – срок службы более 50 лет при правильной эксплуатации;
- экологическая безопасность – инертность и отсутствие выделения вредных веществ.

Благодаря тем свойствам, которые присущи стеклопластику по сравнению с металлом или железобетоном, стеклопластиковые трубы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности.

Так, в нефтегазовой отрасли они обеспечивают надежную работоспособность при воздействии высоких давлений и агрессивных сред, применяются в наземных и подземных трубопроводах для сырой нефти, газового конденсата, пластовой воды, ингибиторов коррозии. Успешно используются для насосно-компрессорных труб в добывающих скважинах и технологических линиях на нефтеперерабатывающих заводах.

В жилищно-коммунальном хозяйстве стеклопластиковые трубы используются в магистральных и распределительных сетях холодного и горячего водоснабжения, в безнапорной и напорной канализации, ливневых стоках, в системах пожаротушения и мелиорации.

В отличие от металлических материалов, полимерные композиты, используемые в стеклопластиковых трубах, не подвержены электрохимической коррозии, так как не содержат свободных электронов, обеспечивающих протекание окислительно-восстановительных реакций на поверхности материала. Это устраняет необходимость в катодной защите и других методах предотвращения коррозии. Полимерная матрица композиционного материала химически инертна к большинству агрессивных сред:  $H_2S$  и  $CO_2$ , кислоты, щелочи, соли. Это обусловлено высокой химической стойкостью полимера и отсутствием металлических включений, которые могли бы подвергаться химической деградации. Данное свойство представляет существенное преимущество по сравнению с металлическими материалами.

Благодаря этому они применяются в химической промышленности при транспортировке концентрированных кислот ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HNO_3$ ), щелочей и солевых растворов; в энергетике и строительстве.

### Пористость и способ ее снижения методом вибрации

Несмотря на все достоинства стеклопластиковых труб и технологию непрерывной намотки, существует такая проблема, как пористость.

Повышенное значение объемной доли пор (пористости) в стеклопластиковых трубах – распространенная причина возникновения дефектов. Причины возникновения высокой пористости в стеклопластиковых трубах следующие:

- неполная пропитка плотных пучков волокон или хаотичного мата;
- захват воздуха между слоями нитей или на границе слоев с разным составом (особенно между структурным и наполненным песком слоями);
- испарение летучих компонентов связующего или усадка при полимеризации.

Поры являются концентраторами напряжений, снижая прочность (особенно межслойную и усталостную долговечность) на 20–50 %, ухудшают герметичность (риск протечек, диффузии газов), служат каналами для проникновения агрессивных сред, ускоряя деградацию материала. Наполненные песком слои особенно уязвимы из-за высокой вязкости смеси и сложности удаления воздуха.

Поры также могут являться причиной, приводящей к расслоениям (деламинации). Отслоение слоев друг от друга происходит из-за плохой адгезии, остаточных напряжений или технологических нарушений. При этом резко снижается прочность при сдвиге и стойкость к циклическим нагрузкам.

Неправильная ориентация волокон – отклонение от заданных углов укладки при намотке – ведет к анизотропии свойств и несоответствию проектным нагрузкам [18, 19].

Традиционные методы борьбы с пористостью при непрерывной намотке (оптимизация вязкости связующего, точный контроль натяжения и скорости, вакуумная обработка) имеют свои пределы эффективности и технологические сложности, особенно для наполненных слоев. Это создает предпосылки для поиска и разработки новых физических методов воздействия на процесс формования, таких как вибрационное воздействие на оправку.

### Заключения

Анализ научно-технических литературных данных однозначно свидетельствует о том, что стеклопластиковые трубы являются высокотехнологичным и востребованным продуктом, с помощью которого можно решать сложные инженерные задачи в жилищно-коммунальном хозяйстве и нефтегазовой промышленности благодаря уникальному сочетанию коррозионной стойкости, долговечности и гидравлической эффективности. Однако их широкое внедрение (особенно при наличии высокого давления и агрессивных сред) сдерживается ограничениями по жесткости, температурной стойкости и, что наиболее критично с технологической точки зрения, проблемой пористости и расслоения, возникающих в процессе изготовления, особенно в сложных многослойных структурах с наполнителями типа кварцевого песка.

Для снижения пористости в дальнейшем будет рассмотрена технология вибрационного воздействия на оправку, направленная на интенсификацию дегазации и уплотнения структуры на этапе пропитки и укладки слоев.

### Список источников

1. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36–39.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
3. Начаркина А.В., Валуева М.И., Зеленина И.В., Шошева А.Л. Высокотемпературные углепластики на основе бисмалеинимидных связующих // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 4 (77). С. 43–61. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 19.05.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-43-61.

4. Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6–7 (89). С. 29–37. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.04.2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
5. Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А. Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 2 (71). С. 122–144. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 03.04.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
6. Некрасов И.К., Абдуллин И.Ш., Сагитова Ф.Р. Повышение прочностных характеристик композиционного материала на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с помощью модификации плазмой высокочастотного емкостного разряда пониженного давления // Авиационные материалы и технологии. 2025. № 2 (79). С. 114–127. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 28.05.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-114-127.
7. Вешкин Е.А., Славин А.В., Постнова М.В., Апалькова А.В. Роль температурно-временных условий отверждения в формировании свойств однонаправленного и равнопрочного углепластиков // Авиационные материалы и технологии. 2025. № 2 (79). С. 59–71. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-59-71.
8. Киселев Б.А. Стеклопластики. М.: Госхимиздат, 1961. 240 с.
9. ГОСТ Р 53201–2023. Трубы и фитинги композитные полимерные с резьбовыми соединениями для напорных и безнапорных трубопроводов. Технические условия. М.: РСТ, 2023. 54 с.
10. ГОСТ Р 56277–2014. Трубы и фитинги композитные полимерные для внутрипромышленных трубопроводов. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2015. 39 с.
11. ГОСТ Р 55075–2012. Сегменты трубопроводов, изготовленные из композиционных материалов, предназначенные для открытой прокладки и ремонта систем водоснабжения и водоотведения. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2014. 28 с.
12. Гудыно М.Л. Применение стеклопластиковых труб на железных дорогах // Путь и путевое хозяйство. 2025. № 6. С. 19–21.
13. Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Гумеров А.Г. Промысловые трубопроводы и оборудование. М.: Недра, 2004. 662 с.
14. Стеклопластиковые трубы GRP Pipe Systems URL: <https://vks.engineering/pipesystems/stekloplastikovye-truby-grp> (дата обращения: 15.01.2025).
15. Аминов Л.А. Использование стеклопластиковых труб для совершенствования трубопроводной системы // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2022. № 1 (19). С. 201–206.
16. Стеклопластиковые трубы могут решить проблемы коммуникаций // Жилищное строительство. 2007. № 12. С. 18–20.
17. Аврасин Я.Д., Бородин М.Я., Киселев Б.А. Стеклопластики в авиастроении // Авиационная промышленность. 1982. № 8. С. 80–84.
18. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / под ред. академика А.А. Берлина. СПб.: Профессия, 2009. 560 с.
19. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2008. 822 с.

### References

1. Kablov E.N. Composites: Today and Tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
2. Kablov E.N. New-Generation Materials and Digital Technologies for Their Processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
3. Nacharkina A.V., Valueva M.I., Zelenina I.V., Shosheva A.L. High-temperature carbon fiber reinforced plastics based on bismaleinimide binders. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 4 (77), pp. 43–61. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: May 19, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-43-61.
4. Doriomedov M.S. Russian and world market of polymer composites (review). *Trudy VIAM*, 2020, no. 6–7 (89), pp. 29–37. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 03, 2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
5. Startsev V.O., Antipov V.V., Slavin A.V., Gorbovet M.A. Modern domestic polymer composite materials for aviation industry (review). *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), pp. 122–144. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 03, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.

6. Nekrasov I.K., Abdullin I.Sh., Sagitova F.R. Increase of strength characteristics of composite material on the basis of UHMWPE fabric by means of modification with CCP plasma of low-pressure discharge. *Aviation materials and technologies*, 2025, no. 2 (79), pp. 114–127. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: May 28, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-114-127.
7. Veshkin E.A., Slavin A.V., Postnova M.V., Apalkova A.V. The role of temperature-time curing conditions in the formation of unidirectional and equally strong carbon fiber plastics properties. *Aviation materials and technologies*, 2025, no. 2 (79), pp. 59–71. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 24, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-59-71.
8. Kiselev B.A. *Fiberglass*. Moscow: Goskhimizdat, 1961, 240 p.
9. State Standard R 53201–2023. *Composite polymer pipes and fittings with threaded connections for pressure and gravity pipelines. Specifications*. Moscow: RST, 2023, 54 p.
10. State Standard R 56277–2014. *Composite polymer pipes and fittings for in-field pipelines. Specifications*. Moscow: Standartinform, 2015, 39 p.
11. State Standard R 55075–2012. *Composite pipe segments intended for open installation and repair of water supply and sanitation systems. Specifications*. Moscow: Standartinform, 2014, 28 p.
12. Gudyno M.L. Use of Fiberglass Pipes on Railways. *Put i putevoye khozyaystvo*, 2025, no. 6, pp. 19–21.
13. Mustafin F.M., Bykov L.I., Gumerov A.G. *Field Pipes and Equipment*. Moscow: Nedra, 2004, 662 p.
14. *Fiberglass Pipes GRP Pipe Systems*. Available at: <https://vks.engineering/pipesystems/stekloplastikovye-truby-grp> (accessed: January 15, 2025).
15. Aminov L.A. Using fiberglass pipes to improve the pipeline system. *Aktualnye problemy voyenno-nauchnykh issledovaniy*, 2022, no. 1 (19), pp. 201–206.
16. Fiberglass pipes can solve communications problems. *Zhilishchnoye stroitelstvo*, 2007, no. 12, pp. 18–20.
17. Avrasin Ya.D., Borodin M.Ya., Kiselev B.A. Fiberglass in aircraft construction. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 1982, no. 8, pp. 80–84.
18. *Polymer composite materials: structure, properties, technology*. Ed. A.A. Berlin. St. Petersburg: Profession, 2009, 560 p.
19. Mikhailin Yu.A. *Structural polymer composite materials*. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2008, 822 p.

**Информация об авторах**

**Мельников Денис Александрович**, начальник лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Албагачиев Али Юсупович**, заведующий отделом, д.т.н., ИМАШ РАН, [info@imash.ru](mailto:info@imash.ru)

**Славин Андрей Вячеславович**, начальник Научно-исследовательского отделения, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Рыбин Александр Александрович**, ведущий инженер, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Хрульков Александр Владимирович**, ведущий инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Information about the authors**

**Denis A. Melnikov**, Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Ali Yu. Albagachiev**, Head of Department, Doctor of Sciences (Tech.), IMASH RAN, [info@imash.ru](mailto:info@imash.ru)

**Andrey V. Slavin**, Head of Scientific-Research Bureau, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Aleksandr A. Rybin**, Leading Engineer, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Aleksandr V. Khrulkov**, Leading Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 17.06.2026; одобрена и принята к публикации после рецензирования 18.06.2026.

The article was submitted 17.06.2026; approved and accepted for publication after reviewing 18.06.2026.