

АРМИРОВАННЫМ ТРУБАМ ДЛЯ ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НЕТ АЛЬТЕРНАТИВЫ



К вопросу о длительной прочности гибких армированных теплоизолированных труб ИЗОПРОФЛЕКС-А

Игорь Гвоздев, Владислав Коврига

В последнее время целый ряд крупных российских теплосетевых компаний начал перекадку своего парка тепловых разводящих сетей с использованием гибких армированных полимерных теплоизолированных труб. Вслед за Москвой к практике использования именно армированных гибких полимерных труб обратился и Санкт-Петербург. По примеру московской теплосетевой компании МОЭК петербургская компания «Петербургтеплоэнерго» запускает крупномасштабную программу по модернизации тепловых разводящих сетей с использованием этой современной технологии. Готовятся подобные программы и в других крупных городах в России и странах СНГ.

Естественно, что у технических служб таких серьезных заказчиков, какими являются теплосетевые компании, появляются вопросы о надежности гибких армированных полимерных труб и ресурсе их работы в конкретных условиях эксплуатации. Тем более, что

данные трубы позиционируются как трубы повышенной надежности.

Поводом для написания данной статьи явились, с одной стороны, накопленные репрезентативные результаты долговременных испытаний труб «Изопрофлекс-А», подтверждающие требуемые эксплуатационные свойства, с другой – большой опыт эксплуатации данных труб в реальных тепловых сетях с повышенной тепловой нагрузкой.

Конструкция трубы «Изопрофлекс-А»

Армирование труб высокопрочными материалами – стальной проволокой, лентой, стекловолокном или синтетическими нитями – преследует две основные цели: **увеличение прочности, обеспечивающей повышение рабочего давления трубопровода, или, при**

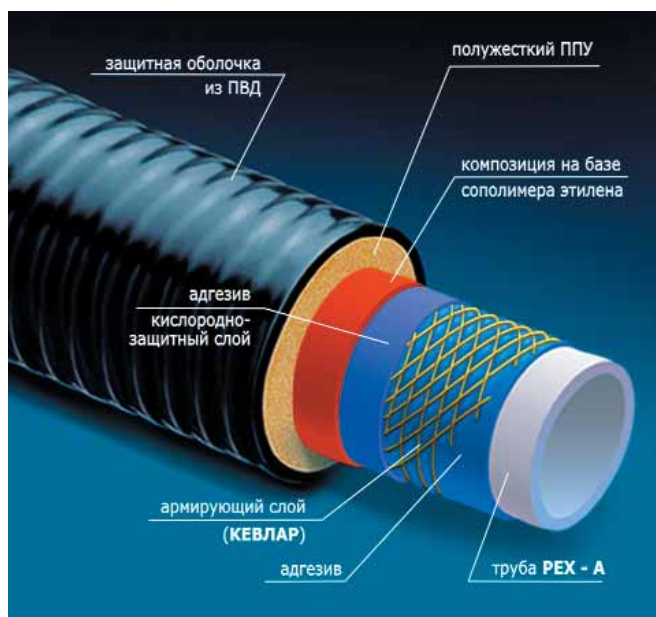


Рис. 1. Конструкция трубы «Изопрофлекс-А»

сохранении его эксплуатационных параметров (рабочее давление, температура эксплуатации), **увеличение срока службы трубопровода.**

Напомним, что армированная РЕХ труба, являющаяся напорной в трубах «Изопрофлекс-А», состоит из внутренней герметизирующей полимерной оболочки из сшитого полиэтилена, на внешнюю поверхность которой нанесен слой переплетенных армирующих нитей, расположенных под таким углом к оси трубы, который обеспечивает равнопрочность трубы в осевом и радиальном направлениях. Под армировку нанесен полимерный слой, обеспечивающий адгезию сшитого полиэтилена к армирующей сетке, а также, по требованию заказчика, кислородозащитный слой. Поверх армировки положен еще один полимерный слой, защищающий армирующую систему от механических повреждений и обеспечивающий монолитность конструкции.

Основы расчета длительной прочности армированных труб

Для трубопроводов из полимерных материалов требуемый уровень длительной прочности определяется с учетом временного фактора воздействия напряжений, возникающих от внутреннего давления и температуры. Существует стандартизованный в мировой практике метод определения рабочего давления по показателю длительной прочности материала трубопровода (MRS), определяемого в соответствии со стандартом ISO 9080 [1].

В этом случае временная зависимость прочности описывается уравнением вида:

$$\lg t = A + B/T + C \lg \sigma + D \lg \sigma / T,$$

где t – время эксплуатации (срок службы), ч;
 σ – напряжение, МПа;
 T – температура, К;
 A, B, C, D – коэффициенты.

Указанные коэффициенты нормированы международными (ISO) и европейскими (EN) стандартами для трубных марок полимеров (полиэтилена, полипропилена, полибутена, сшитого полиэтилена и других).

Технический комитет ISO TC 138 «Пластмассовые трубы, фитинги и вентили для транспортировки жидких и газообразных сред» наряду со стандартами в особых случаях, например, при острой потребности рынка, выпускает «Технические спецификации» (Technical Specification ISO/TS), являющиеся результатом работ технических экспертов, но не имеющие ранга стандарта. В этих документах излагаются технические требования, которые являются необходимыми в качестве основы для расчета эксплуатационных характеристик, а также методы и правила подтверждения их достоверности.

Таким документом является публикация ISO DTS 18226 [2], определяющая требования к армированным трубам из термопластов для работы под давлением. Положения этого документа положены в основу разработки армированных труб и приняты для оценки эксплуатационных характеристик и методов их контроля. Поскольку данный документ разработан на основе имеющегося опыта многих специалистов и прошел все стадии согласования, разработка труб с его использованием позволяет создать продукцию с надежно определенными эксплуатационными характеристиками, методами их контроля и статистически обоснованными значениями величин контрольных параметров.

Армированные трубы из термопластов по документу ISO DTS 18226 состоят из внутреннего слоя, изготовленного из термопласта (в том числе может быть использован и сшитый полиэтилен), с непрерывной армировкой, и наружного покрывного слоя из термопласта. В принципе, несущим нагрузку элементом этих труб является высокопрочный компонент в форме волокон, нитей, лент или проволоки. Армировка может быть как связана, так и не связана с внутренним и наружным слоями. Наружное покрытие предназначено для защиты от повреждений труб, в первую очередь, армирующих элементов, и других функций.

Основополагающим требованием этого документа, подтверждающим эксплуатационные характеристики труб, является нахождение зависимостей длительной прочности путем испытания труб на стойкость к внутреннему давлению на основе процедуры стандарта ISO 9080.

Регрессионная кривая зависимости давления от времени разрушения должна описываться уравнением вида:

$$P = F \cdot t_f^G,$$

где F и G – константы уравнения регрессии, при этом коэффициент G должен быть положительным.

Результаты испытаний используются для определения констант линии регрессии, давления длительной гидростатической прочности (LTHP), значения нижнего доверительного предела (LPL) и контрольных параметров испытания на стойкость к внутреннему давлению.

Очевидно, что при освоении производства и определении долговечности армированных труб необходимо идти по этому пути. Естественно, что для труб, эксплуатируемых при переменных, в том числе при повышенных температурах, зависимости длительной прочности должны быть получены при различных, как минимум трех, температурах.

Положения этого документа и были положены в основу расчета длительной прочности, эксплуатационных параметров и методов контроля труб «Изопрофлекс-А».

Результаты испытаний на длительную прочность

При расчете длительной прочности армирующей системы решалась задача **обеспечить необходимую прочность армированных труб, рассчитанных на давление 1,0 МПа, в условиях работы в системах горячего водоснабжения и теплоснабжения с переменной рабочей температурой до 95°C.**

Для определения эксплуатационных параметров изготовленных труб было необходимо провести долговременные испытания на стойкость к постоянному внутреннему давлению при различных температурах с целью нахождения **температурно-временной зависимости прочности.** Испытания проводились при температурах 20°C, 60°C и 95°C.

Указанные зависимости представлены на рис. 2 в полулогарифмических координатах, дающих представление о реальных значениях испытательного давления.

Наряду с результатами испытаний на графиках нанесены прямые зависимости длительной прочности труб из сшитого полиэтилена, взятые из стандартов

ISO 15875 [3] и пересчитанные на давление по обычной формуле:

$$P = 2\sigma / (SDR - 1)$$

Как видно из представленных на рис.2 результатов испытаний, принятая **конструкция армирующей системы полностью обеспечивает необходимую длительную прочность труб.**

Для расчета конкретных эксплуатационных характеристик армированных труб и сопоставления их с характеристиками труб из сшитого полиэтилена однослойной конструкции нами было рассчитано уравнение длительной прочности по нижней границе доверительного интервала с общепринятой вероятностью 97,5%, имеющее следующие коэффициенты:

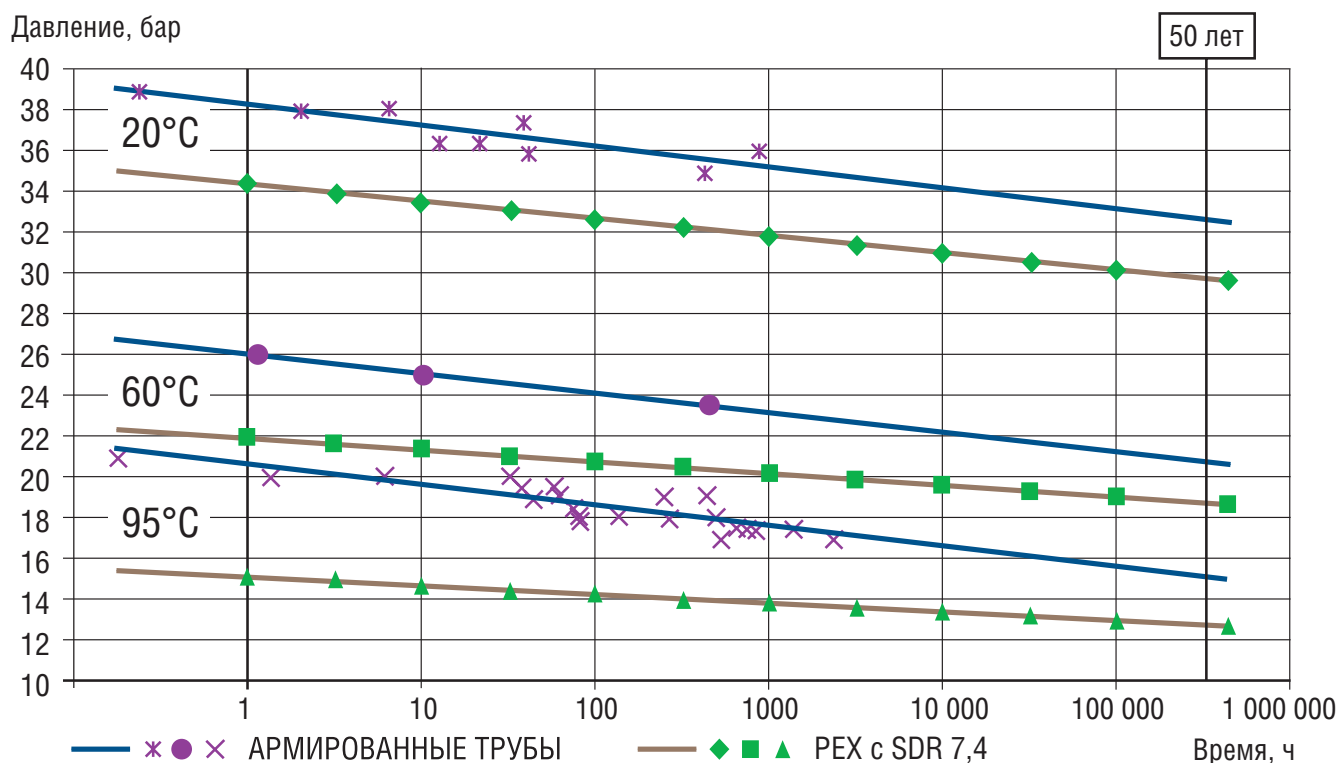
$$\lg P = 2,6599 - 0,0037 \cdot T + 0,031764 \cdot \lg \tau - 0,0001482 \cdot T \cdot \lg \tau,$$

где P – давление, бар;
T – температура, К;
τ – время, ч.

Указанное уравнение позволяет рассчитывать эксплуатационные параметры – давление и срок службы – не только при постоянной температуре, но и для переменных температур при заданных или реальных сроках их воздействия, используя «Правило Майнера», сформулированное в стандарте ISO 13760 [4].

Были проведены расчеты для постоянной температуры эксплуатации (горячее водоснабжение) и двух режимов эксплуатации с переменной температурой (теплоснабжение). В первом случае – для режима, со-

Рис. 2. Временная зависимость прочности труб «Изопрофлекс-А» по данным испытаний



ответствующего Классу 5 по ISO 10508 [5], и во втором – для реального режима теплоснабжения в Московском регионе (см. приложение), с числом дней с той или иной среднесуточной температурой, усредненным за три года. Полученные данные по рабочим давлениям при сроке службы 50 лет, в сопоставлении с данными для труб из PEX SDR 7,4, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рабочее давление для различных условий эксплуатации при сроке службы 50 лет, бар

Тип труб	Горячее водоснабжение 75°С	Теплоснабжение		
		Класс 5 по ISO 10508	Моск. регион	Пост. темп. 90°С
Армированные (D ≤160 мм)	12,8	11,9	11,4	10,4
PEX SDR 7,4 (D ≤63 мм)	10,5	10,2	9,4	8,9

Как видно из представленных в таблице результатов, трубы с армирующим слоем не только соответствуют требуемым условиям эксплуатации трубопроводов горячего водоснабжения и теплоснабжения, но и по запасу прочности существенно превосходят трубы из сшитого полиэтилена с SDR 7,4.

Так, например, если для труб из сшитого полиэтилена, эксплуатируемых в горячем водоснабжении при давлении 10 бар, коэффициент запаса прочности составляет **1,53**, то для армированных труб коэффициент запаса прочности равен **1,78**. Расчет с использованием экспериментальных зависимостей для

теплой прочности показывает, что изготавливаемые трубы этой конструкции могут быть использованы и в более жестких условиях теплоснабжения по сравнению с Московским регионом. Наверное, для российских условий эксплуатации тепловых сетей целесообразно было бы ввести класс 6 (а может быть, и 7) в терминах ISO 10508, поскольку во многих регионах России среднегодовые температуры вместе с недостаточной теплоизоляцией зданий приводят к необходимости значительно более жестких тепловых режимов, чем принято в Европе.

Следует, однако, отметить, что сравнения с толстостенными трубами PEX SDR 7,4 корректно проводить только для труб с диаметрами до 63 мм, поскольку трубы с большими диаметрами на сетях с тепловыми нагрузками не применяются [6].

Испытания соединений

Надежность работы трубопровода в значительной мере определяется принятой конструкцией узлов соединения, включающих трубу и соединительную деталь (фитинг).

Естественно, что способ соединения новых конструкций армированных труб должен подвергаться контролю, гарантирующему работоспособность трубопровода.

Технические требования и методы испытаний соединений труб, предназначенных для горячего водоснабжения и теплоснабжения, определены рядом стандартов, например, EN ISO 15875 «Трубопроводы для горячего и холодного водоснабжения – Сшитый полиэтилен».

Помимо общепринятого испытания на стойкость соединений к внутреннему давлению, вышеназван-





Игорь Васильевич Гвоздев

Лауреат премии Совета Министров СССР и затем правительства России Игорь Васильевич Гвоздев начал работу над полимерными трубами сразу после окончания Чешского высшего технического училища в Праге в 1965 г. (чешский аналог МВТУ им. Баумана в Москве) в отделе пластмассовых труб НИИ Сантехники. В 1969 г. этот отдел был переведен в НПО «Пластик» Минхимпрома СССР. И.В.Гвоздев занимал должности начальника лаборатории контроля качества сырья и труб и технологии пластмассовых труб. Им совместно со специалистами НПО «Пластполимер» и НИИ Полимеров им.Каргина разрабатывались требования к трубным маркам полиэтилена и поливинилхлорида, методы оценки труб и аттестации трубных производств. Принимал активное участие в работе по пуску трубных производств из полиэтилена на заводах «Казаньоргсинтез», Вильнюсском заводе пластмассовых изделий, Олайнском заводе по переработке пластмасс, Борисовском заводе пластмассовых изделий, Джизакском заводе пластмасс, заводе «Сибгазппарат» (г.Тюмень), заводах ПВХ труб в НПО «Пластик», ПО «Корунд», (г.Дзержинск) и Броварском заводе пластмасс (Украина).

ный стандарт предусматривает **обязательные испытания на стойкость к циклически изменяющемуся давлению и циклическому воздействию переменной температуры воды**, прокачиваемой под давлением через образец. Суть этих испытаний, которые достаточно полно имитируют условия эксплуатации трубопровода, заключается в следующем.

При циклически изменяющемся давлении образец узла соединения, состоящий из труб и одной или нескольких соединительных деталей, подвергается переменному давлению воды, синусоидально меняющемуся от минимального до максимального значения. Значения давлений зависят от рабочего давления трубопровода и, например, для давления 1,0 МПа составляют: минимальное – 0,05 МПа, максимальное – 1,5 МПа. Частота циклов – 30 ± 5 в минуту. Испытания проводятся при нормальной температуре.



Рис. 3. Стенд для термоциклических испытаний

Общее число циклов, которые образец должен выдержать без потери герметичности, равно 10 000. Испытание, в определенной степени, моделирует эффект непрерывных гидроударов на системе труба-фитинг в течение почти 6 часов.

Для испытания под воздействием переменной температуры транспортируемой среды собирается образец общей длиной порядка 6-7 метров, включающий отрезки труб с 20 соединительными деталями различных типов (концевые детали, муфты, отводы и др.). Форма образца испытываемых соединений в зависимости от вида трубы задается требованиями стандарта. Перед испытанием одна ветвь образца нагружается растягивающим усилием, создающим в стенке трубы напряжение 1,8 МПа. Достигнутое удлинение ветви фиксируется путем закрепления крайней на ветви соединительной детали. Через образец прокачивается вода под давлением, равным максимальному рабочему давлению трубопровода. Температура воды меняется от минимальной, равной $20 \pm 5^\circ\text{C}$, до максимальной рабочей температуры (в случае испытания труб, предназначенных для теплоснабжения, температура равна 95°C). Время прокачки воды при каждой температуре составляет $(15+1)$ минут. Полное время цикла – $(30+2)$ минут. Во время каждого цикла разница температур на входе и выходе образца не должна превышать 5°C , что достигается установкой скорости движения воды через образец.

Общее число циклов, которые образец должен выдержать без потери герметичности, равно 5000. Длительность испытания – 2500 часов.

Высокая точность автоматического поддержания параметров испытаний, длительность испытаний при температурных циклах требуют использования специального надежного оборудования.

Испытательная лаборатория ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт» – единственная в России, имеющая оборудование для проведения всего комплекса вышеописанных испытаний. Она оснащена двумя стендами, изготовленными фирмой Institut fur Pruftechnik Geratebau, Германия, – ведущей компанией в области производства оборудования для испытаний пластмасс и изделий из них, в том числе труб.

Проведенные Испытательной лабораторией ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт» испытания показали **полное соответствие требованиям нормативной документации и стандартам ISO** соединений «Труб напорных из сшитого полиэтилена «ДЖИ-ПЕКС», выпускаемых по ТУ 2240-022-4027093-2005, типа «Изопрофлекс А», выпускаемых по ТУ 2240-025-4027093-2004, с соединительными деталями собственной запатентованной конструкции, выпускаемыми по ТУ 3712-043-00217969-2003.

Указанные требования и методы испытаний введены в нормативную документацию на трубы «Изопрофлекс А» и предусмотрены в «Области аккредитации» Испытательной лаборатории ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт».

Дополнительные преимущества конструкции армированных труб

Помимо увеличения прочностных показателей труб, армирование позволяет уменьшить толщину их внутренней оболочки из сшитого полиэтилена. Расчет, основанный на разнице модулей армирующей системы и внутреннего слоя армированной трубы из сшитого полиэтилена, показывает, что при принятых толщинах стенок внутреннего слоя от 2,5 до 6 мм для диаметров от 50 до 160 мм напряжение в стенке внутренней оболочки не превышает 1,8 МПа. Работа внутренней оболочки под таким напряжением практически не имеет временного ограничения даже при максимальной температуре эксплуатации.

Указанные величины толщин стенок имеют следующие преимущества перед толщинами стенок для труб аналогичных диаметров с SDR 7,4 (от 7 до 22 мм):

- во-первых, для армированных труб на 10 бар сохраняются внутренний диаметр и, соответственно, пропускная способность, характерные для тонкостенных труб с SDR 11 (6 бар);
- во-вторых, надежно обеспечивается равномерность степени сшивки по толщине стенки внутренней оболочки, ответственная за стойкость труб к повышенной температуре эксплуатации;
- в-третьих, увеличивается ресурс по стойкости трубы к возникновению и распространению трещин в связи со снижением уровня напряжений в тонкостенном РЕХ слое армированной трубы.



Владислав Витальевич Коврига

В 1958 г. окончил Московский институт тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова.

Кандидат химических наук (1963 г.), доктор технических наук (1974 г., физика и механика полимеров), профессор (1976 г., технология полимеров).

1963-1971 гг. – начальник физико-механической лаборатории Научно-исследовательского Института пластических масс.

1968-1980 гг. – представитель СССР в Техническом комитете 61 «Пластмассы» Международной организации по стандартизации.

1971-1981 гг. – заместитель директора по научной работе Научно-исследовательского института пластических масс.

1982-1986 гг. – генеральный директор научно-производственного объединения «Норпласт», директор Всесоюзного Научно-исследовательского Института композиционных (наполненных) полимерных материалов.

1986-1988 гг. – заместитель генерального директора по научной работе НИИ Пластмасс НПО «Пластмассы».

1988-1993 гг. – генеральный директор НИИ Пластмасс им. Г.С.Петрова.

1994 – н. в. – директор по науке и развитию ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт», Группа ПОЛИПЛАСТИК, главный редактор журнала «Пластические массы».

В заключение, необходимо отметить, что использование толстостенных труб из сшитого полиэтилена с SDR 7,4 и диаметром до 110 мм, которые предлагаются некоторыми отечественными организациями, в тепловых сетях с параметрами 1,0 МПа и 95°C на практике не рекомендуется. Даже у такого уважаемого производителя, как фирма Rehau, толстостенные (SDR 7,4) трубы РЕХ с диаметрами 75-110 мм в каталогах просто отсутствуют и выпускаются компанией только по специальному заказу, в частности, для транспортировки агрессивных жидкостей без тепловых нагрузок [8]. Эти трубы выпускаются строго без кислородозащитного слоя, чтобы не допустить их приме-

нения для транспортировки теплоносителя. Компания Rehau не несет ответственности за использование данных труб в условиях тепловых нагрузок, не соответствующих их техническим условиям.

На основании всех приведенных данных следует признать, что гибким армированным теплоизолированным трубам на сегодняшний день нет альтернативы при использовании неметаллических труб на тепловых разводящих сетях с параметрами 1,0 МПа и 95°C. Гибкие теплоизолированные трубы «Изопрофлекс-А», разработанные в России специально для тепловых сетей крупных российских городов, значительно превосходят зарубежные и отечественные аналоги, использующие традиционную РЕХ трубу, как по техническим параметрам, так и по надежности. Эти преимущества подтверждают и расчеты, и результаты долговременных испытаний, проведенных по методикам, утвержденным европейскими стандартами.

Литература

1. ISO 9080:2003 Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation.
2. ISO DTS 18226 Reinforced thermoplastic piping systems for gaseous fuels.
3. ISO 15875 Plastics piping systems for hot and cold water installations -- Crosslinked polyethylene (PE-X)
4. ISO 13760:1998 Plastics pipes for the conveyance of fluids under pressure – Miner's rule – Calculation method for cumulative damage.
5. ISO 10508:2006 Plastics piping systems for hot and cold water installations – Guidance for classification and design



6. Rehau. Техническое описание: Трубопроводная система RAUTHERMEX для сетей теплоснабжения.
7. Rehau. Техническое описание: Система трубопроводов для промышленности RAUPEX.
8. Rehau. Техническое описание: Система промышленных трубопроводов RAUPEX.

