

Экспериментальное исследование технологии теплоизоляции трубопроводов монолитным пенобетоном

Аспирант И.А. Лундышев*,

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Технология использования монолитного пенобетона при воздушной прокладке теплопроводов, разработанная в нашей стране, позволяет значительно понизить стоимость и улучшить теплофизические показатели теплоизоляции трубопроводов, а также продвигаться вперёд в рамках федеральной программы, направленной на энергоэффективность и экономию энергоресурсов.

Поскольку данная технология утепления теплопроводов является относительно новой, то после предварительных расчётов и перед массовым использованием группой ученых и инженеров, в состав которой входил автор статьи, под руководством д.т.н. Васильева В.Д. в 2007-2008 году были проведены натурные эксперименты. Согласно предлагаемой технологии, на изолируемой трубе устанавливаются центраторы, на которых монтируется съёмная или несъёмная опалубка. Торцы уплотняются, и через технологические отверстия в опалубке заливается монолитный пенобетон.

Методика заключалась в выполнении теплоизоляции конечных линейных и изогнутых участков трубопровода монолитным пенобетоном различной плотности с использованием различных материалов несъёмной опалубки и различных материалов центраторов. При этом оценивалось удобство выполнения теплоизоляции, вандалоустойчивость опалубки и её прочностные качества.

Для данной серии экспериментов были взяты изогнутые и линейные участки трубопровода диаметром 525 мм.

Центраторы

Согласно произведённым расчётам, необходимая толщина теплоизоляции из монолитного пенобетона D200 для условий Санкт-Петербурга составляет 70 мм. При этом необходимо сохранить равную толщину теплоизоляции. С этой целью были использованы центраторы, задачей которых является удерживание несъёмной опалубки на одном расстоянии и придание всей конструкции жёсткости. Основные требования к центраторам – это достаточная прочность, технологичность использования. Вторичными требованиями к центраторам являются влагостойкость и возможность выдерживать большие температуры – для использования в трубопроводах с большими температурами теплоносителя. Были выбраны следующие материалы и конструкции центраторов.

- Пенобетонные скорлупы – толщиной под требуемую толщину теплоизоляции, шириной 300 мм и 500 мм. Изготовление таких скорлуп проходило в цеховых условиях, в специально изготовленных формах в виде двух полуцилиндров. Скорлупы изготавливались из пенобетона плотности 200 кг/м^3 , а также плотности 300 кг/м^3 . Изготовленные скорлупы соединялись прямо на отрезке трубопровода и скреплялись монтажной лентой. Дистанция между центраторами составляла 1 м, 1,5 м и 2 м. Основаниями для выбора таких центраторов были однородность получаемой теплоизоляции, дешевизна материала, великолепные огнестойкие свойства. Опасения вызывали трудоёмкость крепления и размеры центраторов, при которых возможны были пустоты в теплоизоляционном слое, а также прочностные качества центраторов.

- Диски из СЦП – толщиной под требуемую толщину теплоизоляции, шириной в 40 мм и 50 мм. Диски изготавливались с помощью лекала прямо на стройплощадке и представляли собой два полукруга с креплением между ними прямо на отрезке трубопровода с помощью накладных пластин и шурупов. Дистанция между центраторами составляла 0,5 м, 1 м, 1,5 м и 2 м. Основаниями выбора центраторов такого типа были простота изготовления, дешевизна материала, отсутствие значительных мостиков холода. Опасения вызывали долговечность стружек в составе СЦП, возможность перекоса при установке, дороговизна крепления.

- Дутые ПВХ-изделия (рис. 1) толщиной под требуемую толщину теплоизоляции, шириной 50 мм, 100 мм и 150 мм.

Изготовление изделий проходило в цеховых условиях, в специально изготовленных формах, в виде конечных элементов (рис. 2), которые способны складываться и соединяться в линию с помощью замкового соединения, вылитого при изготовлении элемента. Подобная линия может меняться в определённых пределах, в зависимости от толщины утепляемого трубопровода.

Заранее подготовленные ленты соединялись на отрезке трубопровода и скреплялись защёлкиванием замкового элемента. Дистанция между центраторами составляла 0,5 м, 1 м, 1,5 м и 2 м. Основаниями для выбора таких центраторов были высокая технологичность подобных центраторов, дешевизна цехового

изготовления при больших объемах, простота и надёжность монтажа. Опасения вызывали невысокая термостойкость материала и возможность деформации при больших периодических термических нагрузках.

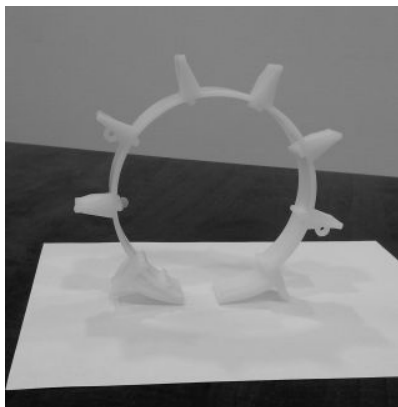


Рисунок 1. Дутое ПВХ-изделие

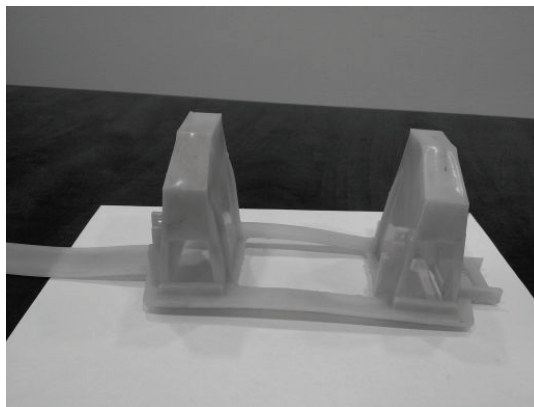


Рисунок 2. Замковое соединение ПВХ-элементов



Рисунок 3. Центратор из оцинкованной стали

▪ Центраторы из оцинкованной стали (с толщиной листа, равной 0,5 мм (см. Рисунок 3)), толщиной под требуемую толщину теплоизоляции, шириной 50 мм и 100 мм, изготавливались в цеховых условиях при помощи гибочного станка и сварки в виде конечных несомкнутых центраторов. Заранее подготовленные центраторы устанавливались на отрезке трубопровода и либо прокатывались прокатной машинкой, либо соединялись саморезами, либо соединялись сваркой. Дистанция между центраторами составляла 0,5 м, 1 м, 1,5 м и 2 м.

Основаниями для выбора таких центраторов были высокая технологичность подобных центраторов, большая термостойкость центратора, существование подобных технологических изделий в воздухопроводной промышленности и возможность заказа больших партий центраторов при минимальном изменении существующих технологических линий, простота и надёжность монтажа. Опасения вызывала относительно высокая стоимость, а также возможные мостики холода.

Опалубки

Задачей опалубки является удержание формы заливаемого пенобетона и, в случае с несъёмной опалубкой, защита пенобетона от различных внешних воздействий.

Были предложены варианты как съёмной, так и несъёмной опалубки. В случае со съёмной опалубкой обязательно использовалось защитное покрытие, наносимое поверх пенобетона. Для экспериментов были выбраны следующие виды и конструкции опалубок.

1. Листы ППУ – использовались в качестве съёмной опалубки. Они наматывались поверх центраторов и скреплялись монтажными лентами. Затем в опалубке проделывались технологические отверстия и происходила заливка монолитного пенобетона. После застывания пенобетона опалубка снималась, чему способствовала малая адгезия опалубки и пенобетона. Пенобетон промазывался праймером, затем покрывался фольгированным покрытием. Основания для выбора такой опалубки были простота монтажа и низкая стоимость такого решения. Опасения вызывали возможность деформации опалубки после заливки, сложность прохода изогнутых участков трубопровода.

2. Слоеная конструкция из рубероида и металлической сетки – использовалась в качестве несъёмной опалубки. Поверх центраторов в один слой наматывалась и соединялась мелкочаеистая металлическая сетка с размером ячейки 10*10 мм, 20*20 мм. После крепления металлической сетки к центраторам поверх сетки раскатывался и скреплялся нагревом слой рубероидного покрытия. После затвердевания покрытия в нём прорезались технологические отверстия и происходила заливка монолитного пенобетона. После заливки технологические отверстия затирались паропроницаемым материалом, и труба была готова к эксплуатации. Основаниями для выбора такой опалубки были прочность конструкции и низкая стоимость такого решения. Опасения вызывало обилие технологических операций и связанный с этим низкий темп работы.

3. Опалубка из экструдированного полиэтилена – использовалась в качестве несъёмной опалубки. Приготовленная в заводских условиях труба из экструдированного полиэтилена, длиной 5 м, разрезалась вдоль, раздвигалась и надевалась поверх центраторов. После этого края трубы сваривались, прорезались технологические отверстия и происходила заливка монолитного пенобетона. После заливки технологические отверстия затирались паропроницаемым материалом, и труба была готова к эксплуатации. Основанием для выбора такой опалубки была простота и быстрота монтажа опалубки. Опасения вызывали необходимость прикрывать полиэтилен от воздействия солнечных лучей, возможность деформации опалубки, сложность решения поворотов и сильфонов.

4. Опалубка из оцинкованной стали – использовалась в качестве несъемной опалубки. Приготовленные в цеховых условиях с помощью гибочного оборудования элементы опалубки длиной 1 м, 1,5 м и 2 м, разомкнутые с одной стороны, привозились к месту утепления трубопровода, собирались поверх центраторов и крепились к центраторам, затем опалубка завальцовывалась по длине, соединялась и скреплялась завальцовыванием или замковым соединением. После этого прорезались технологические отверстия и происходила заливка монолитного пенобетона. После заливки технологические отверстия затирались паропроницаемым материалом и труба была готова к эксплуатации. Основания для выбора такой опалубки была простота и быстрота монтажа, а также простота изготовления сгонов и угловых элементов. Опасения вызывала стоимость опалубки и привлекательность для вандалов.

Все вышеупомянутые конструкции были выполнены в натуральную величину, длина каждого макета составляла 6 метров. Внешний вид макетов представлен на рис. 4 и 5.



Рисунок 4. Макет линейного участка трубопровода



Рисунок 5. Макет углового участка трубопровода

После заполнения конструкций монолитным пенобетоном съемный вариант опалубки был снят на одном макете через 16 часов, на другом макете через 30 часов. После чего оба макета были обмазаны праймером и закрыты защитным слоем фольгированного материала и пергамина, соответственно.

Все макеты находились на открытом воздухе, на опытной базе в Ленинградской области. Выдерживание пенобетона продолжалось 28 дней, после чего был произведен визуальный осмотр макетов, взяты образцы пенобетона для определения его прочностных и водонасыщенных характеристик, была приложена нагрузка на внешнюю опалубку. Наблюдения за макетами продолжались 180 дней. После этого макеты были вскрыты для осмотра состояния центраторов и пенобетона.

Результаты экспериментов

Результаты экспериментов представляют собой достаточно обширный материал, поэтому в рамках статьи приходится ограничиться обобщенным изложением полученных результатов:

Таблица 1. Центраторы

Наименование материала	Результат
Скорлупы из ПБ	Высокая трудоёмкость установки и прогиб некоторых видов опалубки до 50 мм при расположении центраторов реже чем на 1,0 м, сложность заполнения пенобетоном опалубки
Диск из СЦП	Удовлетворительная трудоёмкость установки и общая стоимость, обеспечивается достаточная жёсткость конструкции
Дутые ПВХ-изделия	Быстрая и технологичная установка, достаточная жёсткость
Оцинкованная сталь	Быстрая и технологичная установка, хорошая жёсткость конструкции

Таблица 2. Опалубки

Наименование материала	Результат
Листы ППУ	Неровность поверхности, деформации до 60 мм, очень сложное прохождение угловых элементов трубопровода.
Конструкция из металлической сетки и рубероида	Быстрая и технологичная установка опалубки, Прекрасные антивандальные качества
Экструзированный полиэтилен	Большая сложность и трудоемкость установки опалубки при реконструкции уже существующих теплопроводов, очень сложное решение по прохождению угловых элементов
Оцинкованная сталь	Быстрая и технологически простая установка опалубки, однако есть основания считать, что данный вид опалубки может применяться только там, где нет опасности вандализма

Полные отчёты и результаты экспериментов находятся у автора статьи и д.т.н. Васильева В.Д.

Выводы

Данная серия экспериментов являлась и является далеко не последними экспериментами в данной области. Однако по их результатам были выявлены следующие, наиболее востребованные сочетания опалубок и центраторов.

- Сочетание стальных центраторов и стальной опалубки даёт наилучшие защитные функции, значительный срок службы, очень быстро и технологически легко собирается на трубопроводе, подходит как для реконструкции, так и для возведения новых теплопроводов. Кроме того, данный вариант опалубки имеет эстетичный вид во время всего срока службы. Опасения по поводу значительного влияния возможных мостиков холода по центраторам были опровергнуты во время дальнейших серий опытных заливок на действующих трубопроводах. К недостаткам данного сочетания можно отнести несколько большую, по сравнению с альтернативами, стоимость и, согласно замечаниям ОАО «Иркутскэнерго», большой интерес к материалу опалубки со стороны вандалов, что делает невозможным использование данной опалубки в условиях неохраваемой тайги.

- Сочетание стальных центраторов и конструкции из металлической сетки и рубероида даёт хорошие защитные функции, значительный срок службы, достаточно быстро устанавливается на трубопроводе, подходит как для реконструкции, так и для возведения новых теплопроводов. Имеет несколько меньшую стоимость, нежели вариант с использованием стальной опалубки. Не интересует вандалов. К недостаткам можно отнести неэстетичный вид конструкции.

Конструкции с центраторами из дуговых ПВХ-изделий не могут эксплуатироваться в теплотрассах и паропроводах, но могут найти своё применение при теплоизоляции теплопроводов с температурой рабочего тела не более 50°C.

Конструкции с центраторами из СЦП дисков показали себя хорошо в процессе экспериментов, и в процессе дальнейшего наблюдения в течение 180 суток не было выявлено изменений геометрии центраторов, появления гнили и плесени. Однако поскольку существуют опасения, что при периодических изменениях температуры в условиях реального теплопровода такие явления возможны, то конструкция с дисками из СЦП не применялась в дальнейших опытных заливках, данных по поведению таких конструкций нет, а направление нуждается в дальнейшем развитии.

Описанная серия экспериментов была одной из первых, после которой начались опытные работы на действующих теплопроводах, а затем, после написания всей требуемой технической документации, и полномасштабное внедрение данной технологии.

Литература

1. СТО-005-50845180-2007 «Теплоизоляция трубопроводов и оборудования неавтоклавным монолитным пенобетоном «СОВБИ» Москва, 2008 г.
2. Типовые решения прокладки трубопроводов тепловых сетей в изоляции из пенобетона «СОВБИ». Конструкции и детали. 313.ТС-0015.000.01 Москва 2008 г.

**Игорь Андреевич Лундышев, Санкт-Петербург
Тел. раб.: +7(812)275-46-92; эл. почта: iglundyshev@yandex.ru*