



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ППМ-ИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ. *Влагоперенос*

Тепловые сети при подземной прокладке часто подвергаются частичному или полному затоплению грунтовыми и паводковыми водами. При плохой гидроизоляции стальной трубы и фасонных изделий, ее отсутствии или повреждении процессы коррозии быстро разрушают тепловые сети. ППМ-изоляция может выполнять функции не только тепловой защиты, но и защиты от проникновения воды и влаги к стальной трубе, то есть функции гидроизоляции. В данной статье представлены результаты исследования по изучению воздействия воды на свойства ППМ-изоляции.

Задачи исследования

Задачами исследования являются изучение свойств ППМ-изоляции, характера их изменения в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации подземных теплопроводов, и определение долговечности и нормативного срока эксплуатации труб в ППМ-изоляции.

Работу подземных теплопроводов в течение года можно условно представить как циклический процесс. Годовой цикл делится на три периода:

- 1) период выключенного теплопровода и увлажнения ППМ-изоляции,
- 2) период разогрева теплопровода и высыхания ППМ-изоляции,
- 3) период работы теплопровода в стационарном режиме и постоянной влажности ППМ-изоляции.

В статье представлены результаты изучения параметров водопоглощения в первом периоде. Этот период соответствует времени, когда теплопровод находится в «холодном» состоянии,

например: во время ремонта или отсутствия тепловой отопительной нагрузки. Для создания наиболее жестких условий эксплуатации предполагается, что этот период совпадает с подъемом уровня воды и затоплением тепловой сети. Была поставлена задача по определению характера водопоглощения ППМ-изоляции при длительном пребывании непосредственно в воде. Для этого необходимо определить преобладающий механизм водопоглощения материала и исследовать глубину увлажнения ППМ-изоляции в условиях воздействия только одного фактора – воды в жидком состоянии. А также зависимость величины водопоглощения ППМ-изоляции в поставленных условиях от общей плотности материала.

Особенностью данного исследования является то, что изучение процессов проводится на образцах – трубах в ППМ-изоляции, полученных промышленным методом на действующем производстве. ППМ-изоляция на изделиях имеет значительно больший объем, чем лабораторные образцы-спутники.

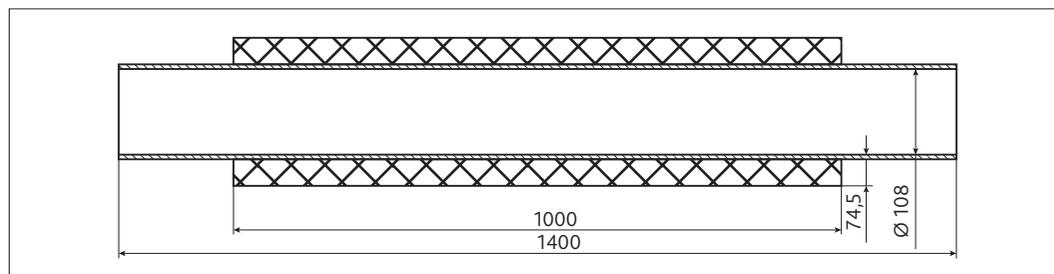


Рис. 1. Образец стальной трубы для исследования

№ трубы	Масса труб $M_{тр}$, кг	Масса общая $M_{общ}$, кг	Масса ППМИ $M_{ппми}$, кг	Диаметр трубы $D_{тр}$, мм	Толщина изоляции $\delta_{из}$, мм	Длина ППМИ $L_{ппми}$, м	Плотность изоляции $\rho_{из}$, кг/м ³	Погрешность измерения Δ , кг/м ³
1	12,82	25,81	12,99	108	74,5	1,10	277	±6
2	12,61	24,2	11,59	108	74,5	1,00	271	±7
4	12,66	22,87	10,21	108	74,5	1,02	234	±6
5	14,16	22,72	8,56	108	74,5	1,10	182	±4

Теоретические основы водопоглощения ППМ-изоляции

Водопоглощение ППМ-изоляции, как и любого другого капиллярно-пористого тела, определяется его структурой. Материал ППМ-изоляции относится к закрытопористым жестким пенополиуретанам. Степень закрытых пор – 99%. Это означает, что поры не сообщаются между собой.

Принято различать три формы связи влаги с материалами по энергетическому принципу: химическая, физико-химическая и физико-механическая. Химически связанная влага удерживается веществом и в большинстве случаев при тепловой сушке не удаляется из влажных материалов. Физико-химически связанная влага удерживается на внутренней поверхности пор адсорбционными силами. Ее количество зависит от пористости материала и внешних условий. Физико-механически связанная влага – это жидкая фаза, находящаяся в крупных капиллярах, а также влага смачивания, которую принимает тело при непосредственном контакте с жидкостью. Соответственно, увеличение влагосодержания капиллярно-пористых тел может происходить за счет увеличения сорбционной влажности и капиллярного подсоса.

Предполагается, что химически связанная влага в структуре ППМ-изоляции отсутствует, так как вся вода, присутствующая в системе компонентов и в наполнителе, расходуется в результате химической реакции между полиолом и полиизоцианатом.

Поскольку поры ППМ-изоляции малы и не сообщаются между собой, а верхний слой очень плотный и практически представляет собой непористое твердое тело, то процесс увлажнения ППМ-изоляции за счет сорбции крайне затруднен и происходит очень медленно.

Увлажнение за счет капиллярного подсоса и смачивания поверхности происходит только при непосредственном контакте с водой.

Перемещение влаги в виде пара и воды в капиллярно-пористых телах возникает в результате влагопереноса и тепловлагопереноса.

Методика и порядок проведения испытаний

Для исследования использовали образцы в виде стальных труб диаметром 108 мм с нанесенной на них ППМ-изоляцией толщиной 74,5 мм (рис. 1). ППМ-изоляция наносилась в заводских условиях при помощи АЗМ высокого давления. Для испытаний были использованы четыре образца с длиной изоляции 1000 мм и имеющие различную плотность ППМ – от 200 до 305 кг/м³ (фиксировалась общая плотность по ГОСТ Р 56227–2014). Начальные параметры образцов указаны в таблице.

При проведении испытания было использовано следующее оборудование: шкаф сушильный СНОЛ-3,5, пригруз, емкость с водой, дисковая или ленточная пила, фильтровальная бумага, а также следующие средства измерения и контроля: весы лабораторные ВК-600 с точностью до 0,1 г, весы

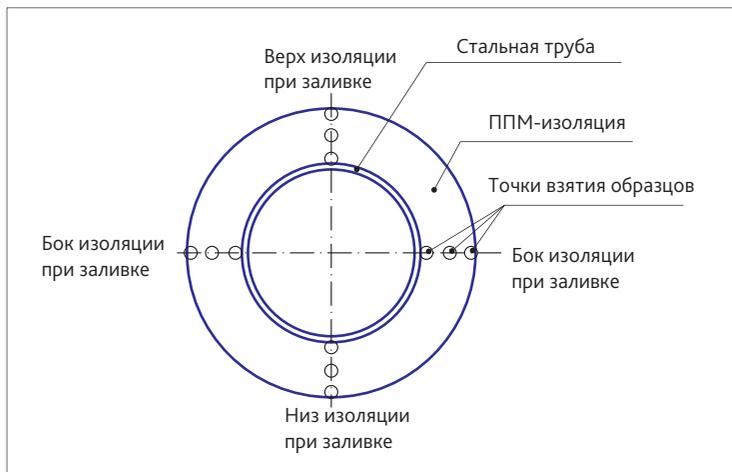


Рис. 2. Схема выборки образцов

электронные 0–60 кг с точностью 0,1 кг, рулетка измерительная Р2НЗП.

Предварительно, перед испытаниями, определяли исходное влагосодержание ППМ-изоляции. Определение исходного влагосодержания и водопоглощения ППМ-изоляции проводилось по ГОСТ 17177–94 на образцах в форме куба или параллелограмма, вырезанных из слоя ППМ-изоляции исходных труб-образцов. Образцы ППМ-изоляции брались в трех точках по радиусу и в четырех точках по диаметру изоляции. Схема выборки образцов представлена на рис. 2. Участок со снятой изоляцией заделывали в соответствии с инструкцией [2], выдерживали 24 ч и снова помещали в емкость с водой.

Терминология

Водопоглощение ячеистых тел по объему: отношение объема влаги поглощенного телом за определенный промежуток времени (обычно 24 ч) при полном или частичном погружении в воду к объему самого тела или отношение массы влаги, поглощенной телом за определенный промежуток времени, к массе абсолютно сухого тела.

Влажность твердого тела: отношение массы влаги к массе влажного тела [1].

Влагосодержание твердого тела: отношение массы влаги к массе абсолютно сухого тела [1].

Образцы-спутники: образцы для испытаний, получаемые в лабораторных формах из того же сырья и материалов и с теми же физико-механическими параметрами, что и основная партия продукции.

Этапы испытания

1. Подготовленные образцы-трубы были погружены в емкость с водой при температуре 18 ± 2 °С так, чтобы расстояние между поверхностью воды и верхней гранью образцов составляло не менее 50 мм. При проведении испытаний уровень воды в емкости не снижался ниже требуемого.

2. Через 7 сут (168 ч) образцы были извлечены из воды, капли воды и загрязнения с поверхности ППМ-изоляции были удалены, при помощи дисковой пилы вырезан кольцевой образец шириной 100 мм.

3. Полученные образцы были пронумерованы, их масса зафиксирована. Затем образцы были помещены в сушильный шкаф, где при температуре не более 80 °С находились до постоянной массы. Массу высушенных образцов зафиксировали в журнале испытаний.

4. Расчет водопоглощения образцов ППМ-изоляции выполнили по формуле, приведенной в ГОСТ Р 56227–2014.

5. Пункты 1–4 повторяли через 21, 42 и 78 сут. Результаты заносили в журнал испытаний.

Методика расчета погрешности результатов измерений приводится в отдельной статье [8].

Результаты испытаний

Обозначение образцов принято следующим образом: X.XX.XXX.Y,

где

X – номер образца-трубы,

XX – положение отобранного образца на трубе в зависимости от расположения при заливке (н – низ трубы, в – верх трубы, б – бок трубы),

XXX – место расположения образца по толщине изоляции (1 – у стальной трубы, 2 – центральная часть, 3 – верхний слой изоляции),

Y – порядковый номер образца.

Результаты исследования и выводы

По результатам определения водопоглощения образцов ППМ-изоляции были построены три диаграммы (рис. 3–5) зависимости водопоглощения ППМ-изоляции от различных условий.

На первой диаграмме (рис. 3) показана величина влагосодержания для ППМ-изоляции в зависимости от времени пребывания ее в воде. Диаграмма наглядно показывает рост влагосодержания с течением времени.

Показатели влагосодержания ППМ-изоляции плотностью 270 кг/м³ за 77 дней (1848 ч) пребывания в воде выросли в 3,1 раза. Изоляция

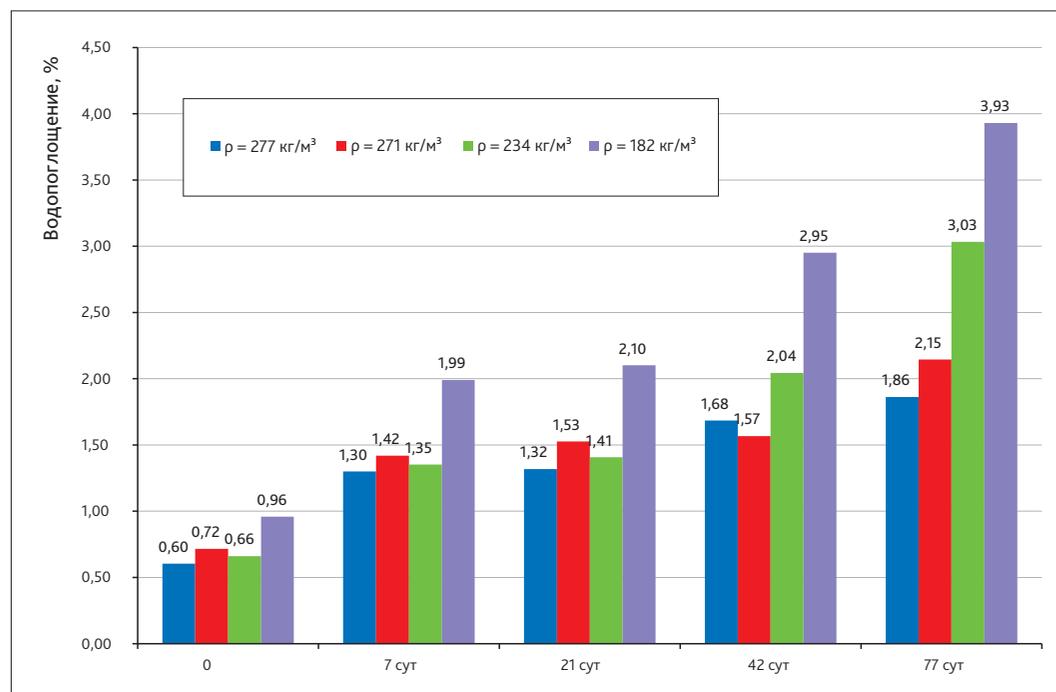


Рис. 3. Водопоглощение образцов ППМ-изоляции на трубе в зависимости от времени пребывания в воде и плотности изоляции

с плотностью 234 кг/м^3 и менее увеличила влагосодержание в 4,1 раза. Для образца плотностью 182 кг/м^3 влагосодержание увеличилось в 4,6 раза. Таким образом, четко прослеживается зависимость: чем ниже плотность ППМ-изоляции, тем больше увеличивается влагосодержание материала при длительном пребывании в воде.

Стоит отметить, что водопоглощение всех образцов, кроме образца с плотностью 182 кг/м^3 , после первой недели пребывания в воде (7 сут) не превышает норму по водопоглощению, указанную в [3] для 24-часового погружения.

Скорость увеличения влагосодержания для ППМ-изоляции плотностью **свыше 270 кг/м^3** с течением времени замедляется, а для образцов с меньшей плотностью продолжает расти с постоянной скоростью (линейно).

Процесс увлажнения ППМ-изоляции плотностью более 270 кг/м^3 послойно представлен на диаграмме 2 (рис. 4), а для образцов с меньшей плотностью – на диаграмме 3 (рис. 5).

Обе диаграммы показывают, что в начале испытаний все слои имели одинаковое **исходное влагосодержание – не более 1%**. При этом можно отметить, что образцы с плотностью 182 кг/м^3 имеют более высокое исходное влагосодержание, чем все остальные. Самое низкое исходное влагосодержание имела ППМ-изоляция с наиболее высокой плотностью. Стоит уточнить, что

условия нанесения, исходные компоненты и условия кондиционирования всех образцов были одинаковыми. То есть можно сказать, что **ППМ-изоляция с плотностью свыше 270 кг/м^3** при хранении будет меньше поглощать влаги из окружающего воздуха за счет сил влагопроводности, чем образцы с низкой плотностью.

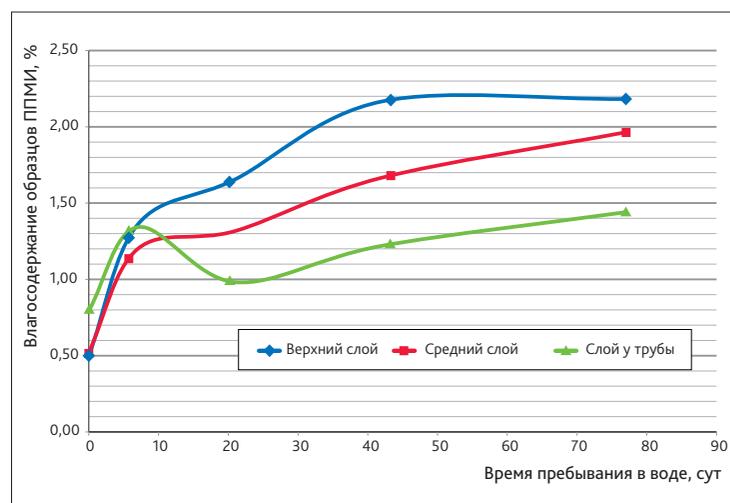


Рис. 4. Процесс увлажнения ППМ-изоляции на трубе в выключенном состоянии по слоям для образцов плотностью свыше 270 кг/м^3

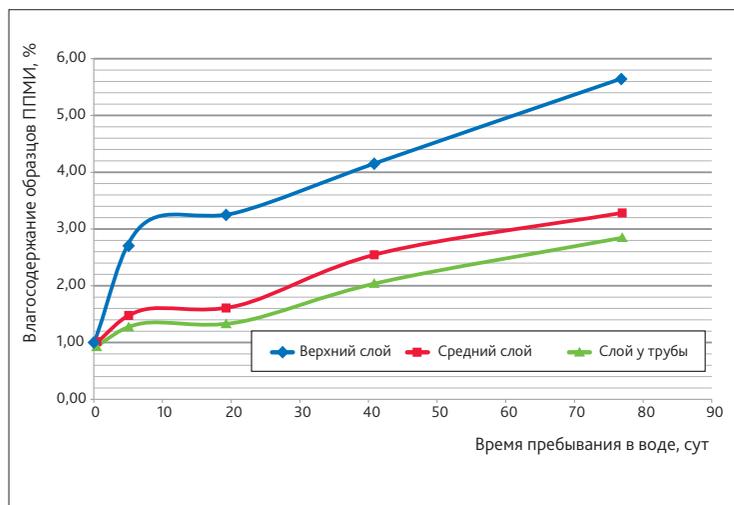


Рис. 5. Процесс увлажнения ППМ-изоляции на трубе в выключенном состоянии по слоям для образцов плотностью 230 кг/м³ и ниже

На рис. 4, 5 показано, что процесс увеличения влагосодержания с течением времени в верхнем, среднем и притрубном слоях происходит идентично, по одним и тем же зависимостям.

Для ППМ-изоляции с плотностью 270 кг/м³ и более в первые 7 дней идет резкий подъем влагосодержания, а затем скорость значительно снижается. После 10–25 дней погружения в воду процесс увеличения влагосодержания начинает протекать линейно с низкой скоростью, предположительно стремящейся к нулю. Это означает, что **через определенный период (около 40–50 дней) наступает равновесное состояние и рост влагосодержания прекращается на уровне 2–2,5 %.**

Для ППМ-изоляции с плотностью 230 кг/м³ и ниже в первые 7 дней резкий подъем влагосодержания происходит только в верхнем слое. В среднем и притрубном слоях подъем осуществляется более равномерно на всем временном отрезке.

Влагосодержание в верхнем, среднем и притрубном слоях в начальный момент одинаково и не превышает 1%. С течением времени разница между их влагосодержанием увеличивается. Наибольшие значения наблюдаются в верхнем слое (около 2–2,5% для ППМ-изоляции с плотностью 270 кг/м³ и около 5–6% для ППМ-изоляции с плотностью ниже 270 кг/м³), а наименьшие – в притрубном (около 1–1,5% для ППМ-изоляции с плотностью 270 кг/м³ и около 3% для ППМ-изоляции с плотностью ниже 270 кг/м³). Это показывает, что **процесс влагопереноса в ППМ-изоляции сильно затруднен и влагосодержание притрубного слоя ППМ-изоляции с течением времени изменяется незначительно.**

Разность между влагосодержанием верхнего и притрубного слоя в конце испытаний растет, и чем меньше общая плотность ППМ-изоляции, тем больше ее величина. Это связано с тем, что верхние слои менее плотной изоляции (менее 230 кг/м³) имеют большее количество микрокапилляров, больших и открытых пор, которые и способствуют более свободному перемещению влаги внутрь.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Химически связанная влага в ППМ-изоляции не определяется.
2. Процессы влагопоглощения за счет сил влагопроводности (сорбции) в ППМ-изоляции сильно затруднены и происходят очень медленно.
3. Процессы водопоглощения за счет капиллярного подсоса в ППМ-изоляции имеют место только в образцах с низкой плотностью. Увлажнение за счет капиллярного подсоса происходит только в верхних слоях изоляции и не проникает в средние и притрубные слои.
4. В дальнейших исследовательских работах, возможно, необходимо определить коэффициент влагопроводности ППМ-изоляции.

Литература

1. Иванова Г. М., Кузнецов Н. Д., Чистяков В. С. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
2. Инструкция по заделке стыковых соединений труб и фасонных изделий в ППМ-изоляции производства ООО НПП. М.: Пенополимер, 2017.
3. ГОСТ Р 56227–2014 «Трубы и фасонные изделия стальные в пенополимерминеральной изоляции». М., 2014.
4. ГОСТ 17177–94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний». М., 1994.
5. РД 153–34.0–20.518–2003 «Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии». М., 2003.
6. Романков П. Г., Рашковская Н. Б., Фролов В. Ф. Массообменные процессы химической технологии (системы с твердой фазой). М.: Химия, 1975.
7. Новицкий П. В., Заграф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Белый В. С., Мишина А. М. Алгоритм статистической обработки экспериментальных данных о влагосодержании ППМ-изоляции трубы. М, 2018.

Статья подготовлена по материалам компании ООО НПП «Пенополимер», г. Коломна