

УДК 691

**ПРИМЕНЕНИЕ КАРБАМИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ**© И.С. Мотевич<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Статья посвящена перспективам применения карбамидных пенопластов с улучшенными свойствами для теплоизоляции трубопроводов и оборудования. Рассмотрены основные причины преждевременного износа тепловых сетей. Проведен анализ недостатков существующих теплоизоляционных конструкций и материалов. Показаны преимущества карбамидных пенопластов для использования в качестве теплоизоляционного покрытия трубопроводов тепловых гражданских и промышленных сетей и оборудования.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, эксплуатационные требования, карбамидные пенопласты, теплоизоляция трубопроводов, мелкодисперсный наполнитель.

**CARBAMIDE FOAM APPLICATION WITH IMPROVED PROPERTIES FOR INSULATION OF PIPELINES AND EQUIPMENT**

© I.S. Motevich

Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk 664074, Russian Federation

The article is devoted to the prospects of using carbamide foams with improved properties for heat insulation of pipelines and equipment. The article considers the main causes of premature wear of heat networks. The article analyzes the shortcomings of existing thermal insulation structures and materials. The article shows the advantages of urea foam polystyrenes for use as thermal insulation coatings for pipelines for thermal civil and industrial networks and equipment.

*Keywords:* energy efficiency, performance requirements, carbamide foams, heat insulation of pipelines, finely dispersed filler

Проблема энергоэффективности сегодня является одной из важнейших задач как в России, так и в мире. Существенную роль в решении проблемы энергосбережения играет высокоэффективная тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей и оборудования, определяющая техническую возможность и экономическую эффективность реализации технологических процессов в энергетике, жилищно-коммунальном хозяйстве, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности.

Большое количество освоенной территории в зоне вечной мерзлоты, где сверхнормативные тепловые потери особенно опасны, так как влекут за собой растепление грунта основания и вследствие этого деформацию трубопровода, суровые природно-климатические условия северных районов Российской Федерации, длительные зимние периоды на большей части территории России требуют максимального использования тепловой и противокоррозионной изоляции трубопроводов. Помимо климатических факторов слабое развитие потенциала тепловых сетей в России связано с крайней степенью изношенности и преждевременным выходом из строя теплопроводов в результате воздействия механических и гидравлических факторов. Также важную роль играет несоблюдение во время работы по строительству теплосистем правил монтажа, которое влечет за собой повреждения, царапины, сколы теплоизоляционных конструкций.

Основная доля тепловых потерь в России – это потери в окружающую среду через теплоизоляционную конструкцию с измененными свойствами в результате процесса эксплуатации. Для повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения необходимо использовать современные теплоизоляционные конструкции и материалы с улучшенными свойствами [1].

На основе анализа литературы, посвященной данной тематике, проведенного в рамках исследования эксплуатационных качеств карбамидных пенопластов в качестве теплоизолирующего материала трубопроводов и оборудования, были выделены основные недостатки применяемых в настоящее время теплоизолирующих конструкций. (табл. 1).

В первую очередь выбор тепловой изоляции трубопроводов зависит от назначения сети, способа ее прокладки и температуры теплоносителя [2].

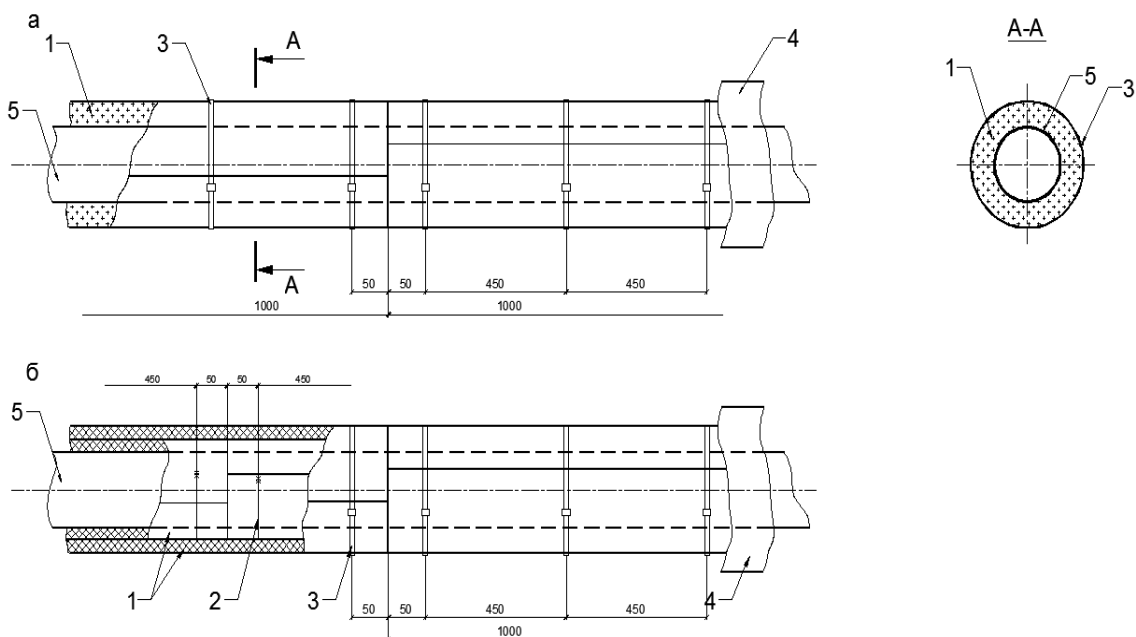
<sup>1</sup> Мотевич Иван Сергеевич, магистрант, e-mail: motewitch.ivan@gmail.com  
Ivan S. Motevich, an undergraduate student, e-mail: motewitch.ivan@gmail.com

## Недостатки основных видов теплоизоляционных материалов для трубопроводов

Теплоизоляционный материал	Недостаток
Минеральная вата	<ul style="list-style-type: none"> <li>– низкие показатели влагоустойчивости (высокое водонасыщение);</li> <li>– высокие тепловые потери при транспортировке теплоносителя (низкие показатели термосопротивления);</li> <li>– высокие капиталовложения и сроки при строительномонтажных работах;</li> <li>– низкая антикоррозионная стойкость;</li> <li>– слеживаемость под собственным весом</li> </ul>
Пенополиуретановая изоляция	<ul style="list-style-type: none"> <li>– трудоемкие мероприятия и применение дорогостоящего оборудования при заливке;</li> <li>– необходимость контролировать состояние конструкции при транспортировке и укладке теплопроводов;</li> <li>– низкая пожаростойкость (материал пожароопасен);</li> <li>– высокие капиталовложения при производстве;</li> <li>– слабая стойкость к механическим воздействиям;</li> <li>– низкая термостойкость;</li> <li>– горючесть;</li> <li>– токсичность и дымообразующая способность при горении</li> </ul>
Пенополимерминеральная изоляция	<ul style="list-style-type: none"> <li>– быстрая потеря теплоизоляционных свойств при воздействии ультрафиолета;</li> <li>– низкая пожаростойкость;</li> <li>– дополнительные расходы для защиты труб от солнечных лучей перед прокладкой;</li> <li>– толщина слоя при одинаковых показателях теплопроводности при пенополимерминеральной изоляции больше, при пенополиуретановой;</li> <li>– при намокании быстро растут тепловые потери во влагонасыщенных грунтах</li> </ul>
Армопенобетон	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокое водопоглощение и вследствие этого отсутствие поверхности испарения;</li> <li>– плохая адгезионная способность с гидроизолирующими оболочками;</li> <li>– необходимость автоклавной обработки изделий, а следовательно, значительное удорожание процесса производства</li> </ul>
Вспененный синтетический каучук	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая стоимость</li> </ul>

При надземной и подземной канальной прокладке трубопроводов теплосетей (в каналах проходных, полупроходных, непроходных) преимущественно применяют изделия из минеральной ваты и стеклянного волокна российского и зарубежного производства (теплоизоляционные рулонные и прошивные маты, мягкие плиты, высокоэффективные цилиндры, полуцилиндры, сегменты) (рис. 1).

Основным недостатком использования метода утепления трубопроводов волокнистыми материалами является накопление между трубой и изоляционным слоем конденсата, активизирующего коррозию стальной трубы и в силу гидрофобных свойств минеральной ваты не имеющего выхода на поверхность испарения. Также весомым недостатком является то, что волокнистые материалы, имея низкую плотность, характеризующую ее как эффективный тепловой изолятор, показывают заметную слеживаемость, сминаемость в условиях отсутствия антивандальной защиты, а потому интенсивное возрастание плотности и уменьшение теплоизоляционного слоя, что приводит к росту коэффициента теплопроводности и теплопотерь трубопроводами тепловых сетей [3].

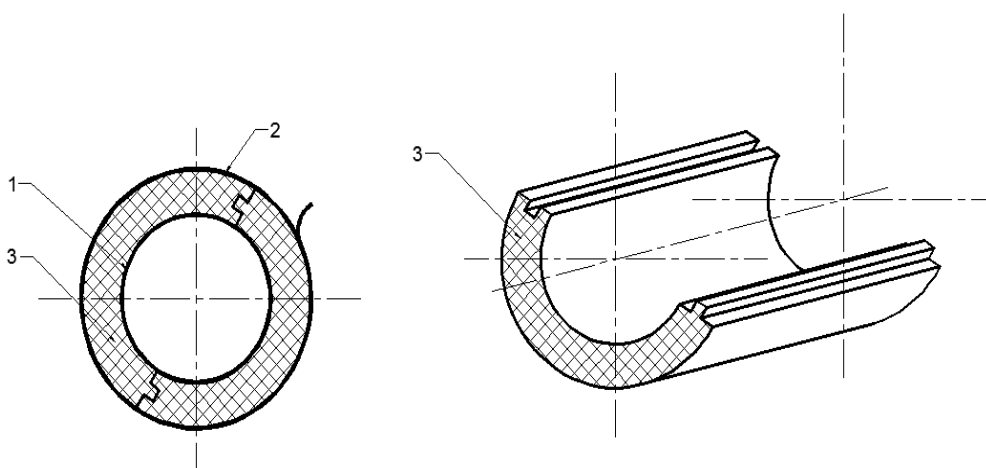


**Рис. 1. Изоляция трубопроводов наружным диаметром (57–219 мм) волокнистыми материалами:**

*а – изоляция в один слой; б – изоляция в два слоя*

*(1 – теплоизоляционный слой из волокнистых материалов; 2 – кольцо из проволоки диаметром 1,2–2 мм; 3 – бандаж с пряжкой; 4 – покровный слой; 5 – стальная труба теплопровода)*

Для изоляции трубопроводов и оборудования с положительными и отрицательными температурами применяются изделия из вспененного синтетического каучука. Материалы производятся в виде скорлуп и цилиндров (трубок) или эластичных плитных изделий. Материалы из вспененного каучука характеризуются преимущественно закрытой пористостью и температурой применения от -70 до 150 °С. Основным минусом является очень высокая стоимость конечного изделия (рис. 2).

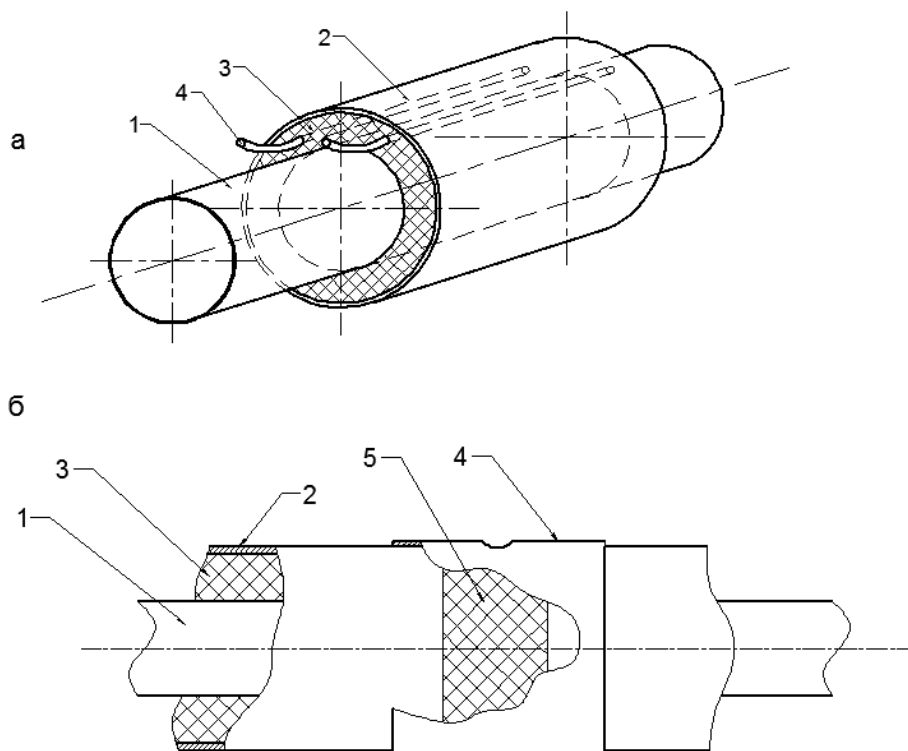


**Рис. 2. Схема изоляции трубопроводов фасонными изделиями (скорлупы):**

*1 – изолируемый трубопровод; 2 – покровный слой гидроизоляции;*

*3 – фасонное изделие «скорлупа»*

Для трубопроводов тепловых сетей надземной и подземной бесканальной прокладки применяют предварительно изолированные в заводских условиях трубы с гидроизоляционным и защитным антивандальным покрытием типа «труба в трубе» (рис. 3) для исключения возможности увлажнения и механического повреждения теплоизоляционного слоя. В качестве основного теплоизоляционного слоя в конструкциях теплоизолированных трубопроводов бесканальной прокладки согласно СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» [4] и СП 61.13330.2012 [5] «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» к применению рекомендованы армопенобетон, пенополиуретан и пенополимерминерал, которые также имеют ряд существенных недостатков.



**Рис. 3. Предварительно изолированные трубы с пенополиуретановой изоляцией:**

*а – общий вид предизолированной трубы;*

*б – стык предизолированных труб, осуществляемый на муфте*

*(1 – стальная труба теплосети; 2 – труба оболочка из вспененного полиэтилена;*

*3 – теплоизоляционный слой из жесткого пенополиуретана; 4 – муфта из вспененного*

*полиэтилена; 5 – шов теплоизоляционного слоя, исполненный заливочным пенополиуретаном)*

На практике преимущественно применяется жесткий пенополиуретан. Среди основных недостатков пенополиуретана как теплоизоляционного материала трубопроводов можно выделить горючесть, токсичность и дымообразующую способность. Также было выявлено, что при попадании влаги на пенополиуретан происходит разрушение изоляционного покрытия и интенсивная язвенная коррозия стальной трубы, в связи с чем требуется устанавливать на трубопроводах с пенополиуретановой изоляцией системы оперативного дистанционного контроля состояния влажности пенополиуретана [2]. Все это значительно увеличивает стоимость конечного изделия и расходы на эксплуатацию таких трубопроводов. Как показала практика, качество изоляции пенополиуретаном значительно падает после подачи теплоносителя. Связано это с процессами перемещения конденсата, образующегося на контакте трубы и изоляционного слоя.

Так, часто упоминаемый срок службы пенополиуретановых теплопроводов в течении 30 лет возможен при эксплуатации системы с температурой теплоносителя не более 120 °С и рассчитанным количеством температурных нагрузок теплосети. Установлено, что при воздействии температуры +140 °С предел прочности на сжатие пенополиуретана с плотностью 75 кг/м<sup>3</sup> падает до нуля в течение приблизительно 15 месяцев [6].

В качестве наиболее экономически эффективной альтернативы существующих теплоизоляционных материалов мы предлагаем пенопласты на основе карбамидно-формальдегидной смолы с улучшенными свойствами. Производимые ранее в СССР карбамидные пенопласты имели низкую механическую прочность 0,1–0,4 кг/см<sup>2</sup> (при кажущейся плотности 10–40 кг/м<sup>3</sup>), способны были поглощать из воздуха до 15–30 % мас. влаги, впитывать до 40–60 % (по объему) воды. Основным преимуществом пенопластов перед всеми другими видами теплоизоляции являлась их малая материалоемкость, что и предопределяло рост производства пенопластов во всем мире [7].

Почему же этот способ не был так сильно распространен? Основными факторами, ограничивающими применение эффективных карбамидных пенопластов, являются недостаточная изученность поведения пенопластов в различных эксплуатационных условиях и отсутствие серийно выпускаемого оборудования для получения пенопласта и изоляции строительных конструкций.

В 1971 г. В.А. Москвитин совместно с сотрудниками Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов приступил к экспериментальному и технологическому исследованию пенных систем, стабилизированных отвердителем, что позволило существенно улучшить физико-механические свойства карбамидных пенопластов, создать принципиально новые

способы и устройства непрерывного регулирования процесса их получения непосредственно на месте применения и технологию получения изделий из карбамидных пенопластов [8].

В основу технологии по улучшению свойств карбамидных пенопластов легли работы А.Г. Дементьева и Ф.А. Шутова. На примере пенополеуретанов был показан эффект повышения прочности за счет присутствия взаимопроникающих (по Ф.А. Шутову бимодальных) структур (основная полиэдрическая структура твердой пены пронизана на порядок меньшими ячейками овального типа). Данный эффект с образованием подобных структур проявился и при вспенивании карбамидных смол при определенных условиях диспергирования. В частности, такие условия создаются при обработке полимерной пены в емкости (или канале) с быстровращающейся мешалкой. В нашем случае направленная модификация структуры полимерной матрицы приводит к увеличению прочности в 2,5 раза.

Статистический анализ данных испытания 12 образцов пенопластов, полученных двумя различными способами, показал (см. рис. 1), что для того, чтобы довести прочность пенопласта, полученного вспениванием в канале, с 30 до 70 кПа, необходимо увеличить расход материалов не менее, чем в 3 раза. Тот же эффект достигается без увеличения расхода материалов вспениванием в шнеколопастном цилиндрическом смесителе.

Дальнейшее увеличение прочности, а также улучшение других физико-механических и эксплуатационных характеристик может быть достигнуто введением тонкодисперсных наполнителей, в качестве которых использовали следующие отходы различных производств: низкокальциевая зола теплоэлектроцентралей сухого удаления, мелкозернистый кремнезем (пыль газоочистки производства металлического кремния), перлитовая пыль (отход производства перлитового гравия), керамзитовая пыль (побочный продукт производства керамзита).

Размер частиц указанных наполнителей лежал в пределах 0,03–0,065, 0,01–0,044, 0,1–0,2 и 0,02–0,074 мм соответственно. Как следует из результатов, представленных в табл. 1, природа наполнителя существенно влияет на прочность карбамидных пенопластов. Наиболее эффективными оказались кремнезем и керамзит. В последствии было установлено, что природа наполнителя не вносит принципиальных различий в конечный результат, это дает возможность использовать в качестве наполнителя золы теплоэлектроцентралей.

Введение наполнителей позволяет получить композиционные пенопласты на основе дешевых карбамидных смол, не уступающие по своим физико-механическим характеристикам пенополиуретанам, лучшим маркам пенополистирола и другим вспененным пластмассам (табл. 2).

Таблица 2

**Основные физико-механические и эксплуатационные свойства композита «Поропласт CF 02»**

Наименование показателя	Марка М	Марка F
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8–30	30–50
Прочность на сжатие при 10 %-й линейной деформации, МПа, не менее	0,01	0,06
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,007	0,015
Влажность по массе, %, не более	15	15
Сорбционная влажность за 24 ч при относительной влажности воздуха 96±2 %, %, не более	10	10
Объемное водопоглощение за 24 ч при частичном погружении в воду, %, не более	8	7
Теплопроводность, Вт/мК, не более	0,038	0,040
Группа горючести (ГОСТ 30244-90), стандарт 2437-80	Г1 трудногорюемый	Г1 трудногорюемый
Долговечность в конструкциях	Не менее 50 лет	Не менее 50 лет
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па), не более	0,27	0,27

Таким образом, сочетание способа получения пенопластов, обеспечивающего образование полимерной матрицы с взаимопроникающими структурами овального типа, и введения в композицию твердого наполнителя крупностью не более 0,08 мм позволяет получить композиционные вспененные материалы повышенной прочности (до 300–400 кПа) на основе доступных и дешевых карбамидных смол.

Дополнительные исследования и сравнительные расчеты показали, что материал соответствует эксплуатационным требованиям для применения поропласта в качестве теплоизоляционного материала трубопроводов и оборудования, будучи при этом в высокой степени экономически эффективным по сравнению с известными конкурентами.

Можно выделить следующие плюсы, делающие карбамидные пенопласты с наполнителем эффективным и технологичным изолятором трубопроводов:

- возможность получения смолы на месте монтажа из исходных продуктов мочевины и формалина;
- возможность получения готовых изделий в виде скорлуп различных конфигураций для изоляции трубопроводов и оборудования благодаря разработанной технологии сушки карбамидных пенопластов, исключая усадку и снижающая токсичность материала;
- существенно увеличенная прочность карбамидных пенопластов за счет модификации рядом добавок и наполнителей;
- возможность использовать карбамидных пенопластов с нагнетанием их в полости изоляционных конструкций (например, «труба в трубе») в жидком пластичном состоянии, что является решением проблемы большой трудоемкости изоляции оборудования со сложной геометрической конфигурацией поверхности теплоотдачи;
- почти полное отсутствие отходов материалов при производстве работ, следовательно, высокая экономичность;
- сравнительно низкая трудоемкость и стоимость работ;
- низкая стоимость исходного сырья;
- низкие показатели горючести материала в отличие от широко используемого пенополиуретана;
- использование отходов теплоэлектроцентралей во вторичном производстве.

Однако стоит отметить, что технологии требуется дальнейшая проработка на более качественном уровне, в первую очередь в направлении улучшения физико-механических и химических свойств материала. Особую важность представляют долговечность, адгезионная способность и устойчивость к агрессивным средам. Также необходима разработка наиболее эффективных антивандалных покрытий. Так как математическое моделирование и расчеты различных теплоизоляционных конструкций уже существуют, наиболее предпочтительным методом решения данных технологических задач станет проведение серий натурных опытов по теплоизоляции труб с применением различных конструктивных решений.

### Библиографический список

1. Смородова О.В., Костарева С.Н. Энергетическая эффективность систем транспорта тепловой энергии // Трубопроводный транспорт: материалы VII Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. Уфа, 2011. С. 234–236.
2. Новиков И.Е. Особенности прокладки трубопроводов тепловых сетей России – сегодняшние тенденции в повышении надежности теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2011. № 6. С. 42–45.
3. Смородова О.В. Инструментальная оценка динамики старения минераловатной тепловой изоляции // Инновационная наука. 2016. № 8-2. С. 90–93.
4. СП 124.13330.2012. Тепловые сети: нормативно-технический материал. М., 2012. 73 с.
5. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов: нормативно-технический материал. М., 2012. 51 с.
6. Лундышев И.А. Перспективные технологии применения монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 1. С. 38–41.
7. Шплет Н.Г. Сверхлегкие эффективные пенопласты для градостроительства. Л.: Стройиздат, 1985. 64 с.
8. Москвитин В.А. Особенности макроструктуры твердых пен и методы ее регулирования // Пены в технологии горных работ: сб. науч. тр. Иркутск: Изд-во ИГРУ, 1990. С. 67–72.