

УДК 622.692.4.076: 620.197.6

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ
ТРУБОПРОВОДОВ**

**THE USE OF INTEGRAL FOAMS TO IMPROVE THE EFFICIENCY
OF INSULATION OF PIPELINES**

Галиуллин М.М., Баязитов М.И., Репин В.В., Хафизов Ф.М.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

M.M. Galiullin, M.I. Bayazitov, V.V. Repin, F.M. Khafizov

**FSBI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: galiullinm2015@yandex.ru

Аннотация. Вспененные пластмассы являются эффективным материалом для изоляции трубопроводов. В число достоинств данного материала входит возможность формировать теплоизолирующее покрытие с заданным распределением плотности по толщине, получать так называемые интегральные пенопласты. Это позволяет повышать плотность, а, следовательно, и прочность наружных слоёв изоляции, наиболее подверженных внешним механическим воздействиям. При этом уменьшается влагопроницаемость такого покрытия, что важно при подземной бесканальной прокладке трубопровода. Теплоизолирующий эффект внутренних слоёв, а значит, и всего покрытия, усиливается за счёт снижения их плотности, поскольку существует прямая зависимость между плотностью изоляции и её коэффициентом теплопроводности. Достигается такое перераспределение плотности путём воздействия на технологию получения пенопласта во время его полимеризации.

В представленной работе дано решение уравнения теплопроводности для стационарного случая, при установившихся температурах на внутренней и внешней поверхностях изоляции. Коэффициент теплопроводности изоляции рассматривался как переменная величина, зависящая от плотности изоляции, которая определённым образом распределена по толщине покрытия. Выведена формула, позволяющая рассчитать эквивалентный коэффициент теплопроводности покрытия при любом возможном распределении плотности по его толщине. С учётом линейного характера зависимости коэффициента теплопроводности пенополиуретана от его плотности, получена модификация этой формулы для случая, когда теплоизолирующее покрытие состоит из двух слоёв: внутреннего, с фиксированной минимально допустимой плотностью, и внешнего, где плотность возрастает до максимально возможного значения на поверхности покрытия. Дана рекомендация по определению толщины каждого из слоёв при известной удельной массе пенополиуретана, приходящейся на единицу длины трубопровода. На примере теплоизоляции из пенополиуретана с интегральной структурой для трубопровода среднего диаметра показана возможность уменьшения тепловых потерь почти на 14% по сравнению с однородной теплоизоляцией той же удельной массы.

Abstract. Foamed plastics are an effective material for pipe insulation. Among the advantages of this material include the ability to form heat-insulating coating with a given density distribution through the thickness, to obtain a so-called integral foams. This allows to increase the density and hence the strength of external insulation layers most exposed to external mechanical influences. This decreases the moisture permeability of the coating, which is important for underground laying underground pipeline. Insulation effect of the inner layers, and consequently the coating is enhanced through reduction of their density, since there is a direct correlation between the density of the insulation and its thermal conductivity. Achieved such a redistribution of density by influencing

the technology of production of foam during the polymerization. In the presented work are given the solution of the heat conduction equation for a stationary case at the steady state temperatures at the inner and the outer surfaces of the insulation. The thermal conductivity of the insulation was considered as a variable depending on the density of the insulation, which is distributed in a certain way through the thickness of the coating. The formula allowing to calculate the equivalent thermal conductivity of the coating at any possible density distribution along its thickness. Taking into account the linear character of the dependence of the thermal conductivity of polyurethane foam on its density, obtained a modification of this formula for the case when the heat-insulating coating consists of two layers: the inner, fixed minimum allowable density, and external, where the density increases to the maximum value on the surface of the coating. A recommendation to determine the thickness of each layer at a known specific weight of foam per unit of pipe length. On the example of thermal insulation of polyurethane foam with an integral structure for medium diameter tubing shown the ability to reduce heat loss by nearly 14% compared with homogeneous insulation of the same specific gravity.

Ключевые слова: вспененные пластмассы, неоднородность по плотности, теплоизоляция, трубопровод, коэффициент теплопроводности, тепловые потери.

Key words: foamed plastics, the inhomogeneity of the density, insulation, pipeline, coefficient of thermal conductivity, heat loss.

С появлением новых теплоизоляционных материалов и технологий их получения стало возможным повышать теплоизолирующий эффект не только путем увеличения толщины слоя материала, но и за счет формирования заданной неоднородности по толщине слоя [1,2,3]. Такая структура слоя называется интегральной [4]. На преимущества использования неоднородных теплоизолирующих покрытий обращали

внимание и ранее. В работе [5] отмечается, например, что при использовании двухслойных покрытий для трубопроводов теплоизолирующий эффект возрастает, если коэффициент теплопроводности внутреннего слоя меньше, чем у внешнего, т.е. если внешний слой более плотный. Повышение плотности теплоизоляционного материала, как правило, сопряжено с повышением его прочности, что целесообразно для наружных слоев покрытия, наиболее подверженных внешним механическим воздействиям. При этом достигается повышение прочности всего покрытия. Кроме того, при подземной бесканальной прокладке теплоизолированных трубопроводов не удастся, как правило, полностью исключить повреждения водонепроницаемой оболочки, в результате чего грунтовые воды могут вступать в контакт с теплоизоляционным материалом. Это увеличивает коэффициент теплопроводности материала, что ведет к повышению тепловых потерь «горячих» трубопроводов. Попадание воды в теплоизоляцию может также вызвать коррозионное поражение труб. Диффузионные свойства материалов в значительной степени зависят от их плотности и, обеспечивая более плотный наружный слой изоляции, удастся снизить проницаемость изоляции для воды.

Таким образом, из вышесказанного можно сделать вывод о целесообразности такого перераспределения плотности изоляции по толщине покрытия, при котором плотность внутренних слоев понижена (с целью усиления теплоизолирующего эффекта покрытия), а плотность внешних слоев повышена (с целью улучшения прочностных свойств покрытия и снижения его диффузионных характеристик).

Возможность такого перераспределения плотности покрытия за один технологический цикл, одновременно с получением самого теплоизолирующего материала, появилась после того, как для изоляции трубопроводов начали применять пенопласты. Одним из первых на это указал профессор А.Н. Крашенинников [6], которому принадлежат также

предложения по практической реализации перераспределения плотности по толщине покрытия для поропласта марки ФЛ-3. Достигается это путем воздействия на технологию формирования поропласта, наносимого методом заливки на изолируемую трубу, во время процесса полимеризации покрытия. Интегральную структуру могут иметь и другие пенопласты, например, пенополиуретаны, пенополиолефины, пенополиэтилены. Для интегральной структуры характерны монолитная оболочка с высокой прочностью и жесткостью и вспененная основа с высокими теплоизоляционными свойствами и малой плотностью [7,8]. В работе [4] обобщены данные по физикохимии образования и технологии изготовления упрочненных газонаполненных пластмасс, в частности, интегральных. Отмечается, что увеличение толщины корки достигается либо за счет уменьшения таких параметров, как температура формы, температура исходной композиции, концентрации газообразователя и катализатора, либо за счет увеличения таких параметров, как плотность изделия и теплопроводность формы. В работе [9] показано, что с уменьшением температуры формы плотность корки возрастает, одновременно происходит уменьшение плотности среднего слоя. Распределение плотностей в пределах каждого слоя носит практически линейный характер. В работе [10] даются рекомендации по температурному режиму трубы и формы для получения изолирующего покрытия из пенополиуретана марки «Сиспур» с интегральной структурой. Предлагается поверхность трубы перед заливкой нагревать до температуры 313...323 К, а форму термостатировать при 293...295 К. В этих условиях при средней плотности пенопласта, равной $58...64 \text{ кг} / \text{м}^3$, образуется поверхностный слой с плотностью до $200 \text{ кг} / \text{м}^3$ и пределом прочности при сжатии $2,0...2,5 \text{ МПа}$.

Формованные изделия из интегральных пенопластов имеют ячеистую сердцевину и компактную краевую зону-корку. Однако нет резкой

разделительной линии между этой зоной и сердцевиной, а наблюдается плавный переход от почти не содержащей ячеек корки до ячеистой структуры сердцевины. Изменение плотности пенопласта по толщине покрытия, физическая неоднородность структуры пенопласта проявляются в неоднородности размеров и форм ячеек, а также в разной толщине их стенок [11]. В работе [7] указывается на то, что в условиях свободного вспенивания температура формы практически не сказывается на распределении плотности, получается однородный материал. В условиях стесненного вспенивания плотность пенопласта у холодной стенки в несколько раз превышает среднюю по толщине пеноблока. Автор работы дает объяснение этому явлению. По его мнению, благодаря сильной зависимости скорости химической реакции образования пенопласта от температуры, отверждение пены идет в первую очередь в середине блока и у стенки с повышенной температурой. Окончательное увеличение объема отверждающейся пены происходит за счет сжатия гелеобразной структуры у холодной стенки, возможно, даже с частичной конденсацией вспенивателя. Отверждение у холодной стенки идет несколько медленнее и, поскольку большая часть пространства формы уже заполнена сформировавшимся пенопластом, здесь образуется пенопласт с повышенной плотностью. Описанный механизм образования интегральной структуры в наибольшей степени отвечает результатам экспериментальных исследований [9,10].

В работе [8] отмечается, что возможность осуществления теплоизоляции и защиты трубопроводов от коррозии с использованием одной исходной композиции стала реальной после того, как был освоен способ получения пенополиуретана с интегральной структурой. Однако рекомендаций, как лучше распределить плотность по толщине покрытия с целью усиления теплоизолирующего эффекта, в литературе не приводится.

Для количественной оценки теплоизолирующей эффективности применения интегральных пенопластов в изоляции трубопроводов

необходимо исследовать влияние структуры покрытия на величину тепловых потерь «горячего» трубопровода. С этой целью рассмотрим следующую задачу. Пусть плотность теплоизоляции распределена некоторым образом по толщине покрытия. Полагаем, что распределение носит непрерывный характер. Коэффициент теплопроводности материала изоляции зависит от ее плотности. Требуется определить, как будет влиять указанная неоднородность покрытия на величину тепловых потерь трубопровода. Рассмотрим стационарный режим. Пусть на внутренней поверхности изоляции установилась некоторая температура T_1 , а на внешней $-T_2$. Используем полярную систему координат. Считаем, что заданное распределение плотности сохраняется по всей окружности трубы, т.е. зависимость от угла отсутствует и коэффициент теплопроводности зависит только от текущего радиуса R , который меняется в пределах от R_1 до R_2 , где R_1 и R_2 – соответственно внутренний и внешний радиусы теплоизоляции (м). Математическая запись задачи будет иметь следующий вид:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{d}{dR} \left(\lambda_{из} \cdot R \cdot \frac{dT}{dR} \right) = 0, \quad (1)$$

$$T(R = R_1) = T_1, \quad (2)$$

$$T(R = R_2) = T_2, \quad (3)$$

где $\lambda_{из} = \lambda_{из}(R)$ – коэффициент теплопроводности изоляции, переменная величина, зависящая от текущего радиуса ($Вт/мК$).

Из выражения (1) следует:

$$\frac{dT}{dR} = \frac{C}{R \cdot \lambda_{из}}, \quad (4)$$

где C – некоторая постоянная.

Интегрируя (4) с учетом граничных условий (2) и (3), получим:

$$T = \int_{R_1}^R \left[\frac{T_2 - T_1}{\left(\int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R \cdot \lambda_{uz}} \right) R \cdot \lambda_{uz}} \right] dR + T_1, \quad (5)$$

Используя для определения плотности тепловых потерь зависимость

$$q_1 = -\lambda_{uz} \cdot \frac{dT}{dR} \Big|_{R=R_1}, \quad (6)$$

и подставляя (5) в (6), найдем:

$$q_1 = \frac{T_1 - T_2}{R_1 \cdot \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R \cdot \lambda_{uz}}}. \quad (7)$$

В то же время путем введения некоторого осредненного, эквивалентного коэффициента теплопроводности всего покрытия в поперечном сечении, для плотности теплового потока на внутренней поверхности теплоизоляции можно записать:

$$q_2 = \lambda_{эkv} \cdot \frac{T_1 - T_2}{R_1 \cdot \ln(R_2/R_1)}. \quad (8)$$

Очевидно, должно соблюдаться равенство величин q_1 и q_2 . Поэтому из (7) и (8) найдем:

$$\lambda_{эkv} = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{\int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R \cdot \lambda_{uz}}}. \quad (9)$$

Полученное выражение характеризует в общем виде зависимость эквивалентного коэффициента теплопроводности всего слоя изолирующего покрытия от того, как распределены по толщине покрытия локальные, местные коэффициенты теплопроводности изоляции, которые

зависят от плотности материала изоляции. Согласно [12], для многих пенопластов зависимость коэффициента теплопроводности от плотности материала носит линейный характер, т.е. можно записать:

$$\lambda_{из} = A_1 \cdot \rho_{из} + A_2, \quad (10)$$

где $\rho_{из}$ – плотность изоляции, переменная величина, зависящая от текущего радиуса ($кг/м^3$), A_1, A_2 – некоторые постоянные.

Если известно распределение плотности по толщине покрытия, то, зная зависимость коэффициента теплопроводности изолирующего материала от его плотности, т.е. постоянные A_1 и A_2 в (10), можно определить эквивалентный коэффициент теплопроводности покрытия по формуле (9), а затем из выражения (8) и величину тепловых потерь через такое покрытие.

Рассмотрим частный случай, когда кривая распределения плотности изоляции по толщине состоит из двух участков: от R_1 до некоторого R_k плотность постоянна и равна минимально допустимой ρ_{min} , а в интервале от R_k до R_2 возрастает линейно, согласно зависимости:

$$\rho_{из} = A_3 \cdot R + A_4, \quad (11)$$

где A_3, A_4 – некоторые постоянные. Поэтому можно записать для коэффициента теплопроводности:

$$\lambda_{из} = \begin{cases} \lambda_1 = \lambda_{min}, & \text{при } R_1 \leq R \leq R_k; \\ \lambda_2 = A_2 + A_1 \cdot (A_3 R + A_4), & \text{при } R_k < R \leq R_2. \end{cases} \lambda$$

Тогда формула (9) примет вид:

$$\lambda_{экр.} = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{\int_{R_1}^{R_k} \frac{dR}{R \cdot \lambda_1} + \int_{R_k}^{R_2} \frac{dR}{R \cdot \lambda_2}}. \quad (12)$$

Очевидно, оптимальной будет такая структура покрытия, когда плотность внешней поверхности изоляции будет максимально возможной, а внутренний участок минимальной плотности – как можно более протяженным. Поэтому задачу определения оптимальных параметров покрытия можно сформулировать следующим образом. Задан предполагаемый расход теплоизоляционного материала через среднюю плотность ρ_{cp} , известна минимально допустимая плотность внутренних слоев покрытия ρ_{min} , а также требуемая максимальная плотность материала на внешней поверхности изоляции ρ_{max} . Требуется определить, какую структуру должно иметь покрытие или, другими словами, где будет находиться точка R_x кривой распределения плотности материала, переход от участка постоянной минимальной плотности к поверхностной корке – участку линейного роста плотности от ρ_{min} до ρ_{max} .

Для пояснения вышесказанного рассмотрим следующий пример. Требуется теплоизолировать трубопровод диаметром 325 мм слоем пенополиуретана толщиной 60 мм. Тогда внутренний радиус покрытия $R_1 = 0,1625$ м, а внешний $R_2 = 0,2225$ м. Пусть заданное количество теплоизоляционного материала таково, что если бы его распределили равномерно по объёму покрытия, то плотность ρ_{cp} такого однородного покрытия составила бы 60 кг/м^3 . Предположим, что для конкретных условий прокладки трубопровода, минимально допустимая плотность ρ_{min} изоляции для внутренней части покрытия равна 40 кг/м^3 . Коэффициенты теплопроводности для этих значений плотности пенополиуретана известны: $\lambda(60) = 0,035 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ и $\lambda(40) = 0,029 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. [13]. На внешней части покрытия, корке, толщина которой составляет 1-3 мм, плотность достигает $1000\text{-}1200 \text{ кг/м}^3$ [1]. Фактически, это невспененный полиуретан, коэффициент теплопроводности которого $\lambda = 0,315 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$ [14]. Учитывая линейный характер зависимости

коэффициента теплопроводности от плотности [12], по данным из [13] можно определить конкретные параметры этой зависимости:

$$\lambda_2 = 0,0003 \cdot \rho_{\text{из}} + 0,017 \text{ (Вт/м}\cdot\text{К)}, \quad (13)$$

где $\rho_{\text{из}}$ изменяется в пределах от 40 до 1000.

Пусть технология получения покрытия позволяет сформировать внутренний слой с минимальной плотностью $\rho_{\text{min}} = 40 \text{ кг/м}^3$ при $R \leq R_k$ и внешний слой с переменной плотностью от 40 до 1000 кг/м^3 при $R > R_k$. Удельная масса пенополиуретана, приходящаяся на единицу длины трубопровода, при таком распределении плотности равна удельной массе однородного покрытия с $\rho_{\text{из}} = 60 \text{ кг/м}^3$. Поэтому, используя стандартные формулы для определения массы полого цилиндра с распределённой плотностью, можно вычислить $R_k = 0,22 \text{ м}$. Таким образом, толщина поверхностного слоя составила 2,5 мм. Ввиду малой величины вклада этой части покрытия в общий теплоизолирующий эффект, можно в качестве λ_2 брать осреднённое по формуле (13) значение. Поэтому полагаем $\lambda_2 = 0,157 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Подставляя эти данные в формулу (12) находим величину эквивалентного коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{эKB}} = 0,02988 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Сравнивая это значение с коэффициентом теплопроводности однородного покрытия $\lambda(60) = 0,035 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, видим снижение величины коэффициента теплопроводности почти на 14%, что равносильно соответствующему уменьшению тепловых потерь через изоляцию.

Следовательно, неоднородный характер структуры пенопластов, используемых для изоляции трубопроводов, позволяет при том же количестве изоляционного материала повысить эксплуатационные качества покрытий как с точки зрения тепловых потерь – они минимальны ввиду наибольшего по толщине внутреннего слоя с плотностью ρ_{min} , так и с точки зрения физико-механических свойств покрытия. В этом случае

плотность внешней поверхности покрытия наибольшая, что обуславливает повышение прочности покрытия, а также позволяет значительно снизить проницаемость изоляции по отношению к воде.

Выводы

1. Показана целесообразность перераспределения плотности по толщине пенопластового покрытия трубопроводов не только с целью увеличения прочности и влагозащищённости, но и с целью усиления теплоизолирующего эффекта.

2. Выведена формула для расчета эквивалентного коэффициента теплопроводности всего покрытия при любом возможном распределении плотности по его толщине.

3. Показана возможность снижения тепловых потерь до 14% и более при использовании пенополиуретана интегральной структуры.

Список используемых источников

1 Поливода Ф.А., Соколовский Р.И. Оптимизация теплоизоляции трубопроводов из пенополиуретана // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 3. С.37-39.

2 Лёгкие бетоны с интегральным расположением крупного заполнителя для стеновых ограждений/Пичугин А.П. [и др.]// Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. Саратов: СГТУ, 2012. № 2. С.78-82.

3 Галиуллин М.М. Разработка методов повышения экономичности и эффективности эксплуатации теплоизолированных трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13. Уфа, 1987. 177 с.

4 Берлин А.А., Шутов Ф.А. Упрочнённые газонаполненные пластмассы. М.: Химия, 1980. 224 с.

5 Мартынов А.В. Повышение эффективности работы теплоизолированных нефтепродуктопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13. Уфа, 1973. 152 с.

6 Крашенинников А.Н. Оптимальная конструкция монолитной теплоизоляции для бесканальных тепловых сетей // Электрические станции, 1978. № 2. С. 44-46.

7 Чижова Л.А., Панов Ю.Т. Интегральные пенотермопласты повышенной прочности // Современные наукоемкие технологии. Пенза: Академия естествознания, 2005. №11. С.12-13.

8 Булатов Г.А. Теплоизоляция магистральных газо- и нефтепроводов // Итоги науки и техники. Сер. Трубопроводный транспорт. М.: ВИНТИ, 1986. Т. 2. С. 73-92.

9 Влияние температуры формы на некоторые характеристики интегральных пенополиуретанов / Крагис И.Ж. [и др.] // НТС. Модификация полимерных материалов. Рига: Наука, 1978. № 7. С. 183-187.

10 Кучинский Т.М. Особенности распределения плотности в пеноблоке // НТС. Проблемы нефти и газа в Тюмени. Тюмень. 1983. № 59. С. 57-59.

11 Влияние технологии формования пенополиуретана на его свойства / Кудряшова А.И. [и др.] // Строительные материалы. 1983. № 7. С. 25.

12 Голиков А.Д., Иванов В.И. Влияние кажущейся плотности и влажности на теплофизические свойства пенопластов // Химия и технология производства, переработки и применения полиуретанов и сырья для них: материалы Всесоюзн. науч.-техн. конф. - Владимир: Изд-во ВНИИСС, 1984. С. 86-88.

13 Свод правил СП 50. 13330.2012 «СНиП 23.-02.-2003. Тепловая защита зданий» Приложение П. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.

14 Новиченок Н.Л. Шульман З.П. Теплофизические свойства полимеров. Минск Наука и техника, 1971. 120 с.

References

- 1 Polivoda F.A., Sokolovsij R.I. Optimizaciya teploizolyacii iz penopoliuretana // Ehnergosberezhenie i vodopodgotovka. 2009. №3. s.37-39. [in Russian].
- 2 Legke betony s integralnym raspolozheniem krupnogo zapolnitelya dlya stenovyh orgazhdenij / Pichugin A. P. [i dr.] // Resursoehnergoehffektivnye tekhnologii v stroitelnom komplekse regiona. Saratov: SGTU, 2012. s.78-82. [in Russian].
- 3 Galiullin M.M. Razrabotka metodov povysheniya ekonomichnosti i ehffektivnosti ehkspluatacii teploizolirovannyh truboprovodov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.15.13. Ufa, 1987. 177s. [in Russian].
- 4 Berlin A.A., Shutov F.A. UprochnYonnyie gazonapolnennyye plastmassyi. M.: Himiya, 1980. 224 s. [in Russian].
- 5 Martyinov A.V. Povyshenie ehffektivnosti raboty teploizolirovannyh nefteproduktoprovodov: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.15.13. Ufa, 1973. 152 s. [in Russian].
- 6 Krashennnikov A.N. Optimalnaya konstruktsiya monolitnoy teploizolyatsii dlya beskanalnyh teplovyh setey // Elektricheskie stantsii. 1978. № 2. s. 44-46. [in Russian].
- 7 Chizhova L.A., Panov Yu.T. Integralnyie penotermoplastyi povyshennoy prochnosti // Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. Penza: Akademiya estestvoznaniya, №11. s.12-13. [in Russian].
- 8 Bulatov G.A. Teploizolyatsiya magistralnyh gazo- i nefteprovodov // Itogi nauki i tekhniki. Ser. Truboprovodnyiy transport. M.: VINITI, 1986. t. 2. s. 73-92. [in Russian].
- 9 Vliyanie temperaturyi formy na nekotoryie harakteristiki integralnyh penopoliuretanov / Kragis I.Zh. [i dr.] // NTS. Modifikatsiya polimernykh materialov. Riga: Nauka, 1978. № 7. s. 183-187. [in Russian].

10 Kuchinskiy T.M. Osobennosti raspredeleniya plotnosti v penobloke // NTS. Problemyi nefiti i gaza v Tyumeni. Tyumen. 1983. № 59. s. 57-59. [in Russian].

11 liyanie tehnologii formovaniya penopoliuretana na ego svoystva / Kudryashova A.I. [i dr.] // Stroitelnyie materialyi. 1983. № 7. s. 25. [in Russian].

12 Golikov A.D., Ivanov V.I. Vliyanie kazhuscheysya plotnosti i vlazhnosti na teplofizicheskie svoystva penoplastov // Himiya i tehnologiya proizvodstva, pererabotki i primeneniya poliuretanov i syirya dlya nih: materialyi Vsesoyuzn. nauch.-tehn. konf. - Vladimir: Izd-vo VNISS, 1984. s. 86-88. [in Russian].

13 Svod pravil SP 50.13330.2012 «SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniy» Prilozhenie P. M.: Minregion Rossii, 2012. 139s. [in Russian].

14 Novichenok N. L. Shulman Z.P. Teplofizicheskie svoystva polimerov. Minsk: nauka i tekhnika, 1971, 120 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Галиуллин М.М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

M.M. Galiullin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Mathematics”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation
e-mail: galiullinm2015@yandex.ru

Баязитов М.И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

M.I. Bayazitov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Technological Machines and Equipment”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Репин В.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V.V. Repin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Heat Power Industry”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Хафизов Ф.М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

F.M. Khafizov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Heat Power Industry”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation