



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)**

КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Сборник статей по материалам

**I Всероссийской научно-технической конференции, посвящённой
памяти доктора технических наук, профессора
А.А. Сандера**

16 – 18 ноября 2016 г.

**Новосибирск
2017**

УДК 697.4
ББК 31.38.76
Э65

Организационный комитет:

Сколубович Ю.Л. – д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин), председатель (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск);

Середович В.А. – канд. техн. наук, проф., нач. УНИР – ведущий науч. сотр. НГАСУ (Сибстрин) зам. председателя (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск);

Себешев В.Г. – канд. техн. наук, проф. (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск);

Садыков Р.А. – д-р техн. наук, проф. (КГАСУ, Казань);

Зоря И.В. – канд. техн. наук, доцент (СибГИУ, Новокузнецк);

Панфёров В.И. – д-р техн. наук, профессор (ЮУрГУ, Челябинск);

Мирошниченко Т.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент (ТГАСУ, Томск);

Толстова Ю.И. – канд. техн. наук, доцент (УрФУ, Екатеринбург);

Яременко С.А. – канд. техн. наук, доцент (ВГАСУ, Воронеж);

Суслов Д.Ю. – канд. техн. наук, доцент (БГТУ, Белгород);

Мансуров Р.Ш. – канд. техн. наук, доц. (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск);

Рафальская Т.А. – канд. техн. наук, доц. (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск).

Э65 Энергосбережение и энергоэффективность на промышленных предприятиях и в жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы I Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти д-ра техн. наук, профессора, А.А. Сандера. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), Изд. АНС «СибАК», 2017. – 212 с.

ISBN 978-5-4379-0511-1

В сборнике представлены доклады по вопросам создания и использования энергоэффективных и энергосберегающих технологий в области теплогазоснабжения, климатизации зданий и сооружений, использования и выработки тепловой энергии.

ISBN 978-5-4379-0511-1

ББК 31.38.76

© АНС «СибАК», 2017

Действительный член Жилищно-коммунальной академии, советник Российской академии архитектуры и строительных наук. Опубликовал около 50 печатных работ, подготовил 17 кандидатов наук. Анга Александрович награжден двумя орденами Трудового Красного Знамени, шестью медалями, двумя ведомственными знаками.

Всю свою трудовую деятельность Анга Александрович связал с «Сибстрином», в котором он проработал 43 года и кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, которой он заведовал с 1965 – 1991 гг.

ВОСПОМИНАНИЯ ОБ УДИВИТЕЛЬНОМ УЧЕНОМ И ЧЕЛОВЕКЕ САНДЕРЕ АНГЕ АЛЕКСАНДРОВИЧЕ

Зоря Ирина Васильевна

*канд. техн. наук, доцент кафедры
теплогазоснабжения, водоотведения и вентиляции,
директор архитектурно-строительного института
Сибирского государственного индустриального университета,
РФ, г. Новокузнецк*

Мне посчастливилось в жизни учиться у этого замечательного человека. Мы познакомились в сентябре 1989 года. Я приехала в СибСТРИН, чтобы попросить Ангу Александровича взять меня к себе в аспирантуру, на заочное обучение, в качестве научного руководителя. Этот удивительно интеллигентный человек не отказал, и мы начали работу над моей диссертацией.

Живя и работая в Новокузнецке, я всегда с большим удовольствием приезжала на консультации в Новосибирск. Общение с Ангой Александровичем было удивительно плодотворным. Он умел так корректно проконсультировать аспиранта, что были видны не только очевидные промахи в научной работе, но сразу прослеживались пути их разрешения. Его научное мышление было очень многогранно и вызывало огромное уважение. Анга Александрович научил меня самостоятельно принимать решения и нести за них ответственность, научил не опускать руки и даже в случае неудач доводить свою работу до логического завершения. Эти качества очень помогли мне в моей дальнейшей карьере.

Я знала о его непростой судьбе, о его военном прошлом. И от этого было еще удивительнее, что человек, пройдя тяжелый фронтной путь, сумел сохранить в себе лучшие человеческие качества, которые притягивали к Анге Александровичу людей всех возрастов. Анга Александрович, без преувеличения, был известным

в России ученым в своей области, и при этом он оставался очень доброжелательным и удивительно скромным и глубоко порядочным человеком.

Я очень благодарна судьбе, что свои первые шаги в науке, я делала под руководством Анги Александровича, под его чутким руководством. К большому сожалению, я была его последним аспирантом и защитила диссертацию в сентябре 1995 года, уже после смерти своего руководителя, но я для себя знала, что просто обязана защитить свою диссертационную работу в знак огромной благодарности этому удивительному Человеку и Учителю.

САНДЕР АНГА АЛЕКСАНДРОВИЧ И СТУДЕНТЫ

Мухин Алексей Иванович

*канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Новосибирского государственного архитектурно-
строительного университета (Сибстрин),*

РФ, г. Новосибирск

выпускник кафедры 1982 года

Первый раз фамилию Сандер мне довелось услышать еще до того, как я стал студентом. Заочное знакомство с этим человеком произошло благодаря моему отцу, который учился в СибСТРИНе в одно время с Ангой Александровичем. Нет, они не были одногруппниками: отец учился на два курса старше. Но они выбрали одну и ту же специальность – «Теплогазоснабжение и вентиляция», и в те первые послевоенные годы (отец окончил институт в 1951 году) не познакомиться друг с другом два бывших фронтовика просто не могли. Не буду говорить, что их знакомство переросло в дружбу, но уважительное отношение друг к другу они пронесли через всю свою жизнь. Иначе и быть не могло, так как людей того поколения объединяло многое, и в первую очередь, тяжелые испытания войной. Но было и еще одно очень важное обстоятельство: это целеустремленность и ответственность. Получить высшее образование в полуголодные послевоенные - военные годы и стать инженером было дано не всем, а только самым преданным избранному делу, любимой профессии.

Не знаю, могла ли эта преданность профессии моего родителя каким-то не известным науке образом передаться на генетическом уровне, но к моменту окончания школы выбор будущей специальности мною был уже сделан. И на следующие пять лет этот выбор связал

Повышение эффективности математических методов расчета систем газоснабжения обусловлено важностью и масштабом моделируемых сетей. Необходимо свести к минимуму время вычисления и объем используемой памяти ЭВМ при увеличении точности вычисленных значений.

Список литературы:

1. Суслов Д.Ю. Разработка системы газоснабжения сельскохозяйственного предприятия с использованием биогаза // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 183-186.
2. Hamzah S. N. Newton loop-node analysis study on gas pipeline network // Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering Universiti Malaysia Pahang 2010.
3. Nasr G.G., Connor N.E. Natural Gas Engineering and Safety Challenges // London. 2014, 418 p.
4. Zulkifli A. M. Optimisation of gas flow using network analysis (newton loop-node method) // Malaysia, 10 p.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ТЕПЛОПОТЕРИ

Чапаяев Денис Борисович

канд. техн. наук, доц.

*кафедры теплогазоснабжения, водоотведения и вентиляции
Сибирского государственного индустриального университета,*

РФ, г. Новокузнецк

E-mail: tgsu-sibsiu@mail.ru

Зоря Ирина Васильевна

канд. техн. наук, доц.

*кафедры теплогазоснабжения, водоотведения и вентиляции,
директор архитектурно-строительного института,
Сибирского государственного индустриального университета,*

РФ, г. Новокузнецк

E-mail: tgsu-sibsiu@mail.ru

Ивакина Алена Андреевна

ассистент

*кафедры теплогазоводоснабжения, водоотведения и вентиляции
Сибирского государственного индустриального университета,*

РФ, г. Новокузнецк

E-mail: tgsy-sibsiu@mail.ru

TO THE QUESTION OF INFLUENCE OF STRUCTURE THERMAL ISOLATION TO LOSSES OF HEAT

Denis Chapayev

*candidate of Science, assistant professor of Heat,
Gas and Water Supply, Drainage and Ventilation department
of Siberian State Industrial University,
Russia, Novokuznetsk*

Irina Zorya

*candidate of Science, as. professor of Heat,
Gas and Water Supply, Drainage and Ventilation department
of Siberian State Industrial University,
Russia, Novokuznetsk*

Alena Ivakina

*assistant of Heat, Gas and Water Supply, Drainage and Ventilation
department of Siberian State Industrial University,
Russia, Novokuznetsk*

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы влияния структуры материала на эффективность теплоизоляции трубопроводов. Для исследования создана экспериментальная установка, позволяющая структуру теплоизоляции на трёх образцах из труб. Решение вопроса влияния структуры изоляции на ее теплоэффективность позволит создавать более дешевые качественные энергосберегающие материалы, как, например, теплоизолированная труба и теплоизолирующая поверхность с остиями.

ABSTRACT

Questions of influence of structure of a material on efficiency of thermal isolation of pipelines are considered. For research the experimental installation, allowing structure of thermal isolation on three samples from

pipes is created. The decision of a question of influence of structure of isolation on its thermal efficiency will allow to create cheaper qualitative materials saving up energy, as, for example, a pipe with thermal isolation and isolating from losses of heat a surface.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая изоляция трубопроводов, теплопотери, теплоизоляционный материал.

Keywords: System of heat supply, thermal isolation of pipelines, heat losses, thermal isolation material.

Решение вопроса влияния структуры изоляции на ее теплоэффективность позволяет создавать более дешевые качественные энергосберегающие материалы, как, например, теплоизолированная труба [2] и теплоизолирующая поверхность с осями [3].

В теплоизоляции основную изоляционную роль играет воздух, находящийся в неподвижном состоянии в малых объемах, так как он обладает наибольшими теплотехническими свойствами. Теплопроводность двухфазных (твердое вещество и воздух) теплоизоляционных материалов несколько выше, чем у воздуха (при температурном режиме описанной ниже экспериментальной установки 20–60°C коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{в}} = 0,026\text{--}0,029$ Вт/(м·град) [1]), ввиду относительно большого его значения у твердой фазы материала.

Важную роль играет структура двухфазного теплоизоляционного материала. Если рассматривать, например, остевую структуру с расположением остей перпендикулярно поверхности трубы и когда их протяженность равна толщине теплоизоляционного слоя и мелкоячеистую структуру, то в первом случае ости играют роль «мостиков холода», снижая теплоизоляционный эффект. В мелкоячеистой структуре «мостиков холода» не наблюдается, суммарный объем газовой фазы имеет наибольшую долю (при большой пористости), за счет чего снижается значение коэффициента его теплопроводности. Таким образом, теплоизоляционные материалы с мелкоячеистой структурой должны давать больший теплоизоляционный эффект.

Проверка этого предположения осуществлялась на экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке 1.

Экспериментальная установка представляет собой контур из трубы $\text{Ø}20 \times 2,5$ мм, по которому протекает вода, подогретая до температуры $t_{\text{тр}} = 60^\circ\text{C}$ в электрическом котле. В контур вмонтированы три образца из труб $\text{Ø}20 \times 2,5$ мм длиной 0,5 м. каждый, с разной теплоизоляционной конструкцией:

- образец 1: в качестве покровного слоя – слой плотной резины толщиной 2 мм (коэффициент теплопроводности резины $\lambda_p = 0,15 \text{ Вт/(м·град)}$ [4]), на внутренней поверхности которого находится множество упругих резиновых остей средней (по высоте) толщиной 2,5 мм, расположенных в коридорном порядке с шагом 5,5 мм (в свету) перпендикулярно поверхности покровного слоя. Толщина зафиксированного остями воздушного зазора между металлической трубой и покровным слоем равна длине ости 7 мм;

- образец 2: в качестве покровного слоя – слой плотной резины толщиной 2 мм; пространство между трубой и покровным слоем заполнено высокопористым материалом мелкоячеистой структуры с твердой фазой из полиэстера (коэффициент теплопроводности полиэстера $\lambda_{\text{п}} = 0,14 \text{ Вт/(м·град)}$ [4]). Толщина твердой оболочки пор в среднем 0,5 мм, диаметр воздушных пор в среднем 1,5 мм. Толщина слоя теплоизоляции составляет 10,5 мм;

- образец 3 – к наружной поверхности трубы вплотную прилегает покровный слой из плотной резины толщиной 2 мм.

К наружной поверхности покровного слоя образцов прикреплены накладные датчики температуры, подающие сигнал на электронный термометр с разрешением $0,1^\circ\text{C}$. Влияние структуры тепловой изоляции на теплопотери устанавливалось по их показаниям при разной скорости воды в контуре установки. Результаты эксперимента представлены в таблице.

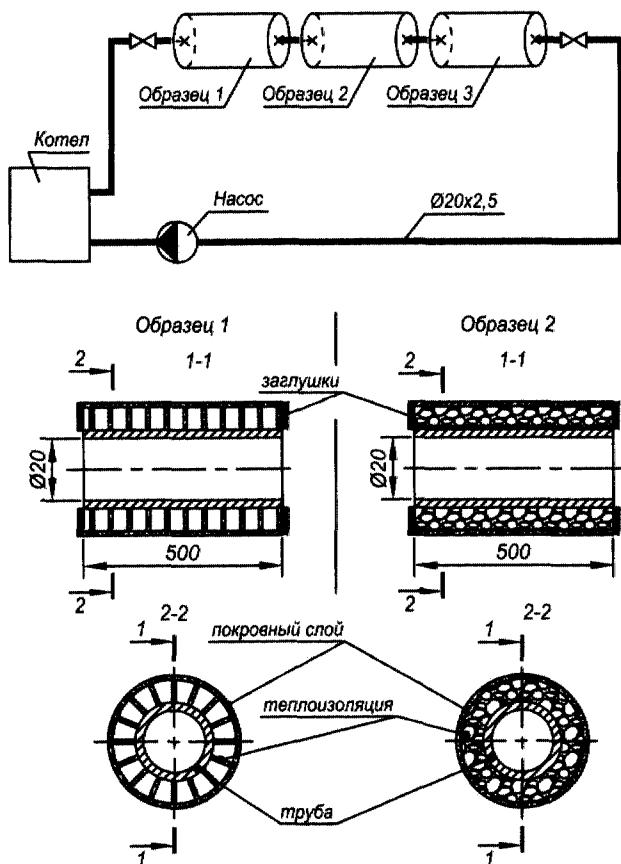


Рисунок 1. Экспериментальная установка и образцы

Следует сказать, что на данном этапе исследований в качестве твердой фазы теплоизоляции в образцах 1, 2 использованы разные, но обладающие близкими теплоизолирующими свойствами материалы (разница между значениями λ_p и λ_n составляет 7 %). В дальнейшем, для более корректного сравнения, предполагается использование одного материала твердой фазы.

Таблица 1.

Результаты эксперимента

Скорость воды, м/с.	Температура внешней поверхности покровного слоя образцов t_n , °C					
	образец 1		образец 2		образец 3	
	замеры	среднее	замеры	среднее	замеры	среднее
0,05	31,2	30,8	30,0	29,7	35,6	35,1
0,08	30,9		29,7		35,0	
0,13	30,8		29,8		35,2	
0,16	30,4		29,2		34,6	

Результаты эксперимента практически не зависят от скорости воды в контуре. При этом значение t_n образца 1 ниже, чем у образца 3, в среднем на 12 %; значение t_n образца 2 – на 15 %.

Определим линейную плотность теплового потока q_l всех трех образцов, для чего необходимо рассчитать эквивалентный коэффициент теплопроводности теплоизоляционных слоев $\lambda_{эк}$ образцов 1, 2.

Образец 1. Теплоизоляцию образца 1 можно представить как ряд параллельных теплового потоку Q участков шириной $A_p = 0,0025$ м, состоящих из резины, и воздушных пустот шириной $A_b = 0,0055$ м, чередующихся между собой и расположенных в коридорном порядке относительно поверхности трубы; толщина слоя изоляции составляет $\delta_{из} = 0,007$ м (рисунок 2а).

При описанных выше условиях воздух в слое теплоизоляции образца 1, согласно [3, с. 99–100], неподвижен, поэтому перенос теплоты в воздушном слое обусловлен теплопроводностью. В этом случае значение $\lambda_{эк}$ определяется по формуле, [5, с. 43]:

$$\lambda_{эк} = \delta_{из} / \left(\frac{A_p + A_b}{\frac{A_p}{\delta_{из}/\lambda_p} + \frac{A_b}{\delta_{из}/\lambda_b}} \right) =$$

$$= 0,007 / \left(\frac{0,0025 + 0,0055}{\frac{0,0025}{0,007/0,15} + \frac{0,0055}{0,007/0,028}} \right) = 0,07 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град.}} \quad (1)$$

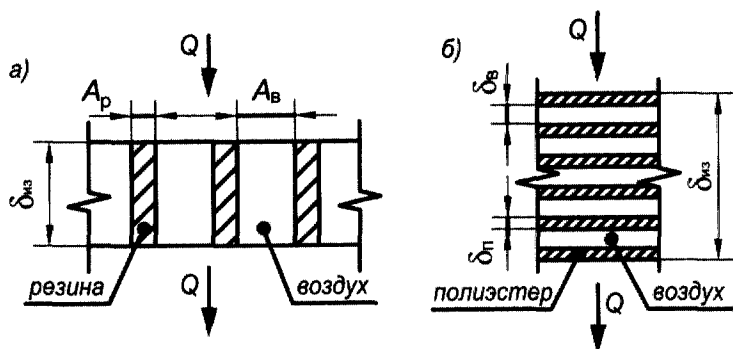


Рисунок 2. Расчетные схемы теплоизоляционного слоя
а – схема образца 1; б – схема образца 2

В формуле (1) значение $\lambda_{\text{в}}$, равное 0,028 Вт/(м·град), принято для средней температуры теплоизоляционной конструкции образца

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{тр}} + t_{\text{п}}}{2} = \frac{60 + 30,8}{2} = 45,4^{\circ}\text{C}.$$

Образец 2. Теплоизоляцию образца 2 в поперечной трубе сечении можно представить, как перпендикулярные тепловому потоку Q чередующиеся между собой слои полиэстера толщиной $\delta_{\text{п}} = 0,0005$ м и воздушные прослойки толщиной $\delta_{\text{в}} = 0,0015$ м; всего теплоизоляция толщиной $\delta_{\text{из}} = 0,0105$ м может состоять из шести слоев полиэстера и пяти воздушных прослоек (рисунок 2б).

Воздух в прослойках неподвижен в связи с их малой толщиной (см. [1, с. 99–100]). В этом случае, согласно [5, с. 41], значение $\lambda_{\text{ок}}$:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{ок}} &= \delta_{\text{из}} / \left(6 \frac{\delta_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п}}} + 5 \frac{\delta_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}} \right) = \\ &= 0,0105 / \left(6 \frac{0,0005}{0,14} + 5 \frac{0,0015}{0,028} \right) = 0,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град.}} \end{aligned} \quad (2)$$

Линейная плотность теплового потока q_l образцов 1, 2 при $t_{\text{тр}} = 60^{\circ}\text{C}$ и средних значениях $t_{\text{п}}$ (из таблицы) определяется по формуле [1, с. 22]

$$q_l = \frac{2\pi(t_{\text{тр}} - t_n)}{\frac{1}{\lambda_{\text{эк}}} \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{тр}}} + \frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_p}{d_{\text{из}}}}, \quad (3)$$

где: $d_{\text{тр}}$, $d_{\text{из}}$, d_p – наружные диаметры, соответственно, трубы, изоляции, покровного слоя из резины.

Для образца 3, согласно [1, с. 20]

$$q_l = \frac{\pi(t_{\text{тр}} - t_n)}{\frac{1}{2\lambda_{\text{эк}}} \ln \frac{d_p}{d_{\text{тр}}}} \quad (4)$$

Образец 1 – $q_{l1} = 28$ Вт/м; образец 2 – $q_{l2} = 13$ Вт/м; образец 3 – 183 Вт/м. Линейная плотность теплового потока образца 2 меньше, чем образца 1 на

$$\Delta_q = \frac{q_{l1} - q_{l2}}{q_{l1}} = \frac{28 - 13}{28} \cdot 100 = 54 \%$$

Таким образом, структура материала влияет на эффективность теплоизоляции трубопроводов. Теплоэффективность рассмотренной в статье теплоизоляции с островой структурой ниже, чем теплоизоляции с мелкоячеистой структурой на 54 %.

Список литературы:

1. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
2. Стерлигов В.В., Чекулаев А.А. Теплоизолированная труба // Полезная модель № 105709 RU. 2001. Бюл. № 17.
3. Стерлигов В.В. Условия стагнации воздушного слоя для теплоизоляции / В.В. Стерлигов, Е.А. Плюснина // Вестник Сибирского государственного промышленного университета. – 2014. – № 3 (9). – С. 44–47.
4. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов: справочник – М.: ФИЗМАТГИЗ, 1959. – 356 с.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.