

УДК 52-334.6

*Галиакбаров А.Т., к.т.н., доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

*Леонтьев Е.В., магистрант, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: в данной статье проведён анализ и сравнительная характеристика теплофизических параметров различных полимерных материалов. Проведён эксперимент с образцом трубы нефтяного сортамента из композитного материала с целью определения его теплофизических характеристик.

Ключевые слова: теплоснабжение, полимерные материалы, композитные материалы, нефтяные трубы, эксперимент, теплофизические характеристики.

Композитные материалы – это материалы, состоящие из двух или более различных компонентов, обычно различающихся по типу и характеристикам. Они создаются путем сочетания этих компонентов таким образом, чтобы раскрыть преимущества каждого из них и обеспечить желаемые свойства конечного материала.

Полимерные материалы – класс материалов, состоящий из молекул, образованных длинными цепями или молекулярными структурами, называемыми полимерами. Полимеры образуются путем химической реакции, известной как полимеризация, при которой маломолекулярные мономеры объединяются в длинные цепи или сети.

Полимерные и композитные материалы широко используются в различных отраслях (водоснабжение, теплоснабжение, нефтегазовая промышленность, автомобилестроение и др.) Конкретные значения теплофизических характеристик материалов могут варьироваться в зависимости от различных факторов, таких как, типа используемого сырья, способов производства и т.п. Приводим приблизительные значения некоторых

теплофизических характеристик для распространенных материалов в табл. 1 [3].

Таблица 1

Теплофизические характеристики полимеров и композитов

Материал	Плотность (г/см ³)	Теплопроводность (Вт/(м·К))	Теплоемкость (Дж/(г·°C))	Температурный диапазон (°C)	Коэффициент температурного расширения (*10 ⁻⁶ , 1/°C)
Полиэтилен (PE)	0,92 – 0,90	0,33 – 0,51	2,0 – 2,4	-40 – 80	100 – 200
Полиэтилен низкого давления (ПНД)	0,91 – 0,94	0,3 – 0,5	2,0 – 2,4	-50 – 85	150 – 200
Полиэтилен высокого давления (ПВД)	0,94 – 0,97	0,35 – 0,5	2,0 – 2,4	-50 – 85	100 – 150
Полипропилен (PP)	0,89 – 0,91	0,13 – 0,24	1,8 – 2,1	-20 – 100	80 – 150
Поливинилхлорид (ПВХ)	1,3 – 1,45	0,14 – 0,21	1,2 – 1,3	-10 – 60	50 – 90
Полибутен (PB)	0,92 – 0,93	0,15 – 0,18	2,0	-20 – 80	100 – 150
Полипропилен-реакторный (PP-R)	0,89 – 0,91	0,19 – 0,24	2,0	-20 – 100	80 – 150
Кросс-связанный полиэтилен (PEX)	0,94 – 0,96	0,35 – 0,45	2,0 – 2,4	-40 – 95	100 – 200
Стеклопластик (GRP)	1,5 – 2,0	0,2 – 0,3	1,0 – 1,2	-40 – 150	5 – 20
Полиэтилен высокой плотности (ПВП)	0,94 – 0,97	0,3 – 0,5	2,0 – 2,4	-50 – 80	120 – 180
Полиэтилен низкой плотности (ПНП)	0,91 – 0,94	0,33 – 0,42	2,0 – 2,4	-40 – 60	150 – 200
Полипропилен для нефтяных труб (PP для нефтяных труб)	0,90	0,2 – 0,25	1,8 – 2,1	-20 – 90	80 – 150

Приведенные в таблице материалы имеют относительно низкую теплопроводность. Например, полипропилен и поливинилхлорид имеют низкую теплопроводность, что делает их хорошими материалами для изоляции. Большинство материалов в списке имеют схожие значения теплоемкости, однако, например, полиэтилен и материалы на его основе

могут иметь высокие значения теплоемкости. В то же время стеклопластик имеет низкую теплоемкость. Параметр температурного диапазона указывает на температурные условия, в которых материал может безопасно использоваться. Например, полипропилен и стеклопластик имеют широкий диапазон рабочих температур, что делает их универсальными, но материалы с низким верхним пределом температурного диапазона могут деформироваться при взаимодействии с высокой температурой. Коэффициент температурного расширения показывает, как меняется размер материала при изменении его температуры. Практически все представленные материалы имеют схожий средний коэффициент температурного расширения, однако стеклопластик выделяется самым низким значением расширения [1, 2].

Полиэтилен хорошо подходит для создания теплоизоляции, что делает его отличным материалом для облицовки и изоляции теплоснабжающих труб. Так же он подходит для средних температурных режимов, что позволяет использовать его в системах теплоснабжения, где требуется поддержание тепла при температурах от -40°C до 80°C . В то время как стеклопластик обладает ещё меньшей теплопроводностью и имеет больший температурный диапазон. Имеет превосходящую плотность чем полиэтилен, что делает, например, трубы из него более прочными.

Трубы, изготовленные изполиэтилена низкого давления, могут использоваться в системах горячего водоснабжения с низкими температурами, например, в частных домах. Они легкие, устойчивы к коррозии.

Трубы, изготовленные изполиэтилена высокого давления, имеют отличную устойчивость к коррозии и химическим воздействиям, что делает их подходящими для систем теплоснабжения. Они могут использоваться как в подземных, так и надземных системах, включая горячее водоснабжение и отопление.

Многие системы теплоснабжения в жилых и коммерческих зданиях используют трубы из полипропилена. Этот материал хорошо подходит для систем горячего водоснабжения и отопления. Преимущества полипропилена включают низкую теплопроводность, что способствует снижению потери тепла и устойчивость к коррозии.

ПВХ трубы могут быть использованы в системах теплоснабжения. Они легкие, долговечные и обладают хорошей химической стойкостью. Но они плохо подходят для систем теплоснабжения, особенно для систем с высокой температурой, из-за ограничений этого материала в отношении термической устойчивости.

Трубы из полибутена обладают высокой теплоизоляцией, что позволяет снизить потери тепла в системе теплоснабжения. Этот материал не подвержен коррозии и не реагирует с водой или химическими веществами. Он сохраняет свои свойства при низких температурах, что делает его подходящим для систем теплоснабжения, работающих в холодных условиях.

Трубы из полипропилена-реакторного при том, что имеют схожие теплофизические характеристики с другими описанными материалами, редко находят применение в теплоснабжении.

Трубы из кросс-связанного полиэтилена широко используются в системах теплоснабжения. РЕХ-трубы обладают хорошей устойчивостью к высоким температурам и химической стойкостью, что делает их подходящими для транспортировки горячей воды и теплоносителей в системах отопления и теплоснабжения.

Трубы из полиэтилена высокой плотности и полиэтилена низкой плотности обычно не используются непосредственно в системах теплоснабжения, особенно в системах с высокой температурой, так как они могут не обладать достаточной термической устойчивостью для горячей воды, они могут быть подвержены деформации при высоких температурах. Они чаще применяются в системах холодного водоснабжения и для других низкотемпературных приложений, таких как подземные газопроводы.

Полипропилен для нефтяных труб изначально не предназначен для использования в системах теплоснабжения, но его теплофизические характеристики могут позволить его использование в этой области [1, 2].

Были проведены экспериментальные исследования по определению теплопроводности стеклопластиковой трубы нефтяного сортамента. Экспериментальная установка представляет собой образец трубы с помещённым внутрь нагревательным элементом, мощность которого регулируется лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) (рис. 1, 2). Торцы трубы закрыты теплоизоляционным слоем. В стенку трубы равномерно группами по всей длине были установлены 12 термопар типа – К, помещённые на глубину 12 мм, 9 мм, 3,6 мм и 0 мм. Термопары подключены к мультиметру типа «Актакоммультиметр АМ-1171», сам мультиметр подключён к компьютеру. Полученные результаты с мультиметра анализировались программой «DMMDataPrecessor».



Рис. 1 Внешний вид образца с установленными термопарами

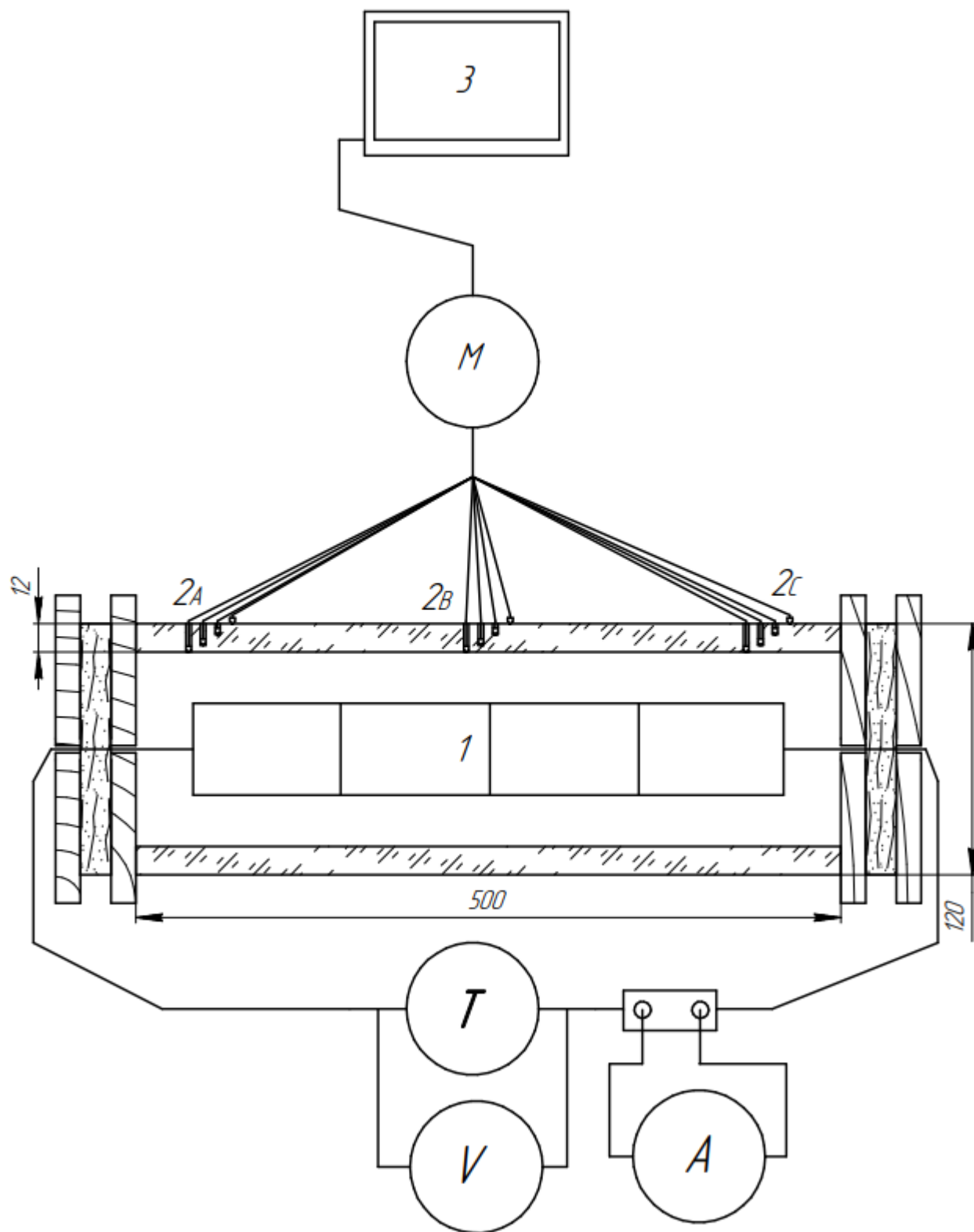


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Т – ЛАТР, М – мультиметр, V – вольтметр, А – амперметр, 1 – нагревательный элемент, 2А, 2В, 2С – группы термопар, 3 – компьютер для записи показаний экспериментальных данных.

В ходе эксперимента определялись коэффициенты теплопроводности цилиндрической трубы (λ). Для расчетов использовалась формула потери теплоты через многослойную стенку трубы (Q_1).

Расчет теплопроводности цилиндрической трубы выражается из формулы для количества тепла:

$$Q = \frac{2\pi\lambda L(T_1 - T_2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}, \quad (1)$$

Выражая коэффициент теплопроводности (λ) из формулы (1), получим формулу:

$$\lambda = \frac{Q * \ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi L(T_1 - T_2)}. \quad (2)$$

где Q – количество тепла, проходящего через трубу за единицу времени (Вт), λ – коэффициент теплопроводности материала трубы (Вт/(м·К)), L – длина трубы (м), T_1 – температура внутренней поверхности трубы (°C), T_2 – температура наружной поверхности трубы (°C), r_1 – внутренний радиус трубы (м), r_2 – внешний радиус трубы (м).

Для расчета потери тепла через торцевые стенки можно использовать формулу:

$$Q_1 = \frac{T_1 - T_2}{\Sigma(R_i)} * F, \quad (3)$$

где Q_1 – потеря тепла через стенку (Вт). T_1 и T_2 – температура на разных сторонах изоляции (°C) F – площадь поверхности изоляции (м²). R_i – тепловое сопротивление i -го слоя (Вт/(м·°C)).

Эксперимент 1 заключался в постепенном нагреве трубы изнутри при следующих параметрах на ЛАТРе: напряжение 10.1 V, сила ток 3,33 А, мощность 33,633 Вт. В ходе эксперимента были получены значения параметров, приведённые в табл. 2.

Данные, полученные с термопар в конце эксперимента, указаны в табл. 3, рис. 3.

Таблица 2

Значения, полученные в результате эксперимента и расчётов

Значения, полученные для коэффициента теплопроводности (λ) по формуле (2)							
Параметры	Q, Вт	λ , Вт/(м·К)	L, м	T ₁ , °C	T ₂ , °C	r ₁ , м	r ₂ , м
Показатели	33,633	0,221	0,5	43,5	38,4	0,054	0,06
Значения, полученные для коэффициента потери тепла (Q ₁) по формуле (3)							
Параметры	Q ₁ , Вт	T ₁ , °C	T ₂ , °C	R _{1,3} , Вт/(м·°C)	R ₂ , Вт/(м·°C)	F, м ²	
Показатели	0,44	43,5	25,45	0,024	0,04	0,011	

Таблица 3

Среднее значение температур по трубе (°C)

Группа	0, мм	3,6, мм	9, мм	12, мм
A	37,6	37,8	38,0	39,9
B	40,8	49,8	51,5	51,7
C	36,7	37,4	37,1	38,9
Среднее значение	38,4	41,6	42,2	43,5

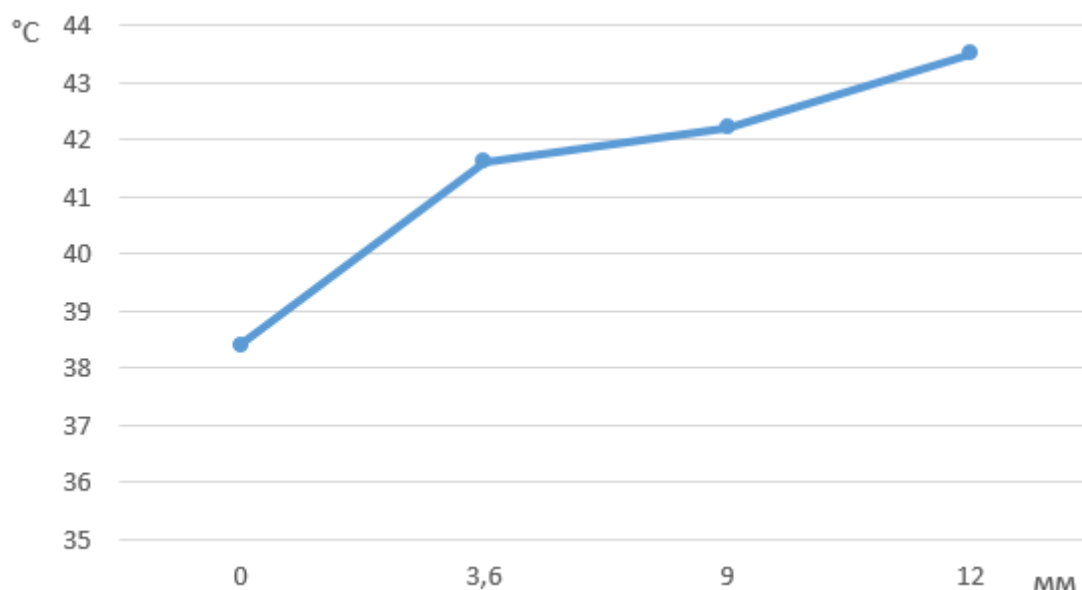


Рис. 3. График расположения термопар

На рис. 4 показан процесс проведения эксперимента, записанный в программе «DMMDataPrecessor». Эксперимент проводился до тех пор, пока внутри трубы не установился стационарный режим, это определено по изменениям показателей с термопар.

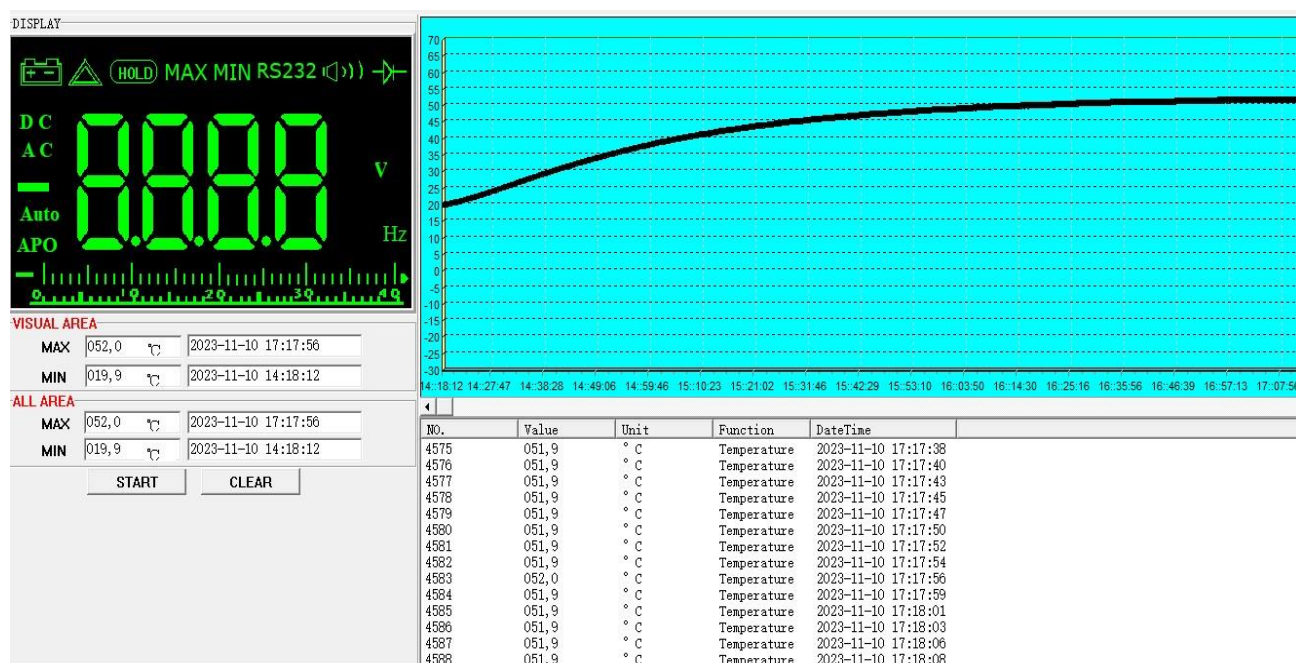


Рис. 4. График изменения температуры в стенке трубы от времени

Эксперимент 2 заключался в нагреве внутренней поверхности трубы большей мощностью. Следующие параметры: напряжение 15,5 V, ток 4,5 A, мощность 70 Вт. В ходе эксперимента были получены значения параметров, приведённые в табл. 4.

Данные, полученные с термопар в конце эксперимента, указаны в табл. 5, рис. 5.

Таблица 4

Значения, полученные в результате эксперимента и расчётов

Значения, полученные для коэффициента теплопроводности (λ) по формуле (2)							
Параметры	Q, Вт	λ , Вт/(м·К)	L, м	T ₁ , °C	T ₂ , °C	r ₁ , м	r ₂ , м
Показатели	70	0,156	0,5	77,9	63	0,054	0,06
Значения, полученные для коэффициента потери тепла (Q ₁) по формуле (3)							
Параметры	Q ₁ , Вт	T ₁ , °C	T ₂ , °C	R _{1,3} , Вт/(м·°C)	R ₂ , Вт/(м·°C)	F, м ²	
Показатели	0,76	77,9	46,7	0,024	0,04	0,011	

Таблица 5

Среднее значение температур по трубе (°C)

Группа	0, мм	3,6, мм	9, мм	12, мм
A	61	62	63,8	65,3
B	70	78	92,8	100
C	57,9	61,2	62,8	68,3
Среднее значение	63	67,1	72,5	77,9

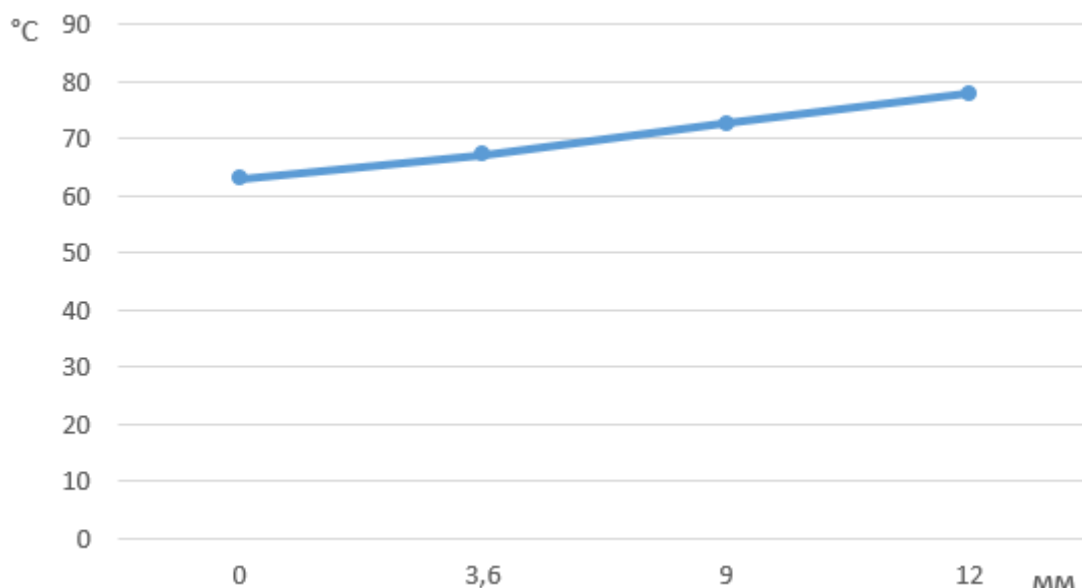


Рис. 5. График расположения термопар

На рис. 6 показан процесс проведения эксперимента, записанный в программе «DMMDDataPrecessor». Эксперимент проводился до тех пор, пока температура внутри трубы температура не достигла 100 °C и не было получено стационарное состояние этой температуры.

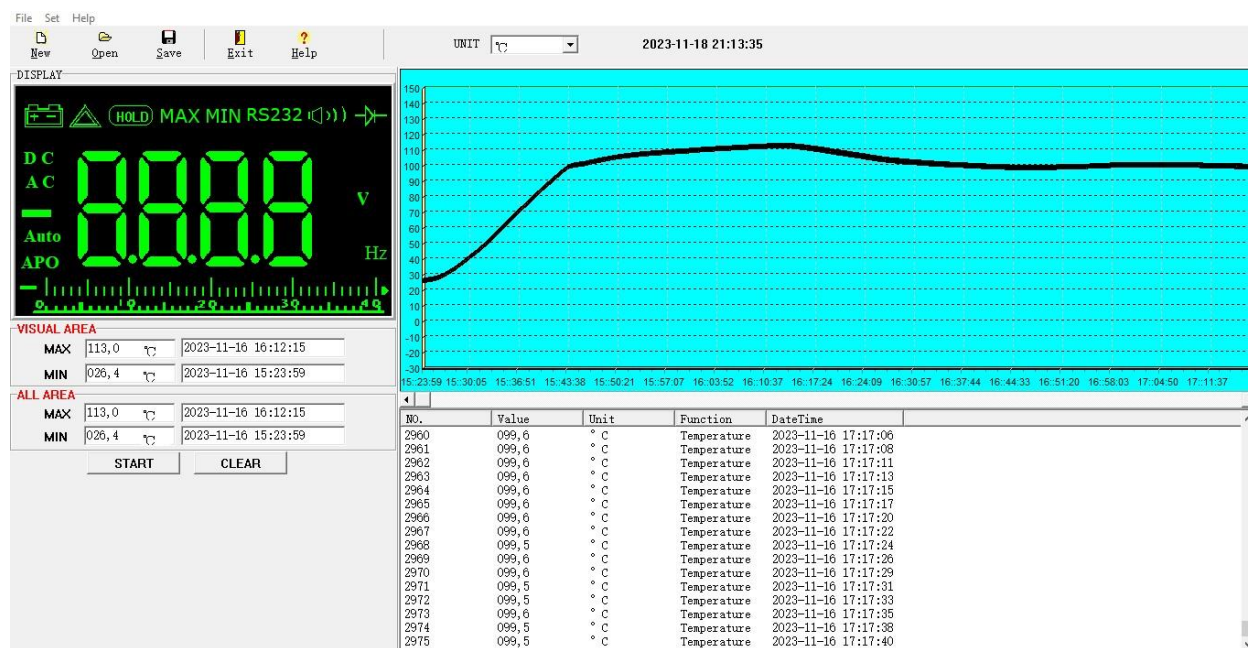


Рис. 6. График изменения температуры в стенке трубы от времени

В заключении можно сказать, что полученные экспериментальные данные в результате исследования параметра теплопроводности и др. для стеклопластиковой трубы нефтяного сортамента соответствуют исследовательским параметрам из табл. 1. Однако, при повышении температуры у материала стеклопластика теплопроводность понижается.

Список использованных источников

1. Егоров Д.А. Использование труб из полимерных материалов // Евразийский научный журнал. – 2016. – С. 317 – 327.
2. Мельникова М.А. Полимерные материалы: свойства, практическое применение: учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун – т, 2013. – 86 с.
3. Таблица теплопроводности материалов [Электронный ресурс] // URL: <https://clck.ru/35rThU> (дата обращения: 25.09.2023).

Galiakbarov A.T., Ph.D., Associate Professor, NaberezhnyeChelny Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Kazan (Volga Region) Federal University"

Leontiev E.V., master's student, NaberezhnyeChelny Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Kazan (Volga Region) Federal University"

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THERMAL PHYSICAL PROPERTIES OF COMPOSITE AND POLYMER MATERIALS

Abstract: this article analyzes and comparatively characterizes the thermophysical parameters of various polymer materials. An experiment was carried out with a sample of an oil pipe made of a composite material in order to determine its thermophysical characteristics.

Key words: heat supply, polymer materials, composite materials, oil pipes, experiment, thermophysical characteristics.