

В расчете на всех участках траектории использовались значения материальных параметров, найденные по специальной методике [3]: $p = 4$, $q = 0,8$, $b = 0,125$, $A = 595,34$ МПа, $\gamma = 240,56$.

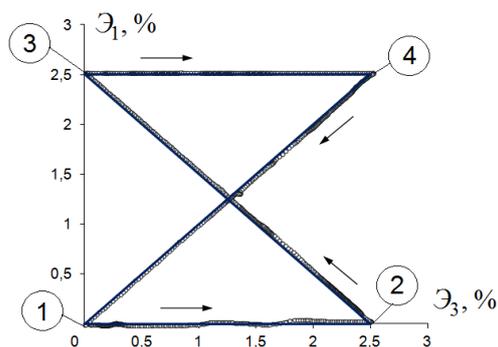


Рисунок 1

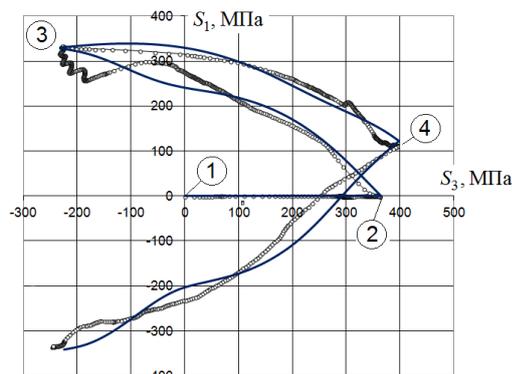


Рисунок 2

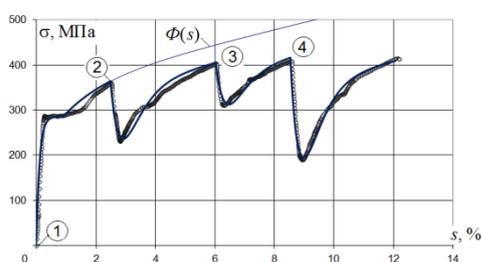


Рисунок 3

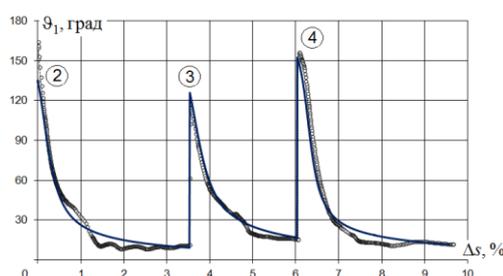


Рисунок 4

Как видно, принятые для модели данные достаточно хорошо соответствуют экспериментальным результатам, как по скалярным, так и по векторным свойствам. Это показывает достаточную для практических задач достоверность расчетных данных и приемлемую точность построенных аппроксимаций функционалов процессов в используемой математической модели теории процессов применительно к данному классу неаналитических многозвенных кусочно-ломаных траекторий.

Список использованных источников

1. Зубчанинов В.Г. Механика процессов пластических сред. М.: Физматлит, 2010. 352 с.
2. Зубчанинов В.Г. Устойчивость и пластичность. Т.2. Пластичность. М.: Физматлит, 2008. 336 с.
3. Зубчанинов В.Г., Алексеев А.А., Гульятев В.И. Моделирование процессов упругопластического деформирования материалов по многозвенным кусочно-ломаным прямолинейным траекториям // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2017. № 3. С. 203–215. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.3.12

УДК 677.076.444: 536.248.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТАХ МАТЕРИАЛОВ С ЖИДКОЙ ГОРЯЧЕЙ СРЕДОЙ

Окунев Р.В., асс., Ольшанский В.И., к.т.н. проф.

Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. В статье разработана математическая модель оценки продолжительности нестационарного процесса теплообмена и выхода на стадию

регулярного режима. В представленной математической модели параметры имеют строго определенный смысл и довольно легко определяются в результате краткосрочных испытаний.

Ключевые слова: теплообмен, пакеты материалов, жидкая горячая среда, конвекция, водотермостойкий комбинезон.

При проведении исследований процесса теплообмена в многослойных пакетах материалов защитного водотермостойкого комбинезона с жидкой горячей средой в условиях естественной конвекции, возникает задача определения продолжительности нестационарного процесса теплообмена и выхода на стадию регулярного режима в зависимости от температуры жидкости и условия конвекции. Предлагаемая методика оценки продолжительности нестационарного процесса теплообмена основана на математическом моделировании зависимости внутренней температуры пакета материалов от времени воздействия горячей жидкой средой. Для этого составляются пакеты материалов, выполняются экспериментальные исследования зависимости температуры от времени $t_n = f(\tau)$.

Экспериментальные исследования проводились на установке, представленной на рисунке 1. При определении устойчивости пакетов материалов к воздействию горячей воды образцы подвергались воздействию воды в соответствии с режимами: температура воды 95 ± 5 ; время воздействия $\tau = 300$ с.

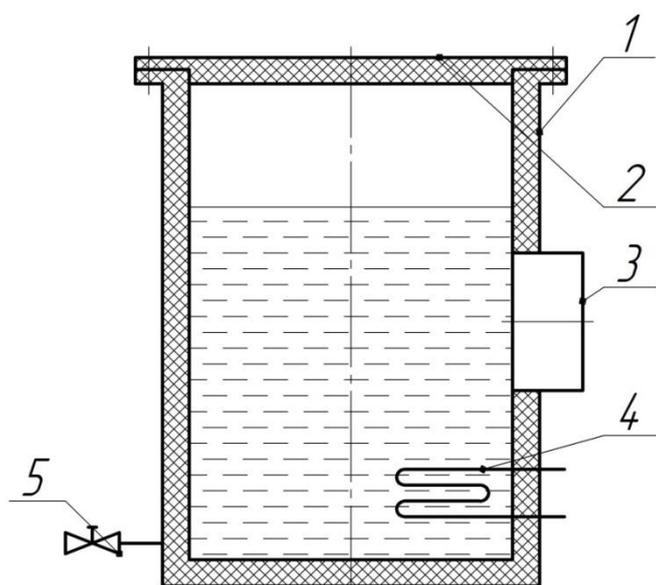


Рисунок 1 – Схема установки для исследования теплофизических характеристик материалов:

1 – емкость теплоизолированная, 2 – крышка, 3 – рамка для закрепления образца, 4 – нагревательный элемент, 5 – кран сливной

Анализ температурных кривых $t_n = f(\tau)$ (рис. 2), полученных в результате эксперимента, показывает, что все они имеют общую закономерность, которую можно выразить в виде дробно-рациональной функции:

$$t_n(\tau) = \frac{\tau}{a_0 + a_1\tau} + a_2, \quad (1)$$

где $t_n(\tau)$ – текущее значение температуры на внутренней поверхности многослойного пакета материалов как функции времени, °С; τ – время воздействия, с; a_0 (с/°С), a_1 (1/°С), a_2 (°С) – параметры модели, характеризующие условия процесса теплообмена при заданных условиях.

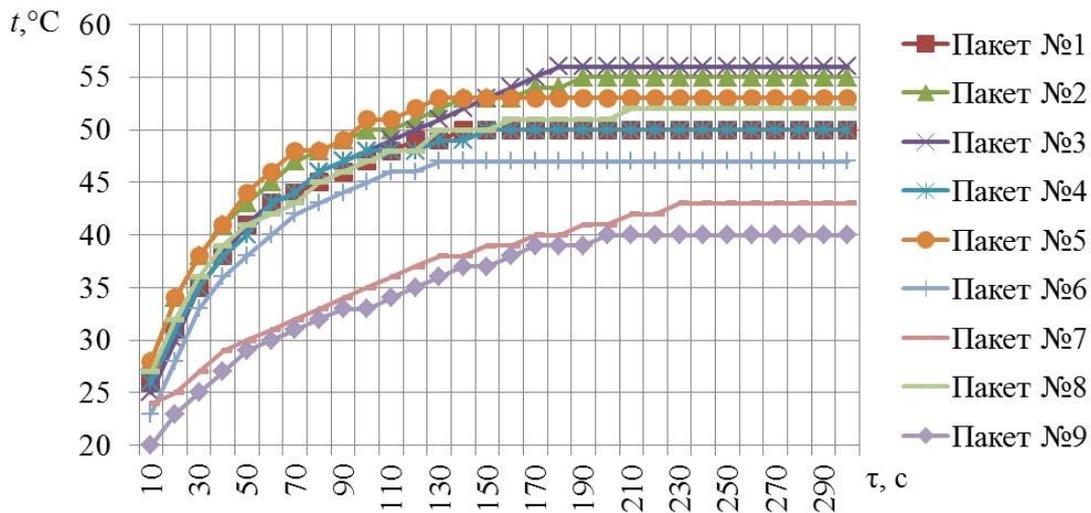


Рисунок 2 – Графики изменения температуры на внутренней поверхности пакетов материалов, при температуре воды $95 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Из соотношения (1) следует, что параметр a_2 имеет размерность температуры и характеризует температуру пакета материалов t_0 при начальных условиях:

$$a_2 = t_{n(\tau \rightarrow 0)} = t_0. \quad (2)$$

Для определения физического смысла параметра a_1 преобразуем зависимость (1) к виду

$$t_n = \frac{1}{\frac{a_0}{\tau} + a_1} + a_2. \quad (3)$$

Из уравнения (3) очевидно, что при $\tau \rightarrow \infty$ значение температуры на внутренней поверхности пакета материала t_n стремится к максимальному значению t_{\max}

$$t_{\max} = t_{n(\tau \rightarrow \infty)} = \frac{1}{a_1} + t_0 \text{ или } \frac{1}{a_1} = t_{\max} - t_0. \quad (4)$$

Таким образом, параметр a_1 модели (1) имеет размерность ($1/^\circ\text{C}$) и характеризует предельно возможное увеличение температуры внутренней поверхности пакета материала

$$a_1 = \frac{1}{t_{\max} - t_0}. \quad (5)$$

Для определения физического смысла a_0 продифференцируем соотношение (1) по τ при $\tau = 0$;

$$\frac{dt_n}{d\tau} = \frac{1}{(a_0 + a_1\tau)} - \frac{\tau a_0}{(a_0 + a_1\tau)^2}; \left(\frac{dt_n}{d\tau} \right)_{(\tau \rightarrow \infty)} = \frac{1}{a_0}, \quad (6)$$

где $(dt_n/d\tau)$ – скорость изменения внутренней поверхности пакета материалов во времени.

С другой стороны, $\left(\frac{dt_n}{d\tau} \right)_{(\tau \rightarrow 0)} = tg\alpha$, тогда $\frac{1}{a_0} = tg\alpha$, где α – угол наклона касательной,

проведенной из точки $[t_0; 0]$ к кривой t_n оси абсцисс.

Следовательно, параметр a_0 при принятой модели (1) является темповым показателем, который определяет темп нарастания температуры на внутренней стороне пакета

материалов при воздействии горячей средой [2].

Оценку параметров модели (1) проведена посредством введения масштабной линеаризующей функции $x(\tau)$, такой, чтобы в координатах $(\tau; x)$ зависимость $x(\tau)$ имела линейный вид [1]. Численные значения параметров математической модели (1) для различных многослойных пакетов материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры математической модели (1) зависимости температуры на внутренней поверхности пакетов материалов от времени

№ п/п	Наименование и состав пакета материалов	Параметры математической модели			Величина достоверности R^2
		a_0 , (с/°C)	a_1 , (1/°C)	a_2 , (°C)	
1	1.1 – ПВХ общего назначения; 1.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 1.3 – Slimtex 100; 1.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,3775	0,0164	18,0	0,9983
2	2.1 – ПВХ общего назначения; 2.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 2.3 – Slimtex 150; 2.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,2363	0,0173	18,0	0,9987
3	3.1 – ПВХ общего назначения; 3.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 3.3 – Slimtex 200; 3.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,1979	0,0192	18,0	0,9989
4	4.1 – ПВХ общего назначения; 4.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 4.3 – Slimtex 250; 4.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,1979	0,0192	18,0	0,9989
5	5.1 – ПВХ общего назначения; 5.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 5.3 – Hoopon 100; 5.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,1649	0,0182	18,0	0,999
6	6.1 – ПВХ общего назначения; 6.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 6.3 – Hoopon 150; 6.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,2014	0,0204	18,0	0,9987
7	7.1 – ПВХ общего назначения; 7.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 7.3 – Hoopon 200; 7.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,5157	0,0216	18,0	0,9939
8	8.1 – ПВХ общего назначения; 8.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 8.3 – Isosoft 200; 8.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,2528	0,0183	18,0	0,9986
9	9.1 – ПВХ общего назначения; 9.2 – подкладка ПЭ Арт. 190Т; 9.3 – Isosoft 250; 9.4 – подкладка ПЭ Арт. 190Т	0,4924	0,0232	18,0	0,9957

Проверка адекватности математических моделей проводилась на основании критерия Фишера (для всех моделей наблюдаемое значение меньше критического), что указывает на адекватность математической модели (1) результатам эксперимента с доверительной вероятностью 0,95.

Таким образом, на основании проведенных исследований разработана математическая модель, оценки продолжительности нестационарного процесса теплообмена и выхода на стадию регулярного режима. В представленной математической модели параметры имеют строго определенный смысл и довольно легко определяются в результате краткосрочный испытаний.

Список использованных источников

1. Основы теории проектирования технических систем: учебное пособие для студентов вузов / Махаринский Е. И. [и др.]; УО «ВГТУ». – Витебск, 2009. – 354 с.
2. Кузнецов, А. А., Ольшанский, В. И. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей. Витебск: УО «ВГТУ», 2004.