

УДК 697.35

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Пухкал В.А.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4), e-mail: [pva1111@rambler.ru](mailto:pva1111@rambler.ru)*

**Проведен анализ систем отопления и установлена необходимость исследования инерционных свойств отопительных приборов различных типов. Приведено математическое описание динамики изменения температуры отопительного прибора (теплового потока отопительных приборов). Установлено, что процесс регулирования теплового потока отопительных приборов зависит от конструкции приборов, вида и массы материалов, из которых они изготовлены. Для изучения процесса нагревания и охлаждения отопительных приборов различных типов разработана экспериментальная установка. Проведены исследования двух типов отопительных приборов – радиатора и конвектора. Результаты исследований представлены в графическом виде. Определены инерционные свойства (постоянные времени) отопительных приборов в режиме нагрева и охлаждения.**

Ключевые слова: отопление, отопительные приборы, тепловая инерция, нагревание, охлаждение.

## THE STUDY OF HEATING APPLIANCES' THERMAL INERTIA

Pukhkal V.A.

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering", Saint Petersburg, Russia (190005, St. Petersburg, Vtoraja Krasnoarmejskaja ul., 4), e-mail: [pva1111@rambler.ru](mailto:pva1111@rambler.ru)*

**The analysis of heating facilities is performed and the research necessity of thermal inertia features for different types of heat appliances is established. The mathematical model of heating appliances thermal changes (heating appliances heat flow) dynamics is provided. It is concluded that heat flow regulatory process depends on appliances' design, type and mass of the material used for a construction. The experimental apparatus studying heating and cooling processes in different types of heating appliances is assembled. The study results are provided in a graphical form. The heat appliances' thermal inertia features (time constants) in heating and cooling modes are determined.**

Keywords: heating, heating appliances, thermal inertia, cooling.

Для поддержания постоянной температуры воздуха в помещении необходимо непрерывно, в соответствии с изменением внешних условий, изменять тепловой поток отопительных приборов системы отопления. Однако мгновенному изменению теплового потока отопительных приборов препятствует его тепловая инерция. Возможно мгновенно изменить расход поступающей в отопительный прибор горячей воды, но для соответствующего изменения его теплового потока потребуется некоторое время.

Для изменения температуры воздуха в помещении путем увеличения или сокращения количества тепловой энергии, рассеиваемой помещением в окружающую среду, также требуется определенное время.

Оба процесса «запаздывания» (изменение теплового потока отопительного прибора и расход тепловой энергии помещений) - переходные процессы от одного установившегося значения до другого - происходят одновременно, но имеют разную длительность.

Терморегулятор, как элемент системы отопления, изменяет расход теплоносителя, поступающего в отопительный прибор, в зависимости от изменения температуры воздуха в помещении. Отопительные приборы безынерционные и средней инерционности быстрее нагреваются и охлаждаются при изменении расхода и температуры теплоносителя, проходящего через них, что при эксплуатации систем отопления с терморегуляторами является более эффективным, чем использование инерционных приборов [1-5].

В связи с этим возникает необходимость исследования инерционных свойств различных отопительных приборов.

### **Динамика изменения теплового потока отопительных приборов при прерывистой подаче теплоносителя**

Если для анализа динамики процесса изменения теплового потока отопительного прибора при скачкообразном изменении расхода теплоносителя принять, что отопительный прибор представляет собой однородное тело с одинаковой температурой во всех его точках, а помещение бесконечно большое, то переходные процессы нагрева и охлаждения отопительного прибора можно описать уравнением экспоненты [2]:

- процесс нагрева

$$\Delta t_{np} = \Delta t_{np.уст} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{T_{np}}} \right), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

- процесс охлаждения

$$\Delta t_{np} = \Delta t_{np.уст} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{np}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где  $T_{np}$  - постоянная времени прибора;

$$T_{np} = M_{np} \cdot c_{np} / k_{np} \cdot F_{np}, \quad (3)$$

здесь  $M_{np}$  - масса прибора, кг;  $c_{np}$  - удельная массовая теплоемкость прибора; кДж/(кг·°C);

$k_{np}$  - коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F_{np}$  - площадь поверхности отопительного прибора, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{np}$  - температурный напор, °C;

$$\Delta t_{np} = t_{np} - t_e, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

здесь  $\Delta t_{np.уст}$  - установившийся температурный напор в конце переходного периода, °C;

$$\Delta t_{np.уст} = t_{np.уст} - t_e, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

Практически  $\Delta t_{np} = \Delta t_{np.уст}$  будет достигнуто примерно через  $\tau = 3T_{np}$ , а при  $\tau = T_{np}$  температурный напор  $\Delta t_{np} = 0,632\Delta t_{np.уст}$ .

Таким образом, переходные процессы нагрева и охлаждения отопительного прибора зависят от объема, массы и физических свойств материалов приборов и ограждающих конструкций обогреваемого помещения. График процесса нагрева прибора изображен на рис. 1. Из уравнения (2) следует, что охлаждение нагревательного прибора описывается уравнением экспоненты с той же постоянной времени  $T_{np}$ , что и при нагревании (рис. 1).

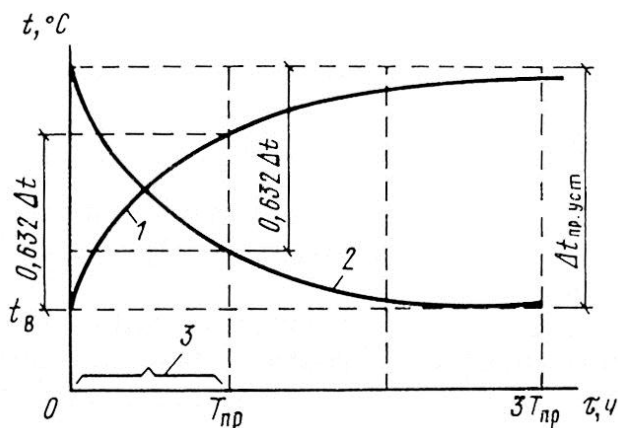


Рис. 1. Графики процессов нагрева и охлаждения отопительного прибора:

1 – процесс нагрева; 2 – процесс охлаждения; 3 – постоянная времени прибора -  $T_{np}$ .

При выводе уравнений, описывающих переходные процессы изменения теплового потока при нагревании и охлаждении отопительных приборов, вызванные скачкообразным изменением расхода теплоносителя, допущение об однородности нагревательного прибора привело к тому, что постоянные времени прибора при нагревании и охлаждении получились одинаковыми.

Реальные процессы нагрева и охлаждения отопительных приборов водяной системы отопления значительно отличаются от идеальных. В действительности масса приборов  $M_{np}$  для водяной системы отопления (с отопительными приборами конвекторами и радиаторами) состоит из составляющих:

$$M_{np} = M_{mat} + M_e, \text{ кг}, \quad (6)$$

где  $M_{mat}$  - масса материалов, из которых изготовлен отопительный прибор, кг;

$M_e$  - масса воды, содержащейся в отопительном приборе, кг.

Когда прибор нагрет до  $t_{np,уст}$ , то все его составляющие имеют свою установившуюся температуру, от которой начинается охлаждение прибора. При нагревании прибора горячая вода в этом процессе не участвует, так как подается она в прибор практически мгновенно с температурой  $t_{уст}$ .

График реальных процессов нагрева и охлаждения радиатора представлен на рис. 2.

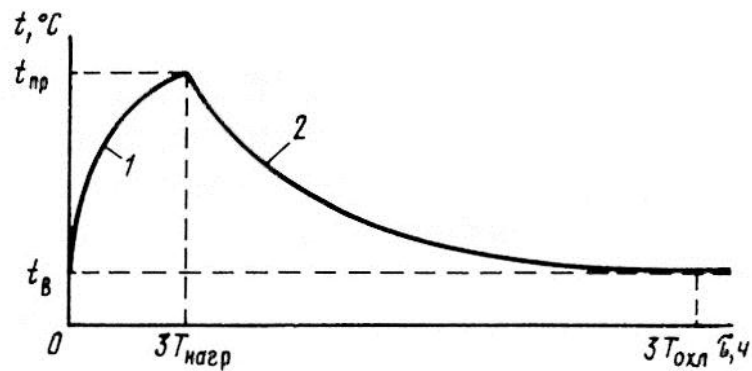


Рис. 2. Графики реальных процессов нагревания (1) и охлаждения (2) отопительных приборов системы водяного отопления.

Из зависимостей (1) и (2) видно, что процесс регулирования теплового потока отопительного прибора зависит от его постоянной времени  $T_{np}$ , которая для каждой конструкции прибора будет разной. Чем больше масса и теплоемкость прибора, тем больше будет у него постоянная времени. Например, у радиатора постоянная времени больше, чем у конвектора.

Из изложенного следует:

- 1) переходный процесс при количественном регулировании теплового потока отопительного прибора является функцией его постоянной времени  $T_{np}$  - чем больше постоянная времени  $T_{np}$ , тем медленнее изменяется температура прибора соответственно количеству поступающей в него горячей воды;
- 2) чем меньше масса воды в приборе по отношению к массе материалов, из которых он изготовлен, тем ближе по величине постоянная времени  $T_{np}$  нагревания к его постоянной  $T_{np}$  охлаждения, их равенство будет достигнуто при отношении

$$M_e \cdot c_e / M_{np} \cdot c_{np} \rightarrow 0; \quad (7)$$

- 3) процесс регулирования теплового потока приборов зависит от конструкции приборов, вида и массы материалов, из которых они изготовлены.

Значительное влияние на работу приборов оказывает скорость протекания через них воды. Чем больше скорость, тем интенсивнее теплообмен в приборе, быстрее происходит замена в приборе охлажденной воды на горячую, сокращается время чистого запаздывания, и, следовательно, можно быстрее изменить его тепловой поток в процессе регулирования. Поэтому отопительные приборы дополнительно классифицируются [2]:

- по величине тепловой инерции (по их постоянной времени) на **инерционные** - с  $T_{np} > 1,5$  ч; **средней инерционности** - с  $T_{np} = 0,5 \div 1,5$  ч и **безынерционные** - с  $T_{np} < 0,5$  ч;
- по скорости движения в них воды на **скоростные** и **емкостные приборы**.

## **Результаты исследования отопительных приборов в условиях прерывистой подачи теплоносителя**

Для оценки инерционности отопительных приборов проведены измерения на экспериментальном стенде в режиме прерывистой подачи теплоносителя в отопительные приборы (конвектор и радиатор). Исследованы конвектор типа Atoll (ПКН 310) производства ОАО «Фирма Изотерм» (Санкт-Петербург, Россия) и панельный радиатор типа Profil-Kompakt (ФКО 22-03-09) производства фирмы Kermi (Германия).

Результаты измерений для конвектора типа Atoll (ПКН 310) представлены на рис. 3, а для панельного радиатора типа Profil-Kompakt (ФКО 22-03-09) – на рис. 4. При прерывистой подаче измерялись следующие параметры:

- T1 – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор, °С;
- T2 – температура теплоносителя на выходе из отопительного прибора, °С;
- T3 – температура воздуха на выходе из отопительного прибора, °С.

Для определения и сравнения инерционных характеристик приборов результаты измерений представлены в виде зависимости относительной температуры воздуха на выходе из отопительных приборов от времени (рис. 5):

$$\theta = f(\tau);$$

$$\theta = \frac{\Delta t_{np}}{\Delta t_{np.уст}}. \quad (8)$$

Постоянные времени отопительных приборов:

- в режиме нагревания: конвектора Atoll (ПКН 310) -  $T_{np.нагр} = 6$  мин; панельного радиатора Profil-Kompakt (ФКО 22-03-09) -  $T_{np.нагр} = 15$  мин;
- в режиме охлаждения: конвектора Atoll (ПКН 310) -  $T_{np.охл} = 15$  мин; панельного радиатора Profil-Kompakt (ФКО 22-03-09) -  $T_{np.охл} = 38$  мин.

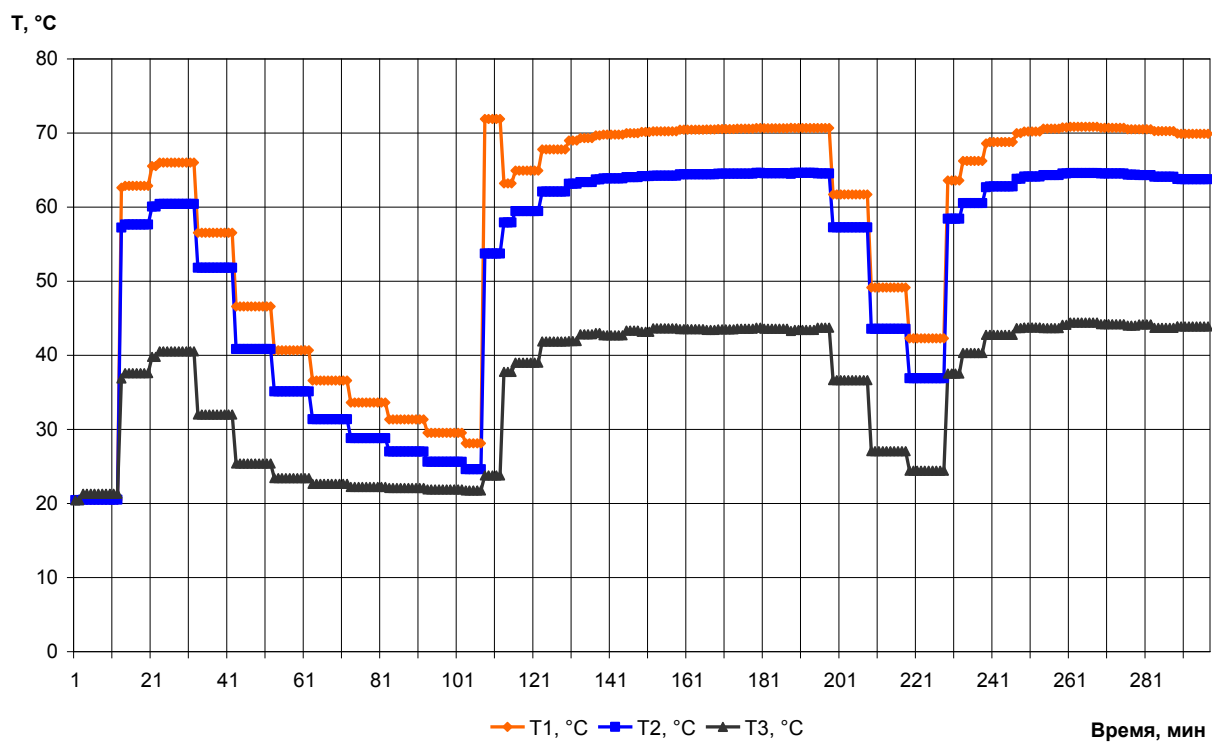


Рис. 3. Результаты измерений для конвектора типа Atoll (ПКН 310) при прерывистой подаче теплоносителя.

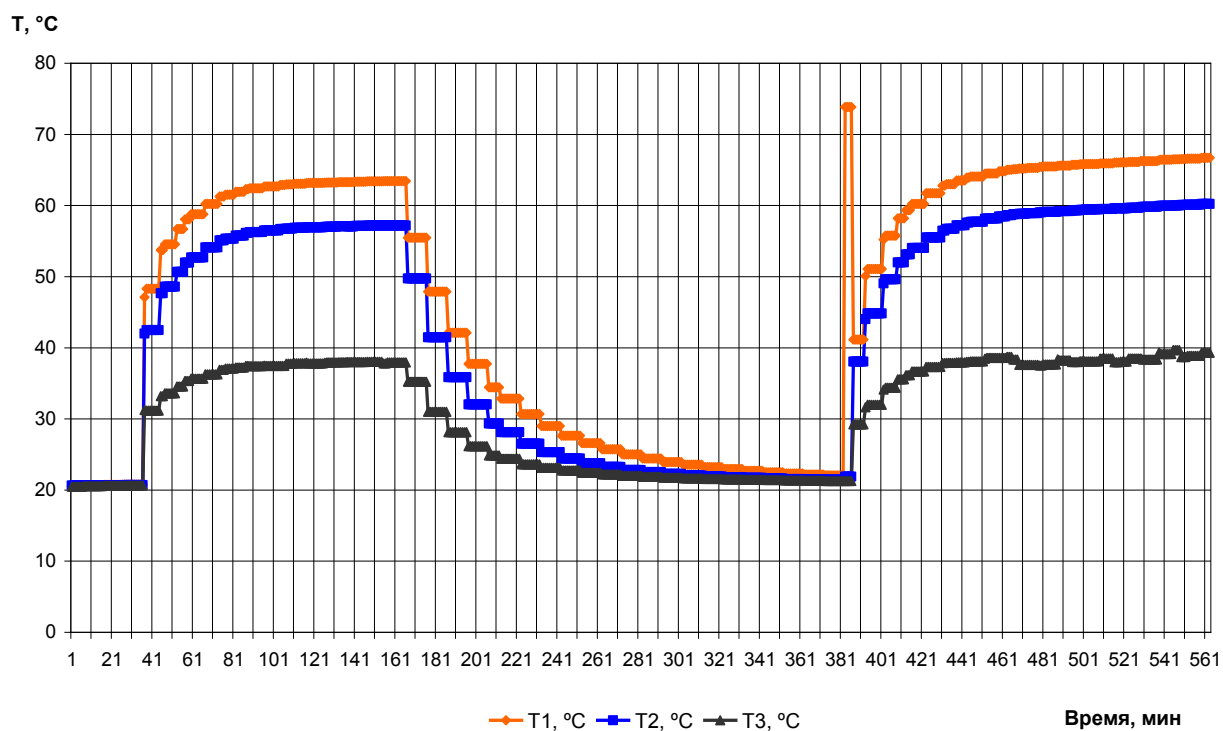
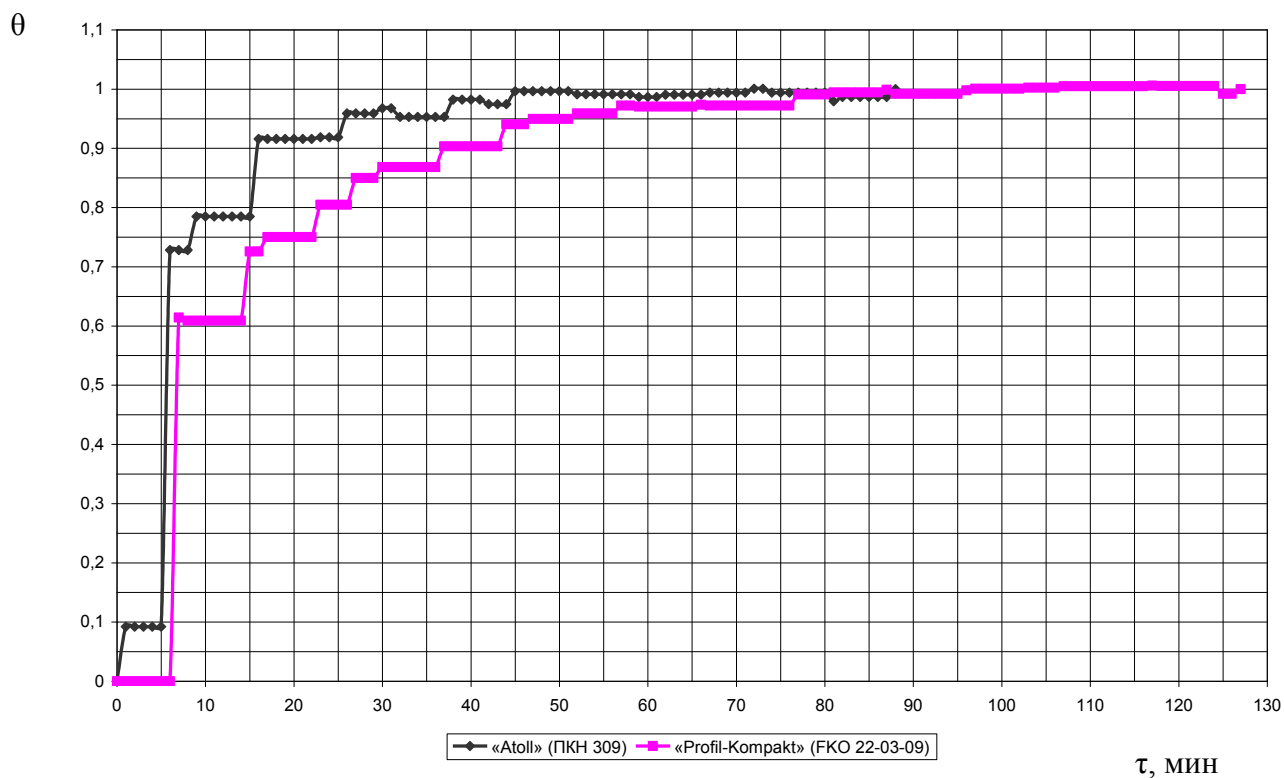
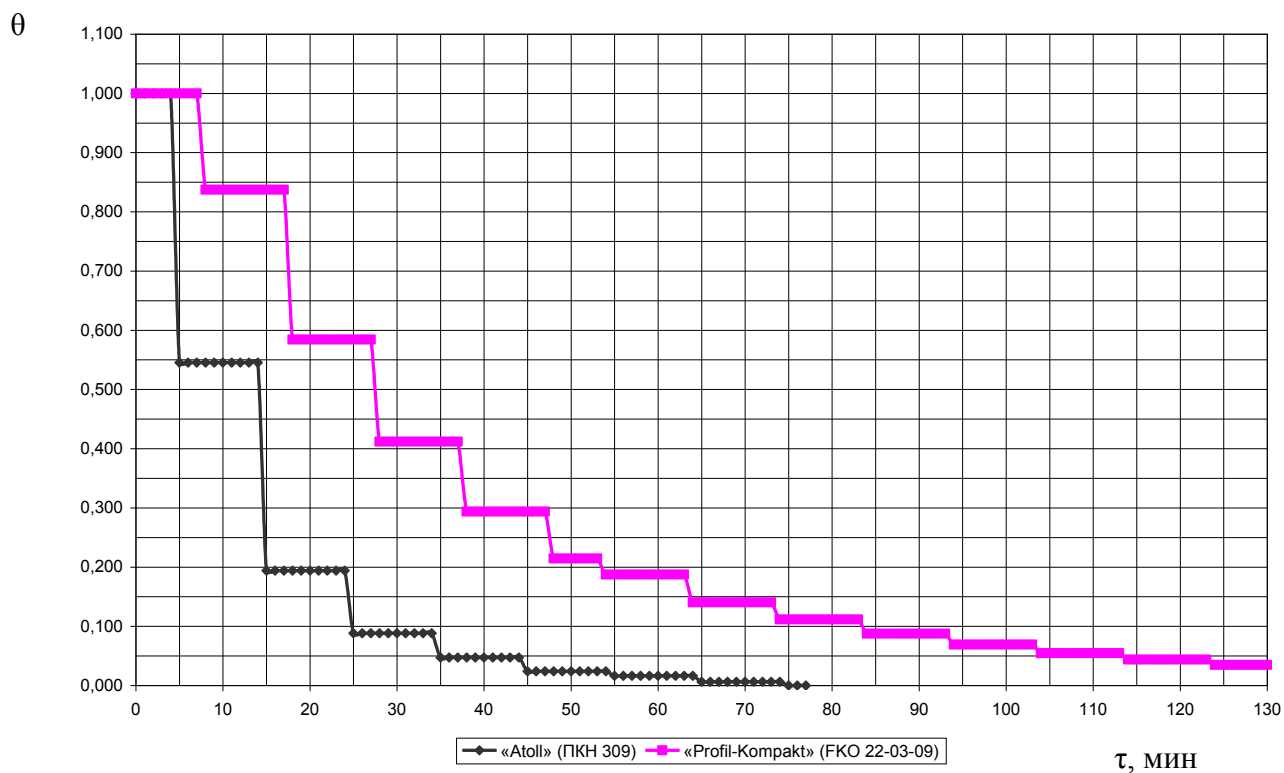


Рис. 4. Результаты измерений для панельного радиатора типа Profil-Kompakt (ФКО 22-03-09) при прерывистой подаче теплоносителя.



а)



б)

Рис. 5. Изменение безразмерной температуры воздуха на выходе из отопительного прибора:  
а) режим нагрева; б) режим охлаждения.

## Заключение

1. Процесс регулирования теплового потока отопительных приборов зависит от конструкции приборов, вида и массы материалов, из которых они изготовлены.
2. По результатам испытаний отопительных приборов установлено:
  - конвектор Atoll (ПKN 310) производства ОАО «Фирма Изотерм» (Санкт-Петербург) в режиме нагрева по величине тепловой инерции (по постоянной времени) относится к безынерционным отопительным приборам –  $T_{пр.нагр} = 6$  мин; в режиме охлаждения - также к безынерционным отопительным приборам –  $T_{пр.охл} = 15$  мин;
  - панельный радиатор Profil-Kompakt (FKO 22-03-09) производства фирмы Kermi (Германия) в режиме нагрева по величине тепловой инерции (по постоянной времени) относится к безынерционным отопительным приборам –  $T_{пр.нагр} = 15$  мин; в режиме охлаждения – к приборам средней инерционности -  $T_{пр.охл} = 38$  мин.

## Список литературы

1. Аршакян А.С., Лапин В.М. Эффективное терморегулирование и концепция отопительных приборов LOW H<sub>2</sub>O // АВОК. - 2004. - № 7. - С. 2-3.
2. Туркин В.П., Туркин П.В., Тыщенко Ю.Д. Автоматическое управление отоплением жилых зданий. - М. : Стройиздат, 1987. - 192 с.
3. Цаканян О.С., Кошель С.В., Цаканян С.О. Управление расходом тепловой энергии при отоплении помещений // С.О.К. – 2009. - № 8. - С. 62-68.
4. Чистович С.А., Харитонов В.Б. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления. – СПб. : АВОК Северо-Запад, 2008. - 304 с.
5. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособие / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака. - М. : Стройиздат, 1990. - 624 с.

## Рецензенты:

- Гримитлин А.М., д.т.н., профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВПОУ «СПбГАСУ», г. Санкт-Петербург;
- Анисимов С.М., д.т.н., профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», ФГБОУ



ВПОУ «СПбГАСУ», г. Санкт-Петербург.