

Экономия тепловой энергии при прерывистом отоплении

Захаревич Алексей Эдуардович

Статус: Доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ

Ученая степень: к.т.н. **Вопрос экономии энергии, потребляемой для поддержания комфортного микроклимата в отапливаемых помещениях, становится все актуальнее. Снижение температуры воздуха в период отсутствия людей или остановки технологического оборудования дает возможность уменьшить потребление энергоресурсов.**

По результатам численного моделирования выполнен расчет экономии тепловой энергии при прерывистом отоплении в условиях применения четырех видов отопительных приборов. Установлено, что наибольшая экономия теплоты наблюдается при использовании конвектора или радиатора, поскольку они обеспечивают самый быстрый темп разогрева.

Панельные отопительные приборы непригодны для прерывистого отопления, так как характеризуются значительной тепловой инерцией. Вопрос сокращения количества энергии, потребляемой для поддержания требуемых условий микроклимата в отапливаемых помещениях, приобретает все большую актуальность.

Снижение температуры воздуха в помещениях в период отсутствия людей или остановки технологического оборудования дает возможность уменьшить потребление энергетических ресурсов. Имеющиеся исследования, связанные с анализом прерывистого отопления (переменного режима работы отопления), как правило, не имеют системного характера.

В математических моделях акцент сделан на переносе теплоты в массиве ограждающих конструкций, не принимаются во внимание процессы конвекции в воздушной среде помещения. Такой подход не позволяет адекватно учесть влияние месторасположения и вида нагревателя на тепловой режим помещения. В разработанной автором под руководством д.т.н., проф. П. И. Дячека нестационарной двумерной физико-математической модели учтена сопряженность различных видов теплообмена в ограждениях и в свободном пространстве отапливаемых помещений, влияние вида отопительных приборов на процессы переноса.

Приняты во внимание геометрические и конструктивные особенности ограждений и заполнений световых проемов. Удовлетворительная степень соответствия двумерной модели реальным трехмерным процессам проверена в экспериментах.

Дифференциальные уравнения переноса, входящие в разработанную модель, приведены в работе [1]. Проанализируем задачу о прерывистом отоплении общественного помещения.

Расчетная область представляет собой вертикальный разрез помещения, расположенного на нижнем этаже, по центру окна. Снизу находится подвал. Высота помещения составляет 2,5 м, длина — 6 м. Наружные и внутренние ограждения выполнены с использованием железобетонных конструкций. Подробная информация о конструкции ограждений, внешний вид расчетной области, а также характер

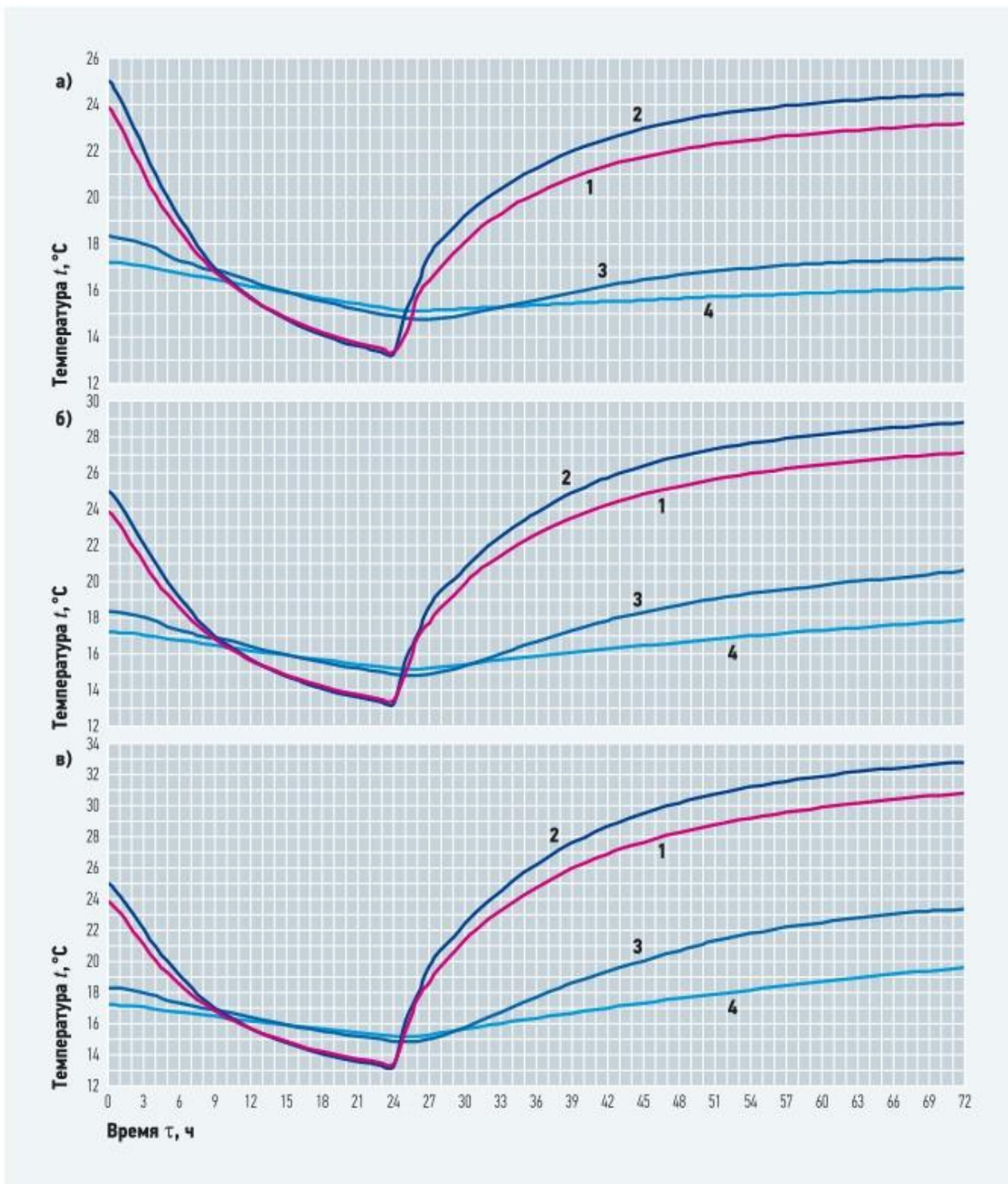
распределений полей температуры и скорости при различных вариантах работы отопительных приборов представлены в материале [2].

Предполагая, что помещение не эксплуатируется в субботу и воскресенье, рассмотрим несколько вариантов применения прерывистого отопления с четырьмя видами приборов (радиатор, конвектор, подоконная отопительная панель и напольное отопление). Для исключения влияния на результат прочих нестационарных факторов задаем постоянную температуру наружного воздуха на уровне $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия Минска).

В смежных помещениях назначена температура воздуха $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в подвале температура задана на уровне $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отопительная нагрузка помещения $Q_{\text{расч}}$ определена по традиционной методике. Связь между текущим значением мощности прибора $Q_{\text{тек}}$ и его расчетной нагрузкой $Q_{\text{расч}}$ задаем с помощью коэффициента мощности K , итог эта связь запишется как: $Q_{\text{тек}} = KQ_{\text{расч}}$. (1)

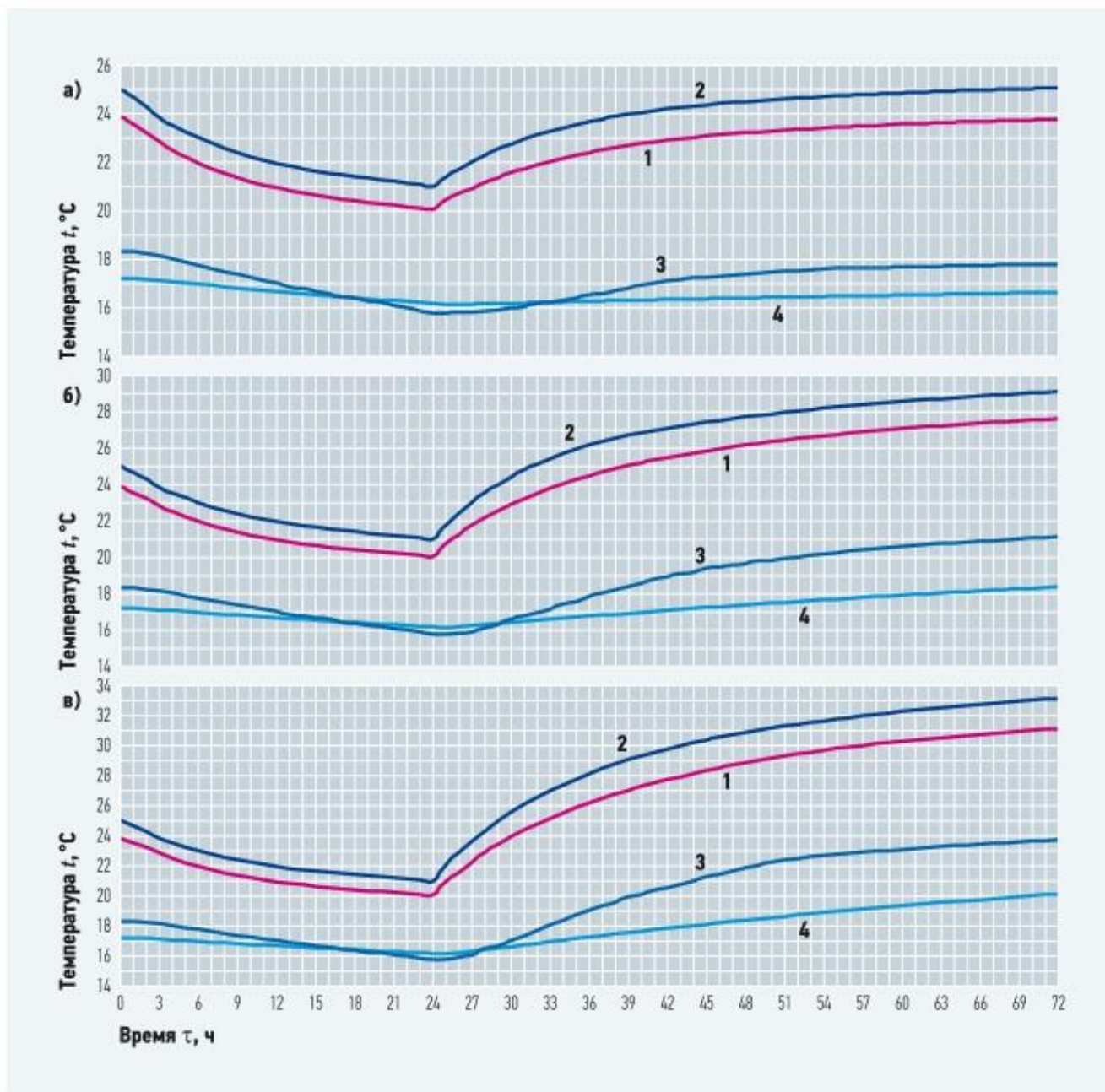
При наступлении выходных в течение первых суток задаем полное отключение системы отопления ($K = 0$) или снижение мощности в два раза ($K = 0,5$). Во вторые сутки включаем отопление, задаваясь одним из следующих значений коэффициента мощности $K = 1; 1,5$ или 2 . Для сопоставления динамики повышения температуры в условиях применения различных режимов и отопительных приборов моделируем разогрев помещения в течение более длительного периода, чем одни сутки.

На рис. 1 представлены кривые изменения средней температуры воздуха обслуживаемой зоны для группы расчетов с полным отключением отопления в первые сутки. Рис. 2 содержит аналогичные графики для расчетов, в которых в период $0-24$ ч коэффициент мощности задан $0,5$. В начальный момент (0 ч) средняя температура воздуха в помещении соответствует стационарной задаче и зависит от вида прибора. Основной причиной отличия температуры воздуха в начальный момент является различие фактических потерь теплоты вследствие неодинаковой интенсивности прогрева ограждающих конструкций, расположенных вблизи отопительных элементов [3]. Рис. 1 и рис. 2 показывают, что динамика изменения температуры воздуха во многом зависит от вида отопительного прибора. Наиболее высока скорость изменения в расчетах с конвектором и радиатором.



⦿ **Рис. 1.** Динамика изменения температуры воздуха в обслуживаемой зоне [0–24 ч — полное отключение отопления; а — разогрев с номинальной мощностью ($K = 1$); б — разогрев при коэффициенте мощности $K = 1,5$; в — разогрев с коэффициентом мощности $K = 2$; 1 — радиатор; 2 — конвектор; 3 — подоконная панель; 4 — напольное отопление]

Рис. 1. Динамика изменения температуры воздуха в обслуживаемой зоне



∴ **Рис. 2.** Динамика изменения температуры воздуха в обслуживаемой зоне [0–24 ч — работа отопления с $K = 0,5$; **а** — разогрев с номинальной мощностью ($K = 1$); **б** — разогрев при коэффициенте мощности $K = 1,5$; **в** — разогрев с коэффициентом мощности $K = 2$; **1** — радиатор; **2** — конвектор; **3** — подоконная панель; **4** — напольное отопление]

Рис. 2. Динамика изменения температуры воздуха в обслуживаемой зоне

Варианты с подоконной отопительной панелью и, особенно, с напольным отоплением, демонстрируют более низкую динамику снижения и увеличения температуры. Количественное сопоставление результатов удобно выполнять, используя величины, представленные в табл. 1–4. Курсивом выделены значения для режимов, не обеспечивающих своевременное достижение исходной температуры внутренней среды после периода снижения температуры.

В табл. 1 приведено время повышения температуры воздуха до исходного значения, считая от начала разогрева. Допустим, что к концу вторых суток (то есть на момент

времени 48 ч) в помещении должна быть восстановлена исходная температура воздушной среды. По данным табл. 1 видно, что разогрев помещения необходимо проводить с повышенной мощностью ($K > 1$), так как при коэффициенте $K = 1$ ни один из приборов не обеспечивает достаточного темпа разогрева.

❖ Длительность периода достижения исходной температуры воздуха*

табл. 1

Режим работы отопления При снижении температуры	Коэффициент мощности при разогреве	Вид отопительного прибора			
		Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное отопление
Полное отключение	$K = 1$	78,0	72,0	> 6 сут.	> 6 сут.
	$K = 1,5$	16,3	15,3	21,5	34,0
	$K = 2$	10,5	9,8	14,0	20,0
$K = 0,5$	$K = 1$	55,0	43,0	> 6 сут.	> 6 сут.
	$K = 1,5$	9,3	7,9	14,0	20,2
	$K = 2$	5,8	5,0	10,0	11,5

* Измеряется в часах.

Табл. 1. Длительность периода достижения исходной температуры воздуха*

Инерционность панельных отопительных приборов является причиной того, что при $K = 1$ время разогрева составит более шести суток. Таким образом, к началу следующих выходных температура воздуха не достигнет значения, которое наблюдалось до начала отключения отопления (или снижения) мощности. При полном отключении в первые сутки и последующем разогреве с $K = 1,5$ только напольное отопление не обеспечит своевременного разогрева, поскольку является наиболее инерционным. Табл. 2 содержит значения дополнительных затрат теплоты (из расчета на 1 м^2 площади помещения) в период разогрева до исходной температуры. Данные затраты имеют место при разогреве с коэффициентом мощности $K > 1$ до момента достижения исходной температуры воздуха. Далее следует перевести систему отопления в режим постоянной работы с $K = 1$.

❖ Дополнительные затраты теплоты*

табл. 2

Режим работы отопления При снижении температуры	Коэффициент мощности при разогреве	Вид отопительного прибора			
		Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное отопление
Полное отключение	$K = 1$	0	0	0	0
	$K = 1,5$	1080	1010	1420	2240
	$K = 2$	1390	1290	1850	2640
$K = 0,5$	$K = 1$	0	0	0	0
	$K = 1,5$	610	520	920	1330
	$K = 2$	770	660	1320	1520

* В период разогрева до исходной температуры. Измеряется в $[\text{кДж}/\text{м}^2]$.

Табл. 2. Дополнительные затраты теплоты*

Чем более длительный период времени требует разогрев помещения и чем более высокая отопительная мощность при этом используется, по сравнению с расчетной мощностью, тем значительнее дополнительные затраты. Экономия теплоты за счет прерывистого режима работы отопления за рабочий цикл, длящийся одну неделю, указана в табл. 3. Максимально возможное значение экономии для исследуемых вариантов определяется количеством теплоты, которое не использовано в период суточного отключения отопления (3170 кДж на 1 м² площади помещения) или снижения мощности в два раза (1580 кДж/м²). При последующем разогреве помещения с $K > 1$ дополнительные затраты (табл. 2) определяют итоговое, более низкое значение экономии теплоты.

❖ Экономия теплоты за счет прерывистого режима работы системы отопления* табл. 3

Режим работы отопления При снижении температуры	Коэффициент мощности при разогреве	Вид отопительного прибора			
		Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное отопление
Полное отключение	$K = 1$	3170	3170	3170	3170
	$K = 1,5$	2090	2160	1750	920
	$K = 2$	1780	1870	1320	530
$K = 0,5$	$K = 1$	1580	1580	1580	1580
	$K = 1,5$	970	1060	660	250
	$K = 2$	820	920	260	70

* За один рабочий цикл (семь суток). Экономия теплоты измеряется в [кДж/м²].

Табл. 3. Экономия теплоты за счет прерывистого режима работы системы отопления*

В табл. 4 представлена экономия теплоты в условиях прерывистого отопления, выраженная в процентах. Значения определены относительно затрат теплоты на отопление в течение недельного периода работы при постоянном режиме с коэффициентом мощности $K = 1$, составляющих 22 180 кДж/м². В рассмотренных режимах для всех видов приборов полное отключение отопления в первые сутки выходных является более выгодным, чем снижение мощности на 50 %.

❖ Экономия за счет использования прерывистого отопления* табл. 4

Режим работы отопления При снижении температуры	Коэффициент мощности при разогреве	Вид отопительного прибора			
		Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное отопление
Полное отключение	$K = 1$	14,3	14,3	14,3	14,3
	$K = 1,5$	9,4	9,7	7,9	4,2
	$K = 2$	8,0	8,5	6,0	2,4
$K = 0,5$	$K = 1$	7,1	7,1	7,1	7,1
	$K = 1,5$	4,4	4,8	3,0	1,1
	$K = 2$	3,7	4,2	1,2	0,3

* Измеряется в процентах [%].

Табл. 4. Экономия за счет использования прерывистого отопления*

При отключении происходит более интенсивное и глубокое снижение температуры воздуха, за счет этого более значительно уменьшаются потери теплоты. Однако полное отключение не следует допускать при опасности замерзания теплоносителя в системе или в случае понижения температуры воздуха до значения, которое приведет к нарушению исправности технологического или иного оборудования.

Максимальная экономия среди вариантов, обеспечивающих своевременный разогрев помещения, наблюдается при использовании конвектора или радиатора, поскольку указанные приборы обеспечивают самый быстрый темп разогрева внутренней воздушной среды. Результаты других исследователей также свидетельствуют об этом [4, 5]. Значительно меньшая экономия обеспечивается при использовании подоконной отопительной панели.

Напольное отопление практически не дает экономии при прерывистом режиме работы по причине чрезмерной инерционности. Результаты проведенного исследования полностью подтверждают предположение о непригодности панельных отопительных приборов для использования в условиях прерывистого отопления. Для предварительного сопоставления различных отопительных приборов можно порекомендовать следующее соображение.

Чем более массивным является отопительный прибор, и чем больше его емкость по теплоносителю, тем выше тепловая инерция данного нагревателя и тем меньше выгоды можно получить от применения прерывистого отопления. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что при использовании прерывистого отопления следует по возможности максимально удлинить период отключения (или снижения мощности), а на разогрев оставить время, необходимое для повышения температуры воздуха до требуемого значения при включении нагревателей с максимальной мощностью.

Практика показывает, что наиболее быстро обеспечить разогрев внутреннего воздуха можно, используя отопительные приборы с принудительной циркуляцией воздуха (например, конвекторы со встроенными вентиляторами). Длительность периода разогрева зависит от большого числа факторов: вида прибора, его мощности и места размещения, исходной температуры внутреннего воздуха, исходной температуры ограждений и оборудования, а также их тепловой инерции.

Применение программно реализованных математических моделей дает возможность наиболее полно учесть все факторы, определяющие процессы охлаждения и нагрева помещения, и спроектировать систему отопления, максимально подходящую для прерывистого режима работы. В рамках существующего объекта численные эксперименты позволяют разработать оптимальный режим функционирования имеющейся отопительной системы.

1. Захаревич А.Э. Особенности формирования микроклимата в многосветных пространствах // Вестник МГСУ, №7/2011.
2. Захаревич А.Э. Особенности формирования микроклимата отапливаемых помещений // Энергетика, №5/2009.
3. Захаревич А.Э. Формирование параметров микроклимата в отапливаемых помещениях в условиях естественной конвекции: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. — Минск: БНТУ, 2012.
4. Асатов Р.Р. Факторы, влияющие на экономию теплоты при прерывистом отоплении зданий // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сб. докл. III Межд. науч.-техн. конф. МГСУ, 2009.
5. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Экспериментальное исследование оптимального управления расходом энергии // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сб. докл. III Межд. науч.-техн. конф. МГСУ, 2009.