

УДК 697.3 + 697.1

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕЖИМА ПРЕРЫВИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ**

*Е.Ю. Анисимова, А.Д. Щербак*

Проводится оценка эффективности внедрения оптимального режима прерывистого отопления для здания комбината бытового обслуживания в городе Челябинске. Оптимальный режим прерывистого отопления обеспечивает экономию тепловой энергии с соблюдением требуемых параметров микроклимата. Показаны графические зависимости величины экономии тепловой энергии от тепловой инерционности здания и температуры наружного воздуха. Определены капитальные затраты при конструировании системы с режимом прерывистого отопления.

Ключевые слова: энергосбережение, режим прерывистого отопления, постоянная времени здания, тепловая инерция, энергоэффективность, регулирование системы отопления.

На сегодняшний день невозможно представить себе новое здание, сооружение или систему, которая хотя бы частично не была ориентирована на экономию энергии. Инженерные системы во вновь строящихся зданиях (в частности, отопление) имеют так называемый «минимальный набор» устройств и мер по энергосбережению:

- пофасадное регулирование отпуска теплоты;
- регулирование температуры воды в системе горячего водоснабжения;
- применение автоматических и ручных терморегулирующих вентилей у отопительных приборов;
- установка теплосчетчиков (как мера, стимулирующая энергосбережение).

Все эти мероприятия известны давно, но лишь последние несколько лет они закрепились в российской энергетической структуре.

Постоянное удорожание энергоносителей, постепенное перестроение политики государства и опыт других стран заставляет россиян всерьез задумываться об экономии природных ресурсов.

Изношенность тепловых сетей, большие потери тепла при транспортировке и достаточно низкий КПД большинства теплоэлектростанций в России постепенно приводят к росту децентрализации теплоснабжения. На фоне этого появляется возможность использования такого способа экономии тепловой энергии в общественных и промышленных зданиях, как режим прерывистого отопления (РПО). РПО заключается в поддержании температуры внутреннего воздуха в помещении на требуемом уровне в течение времени, когда здание эксплуатируется, и снижении внутренней

температуры, а соответственно и тепловой мощности системы отопления, в остальное время – ночью, в выходные дни и т.д. Причем, СП 60.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция, кондиционирование» рекомендует проектировать такое регулирование отпуска теплоты.

РПО – та мера, которая требует минимум капитальных вложений в виде оборудования, однако позволяет экономить за отопительный период 6–7 % тепловой энергии. Основное условие для её работы – резерв мощности источника теплоты, что делает невозможным применение такой системы при подключении к централизованному источнику энергии.

Анализ литературы не дает четкого понятия о результатах действия таких систем на реальных объектах различного назначения. Существует несколько статей как российских авторов [1, 2], так и зарубежных [3, 4] об экспериментах по выбору наиболее эффективного отопительного прибора, проверке математических и 3D-моделей, сравнении полученных данных с модели с экспериментальными.

Большинство работ имеют сложные расчетные формулы и зависимости [3], что зачастую непривлекательно для заказчика либо проектировщика, которые рассматривают режим прерывистого отопления в качестве способа экономии тепловой энергии.

Таким образом обнаруживается, что данная тема не получает необходимого объема исследований и объема практического внедрения, чтобы можно было пользоваться этими результатами для обоснования выбора РПО в качестве энергосберегающего мероприятия.

В качестве объекта исследования было выбрано нежилое здание комбината бытового обслуживания в г. Челябинске. Для нужд отопления и ГВС используется газовый водогрейный котел. Здание имеет среднюю степень остекленности наружных ограждающих конструкций, общие теплотери составляют 64 кВт. Основная часть помещений имеет общий температурный режим  $t_b = 18^\circ\text{C}$ . В качестве отопительных приборов были выбраны биметаллические радиаторы, т.к. они имеют низкую инерционность и обеспечивают максимальную скорость разогрева помещения, что обосновывается в опытах [1, 5]. Ниже приведены характеристики слоев наружной стены:

1. Кирпич рядовой одинарный полнотелый КР-р-ПО/1НФ/150/2.0/25 ГОСТ 530-2012  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_1 = 0,51 \text{ м}$ ,  $\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ .

2. Теплоизоляционные плиты на основе базальтового волокна ТЕХНО-ВЕНТ СТАНДАРТ ТУ 5762-010-74182181-2012  $\gamma = 80 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_2 = 0,1 \text{ м}$ ,  $\lambda = 0,038 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ .

3. Облицовка фасадными кассетами.

Рабочий день на исследуемом объекте продолжается с 9-00 до 18-00, то есть нерабочий период составляет 15 часов. За этот промежуток времени можно обеспечить экономию тепловой энергии за счет отключения систе-

мы отопления и последующего интенсивного разогрева здания. Согласно [6], в жилых, общественных, административно-бытовых и производственных помещениях можно снижать температуру внутреннего воздуха, но необходимо обеспечивать требуемую температуру к моменту использования помещения. Ввиду того, что происходит остывание помещения, необходимо проверять, чтобы температура внутреннего воздуха не опускалась ниже требуемого значения по [7] во избежание выпадения конденсата на внутренней поверхности стены. При данных параметрах влажности воздуха она составляет  $t_B^{min} = 12$  °С.

Анализировалась зависимость количества сэкономленного тепла от величины, характеризующей тепловую инерцию здания. Постоянная времени, характеризующая тепловую инерцию здания, вычислялась по следующей формуле из [5]:

$$T = \frac{c \cdot \rho \cdot F \cdot \delta}{2q_0V} \cdot \left( \frac{\delta}{R\lambda} + \frac{2}{R'\alpha_H} \right) = 39,3 \text{ ч,}$$

где  $c$  – теплоемкость материала наружной стены;  $\rho$  – плотность материала наружной стены;  $F$  – площадь наружной поверхности здания,  $\delta, R$  – соответственно толщина и приведенное термическое сопротивление теплопередаче наружной стены здания,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала,  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи для наружной поверхности стены здания;  $q_0$  – удельная тепловая характеристика здания,  $V$  – объем здания.

Конструкция стены состоит из двух слоев, однако постоянная времени для слоя теплоизоляции незначительно мала. Исходя из этого, к расчету была принята постоянная времени для основного конструктивного слоя – кирпича.

Далее определяли временные интервалы охлаждения,  $\tau_1$ , и разогрева,  $\tau_2$ , здания при различных температурах наружного воздуха,  $t_n$ . Особенностью является то, что в начале и в конце рассматриваемого промежутка времени избыточная температура должна быть равна одному и тому же значению  $\theta_0 = t_B - t_n$ . При этом  $t_n = const$  за исследуемый период.

Кроме того, вычислялись затраты тепловой энергии в РПО и в обычном режиме отопления. Таким образом, количество теплоты, израсходованной системой отопления, оценивалось следующими зависимостями [5]:

– расход теплоты для системы отопления, реализующей режим прерывистого отопления, Вт·ч:

$$I_{np} = W_{01}\tau_1 + W_{02}\tau_2;$$

– расход теплоты для обычной системы отопления, Вт·ч,

$$I = W_0\tau;$$

где  $W_{01}$  – мощность системы отопления в режиме охлаждения здания, согласно [5], равна 0 Вт;  $W_{02}$  – мощность системы отопления в режиме разо-

грева здания – максимально возможная (установленная), Вт;  $\tau_1, \tau_2$  – соответственно продолжительность времени охлаждения и продолжительность времени разогрева здания при реализации режима прерывистого отопления здания, ч;  $\tau$  – продолжительность нерабочего времени, ч (в данном случае 15 ч).

Данные расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета режима прерывистого отопления

$t_n, \text{ }^\circ\text{C}$	$\tau_1, \text{ ч}$	$\tau_2, \text{ ч}$	$T, \text{ ч}$	$I, \text{ Вт}\cdot\text{ч}$	$I_{пр}, \text{ Вт}\cdot\text{ч}$	Экономия теплоты, Вт·ч	Экономия теплоты, %	$t_b \text{ факт}$
8	12,53	2,47	39,3	184615	158248	26367	14,3	15,27
-3	9,6	5,39	39,3	387692	344654	43038	11,1	13,44
-9	7,9	7,07	39,3	498462	452471	45991	9,2	13,07
-14	6,5	8,53	39,3	590769	545989	44780	7,6	13,14
-20	4,6	10,36	39,3	701538	663003	38536	5,5	13,77
-25	3,0	11,95	39,3	793846	764853	28993	3,7	14,79
-30	1,4	13,61	39,3	886154	871002	15152	1,7	16,33
-34	0,0	14,99	39,3	960000,0	959269	730	0,0761	17,98

Зависимость величины экономии тепловой энергии,  $I_{пр}$ , от температуры наружного воздуха,  $t_n$ , в режиме прерывистого отопления для данного здания представлена на рис. 1.



Рис. 1. Зависимость экономии тепла  $I_{пр}$  от температуры наружного воздуха  $t_n$

Из рис. 1 видно, что при снижении температуры наружного воздуха величина экономии уменьшается, так как резерв тепловой мощности сокращается.

При исследовании зданий с более высокой инерционностью было выявлено, что эффективность РПО снижается с увеличением постоянной времени. Это отражено на рис. 2.



Рис. 2. Зависимость экономии тепловой энергии от постоянной времени T, характеризующей тепловую инерцию здания

Материальная экономия от реализации режима прерывистого отопления по сравнению с обычным (традиционным) режимом отопления определялась с учетом ежемесячной потребности здания в тепловой энергии при реальных (фактических) температурах наружного воздуха. Ежемесячная потребность объекта в теплоте, Гкал, рассчитывается по формулам:

$$\text{– при прерывистом отоплении } I_{пр}^{мес} = W_{02} \tau_2 n, \quad (1)$$

где n – количество дней в расчетном месяце;

$$\text{– при обычном режиме отопления } I^{мес} = W_o^{мес} \tau n, \quad (2)$$

$$\text{причем } W_o^{мес} = W_o^{расч} \cdot \frac{t_{вн} - t_{ср}^{факт}}{t_{вн} - t_n^p},$$

где  $W_o^{расч}$  – расчетная мощность системы отопления,  $t_{вн}$  – температура внутреннего воздуха, °С,  $t_{ср}^{факт}$  – фактическая среднемесячная температура наружного воздуха, °С,  $t_n^p$   $t_{ср}^{факт}$  – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Значения фактических среднемесячных температур наружного воздуха по месяцам для отопительного сезона 2015–2016 гг. в городе Челябинске приняты согласно данным сайта [8] и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фактические среднемесячные температуры наружного воздуха  
за отопительный период 2015–2016 гг.

Месяц	Фактическая средняя температура наружного воздуха по месяцам, °С
апрель	7,4
март	-4,0
февраль	-6,5
январь	-17,2
декабрь	-7,2
ноябрь	-6,8
октябрь	1,5

Исходя из приведенных температур можем определить затраты тепловой энергии при обычном режиме отопления и сравнить их с затратами при прерывистом режиме теплоснабжения здания. Так как режим прерывистого отопления реализуется в нерабочее время (15 часов), то есть ночью, то сравнивать будем только этот период времени.

Тогда для обычного режима отопления расход тепловой энергии определяется по формуле (2):

$$I_{мес} = 64000 \cdot \frac{18 - 7,4}{18 - (-34)} \cdot 15 \cdot 30 = 5,889 \text{ МВт.}$$

Для определения затрат теплоты в РПО необходимо вычислить время разогрева помещения [5] для средней температуры наружного воздуха за расчетный месяц. Для апреля  $\tau_2$  составит:

$$\tau_2 = -T \cdot \ln \left( 1 + \frac{\frac{a\theta_0}{k} - aW_{01}}{W_{01} - W_{02}} \right),$$

где  $a$  – безразмерный коэффициент,  $a = 1 - \exp(-\frac{\tau_k}{T})$ ;  $\theta_0$  – разность внутренней температуры и фактической среднемесячной температуры наружного воздуха.

$$\tau_2 = -39,3 \cdot \ln \left( 1 + \frac{\frac{0,317 \cdot (18 - 7,4)}{0,000813} - 0,317 \cdot 0}{0 - 64000} \right) = 2,634 \text{ ч.}$$

Тогда затраты тепловой энергии при РПО за апрель составят по (1):

$$I_{пр}^{мес} = 64000 \cdot 2,634 \cdot 30 = 5,057 \text{ МВт.}$$

Для других месяцев отопительного сезона расчет ведется аналогично. Данные результатов расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение затрат тепловой энергии и денежных средств  
для обычного режима отопления и РПО

Месяц	Средняя температура, °С	Затраты тепла в РПО, МВт (Гкал)	Затраты тепла в обычном режиме, МВт (Гкал)	Экономия денежных средств, руб.
апрель	7,4	5,057(4,35)	5,889(5,065)	1384,30
март	-4,0	11,219(9,648)	12,577(10,817)	2263,89
февраль	-6,5	11,401(9,805)	12,670(10,896)	2114,65
январь	-17,2	18,840(16,202)	20,146(17,325)	2175,91
декабрь	-7,2	13,030(11,206)	14,444(12,422)	2355,58
ноябрь	-6,8	12,398(10,662)	13,762(11,835)	2272,58
октябрь	1,5	8,010(6,889)	9,148(7,867)	1895,34

Стоимость 1 Гкал тепловой энергии в г. Челябинске в 2015–2016 отопительном сезоне составляла 1937,4 руб. Таким образом, затраты денежных средств при обычном режиме отопления за весь отопительный сезон составят 147682,3 руб. При реализации РПО – 133219,9 руб. Итого экономия за отопительный сезон – 14462 руб.

Для реализации режима прерывистого отопления на объекте необходимо, чтобы его система отопления была оснащена датчиками температур внутреннего и наружного воздуха, контроллером управления режимами отопления и регулирующим клапаном. Тогда капитальные вложения в организацию режима прерывистого отопления сложатся из следующего:

- датчик температуры внутреннего воздуха ESM-10 Danfoss (3057 р. за шт.);
- датчик температуры наружного воздуха ESMT Danfoss (3575 р. за шт.);
- контроллер управления режимами отопления и тепловым пунктом Danfoss ECL Comfort 310 – контроллер 087H3040 (32,790.56 руб.);
- двухходовой регулирующей клапан для системы отопления Danfoss VB2 с электроприводом AME 13 (68, 322 руб.)

Однако и контроллер, и регулирующей клапан в современных системах отопления устанавливаются при обычном режиме отопления, поэтому выделять их как капитальные затраты на устройство РПО нелогично.

Итого:

- 120490 руб. – при реконструкции полностью неавтоматизированного теплового узла.
- 6632 руб. – при дополнении современного автоматизированного теплового узла.

В первом случае окупаемость составит:

$$\text{срок окупаемости} = \frac{120490}{14462} \approx 8,33 \text{ отоп. сезонов.}$$

Во втором случае:

$$\text{срок окупаемости} = \frac{6632}{14462} \approx 0,45 \text{ отоп. сезона.}$$

**Заключение.** По полученным результатам можно сделать вывод, что режим прерывистого отопления является малозатратным, легко реализуемым и эффективным энергосберегающим мероприятием. Необходимо отметить, что для его реализации требуется автономный источник теплоты. Кроме того, доказана неэкономичность распространенного в настоящее время режима, когда здание подключено к центральным тепловым сетям.

#### Библиографический список

1. Табунщиков, Ю.А. Экспериментальные исследования оптимального управления расходом энергии / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач // АВОК. – 2006. – № 1.
2. Гершкович, В.Ф. О возможности практической реализации регулирования теплотребления зданий методом периодического прерывания потока теплоносителя / В.Ф. Гершкович // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 02 (02).
3. A. Lechowska, A.Guzik // Energy and Buildings 76 (2014).
4. C. Buratti, E. Moretti, E. Belloni, F. Cotana «Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings, Building and Environment, Elsevier 59 (2013).
5. Панферов, В.И. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2008. – № 12. – 7 с.
6. СП 60.13330.2012 СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М., Министерство регионального развития, 2012. – 54 с.
7. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Госстрой России. – М., 2012. – 100 с.
8. Архив погоды в г. Челябинске. – URL: <https://rp5.ru/>.

[К содержанию](#)