

26. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Шапов М.А. Устройство для сжигания твердого топлива. Патент РФ № 2126113. . Бюл. Изобретений. № 4. 1999.
27. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Щербakov Ф.В. Вихревая топка. Патент РФ № 2126932. Бюл. Изобретений. 1999. № 6.
28. Голубев В.А., Пузырев Е.М., Пузырев М.Е. Использование вихревых топок «Торнадо» в паровых котлах. Электронный ресурс: <http://www.pem-energo.ru/ispolzovanie-vihrevykh-topok-tornado-v-parovyyh-kotlah> (дата обращения 20.05.2014).

29. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий / Отв. ред. С.В. Алексеенко (Интеграционные проекты СО РАН; Вып. 20). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 405 с.

© 2014 г. М.Н. Башкова, С.А. Казимиров, М.В. Темлянецев, В.И. Багрянцев, А.А. Рыбушкин, К.С. Слаженева  
Поступила 21 мая 2014 г.

УДК 697.132.3

**Д.Б. Чанаев**

Сибирский государственный индустриальный университет

### ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В РЕЗУЛЬТАТЕ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Один из положительных моментов автоматизации систем отопления зданий – сокращение расхода топлива для теплогенератора за счет отклика систем на внешние возмущения, связанные с дополнительными тепlopоступлениями. Одним из видов дополнительных тепlopоступлений является поток солнечной радиации на здания, интенсификация которого приходится на осенние и весенние месяцы.

В настоящей работе для климатических условий г. Новокузнецка выполнена оценка снижения расхода топлива на отопление жилого здания вследствие снижения его тепlopотребления за счет тепlopоступлений от солнечной радиации в случае инсталляции в систему отопления радиаторных терморегуляторов и в узел управления теплоносителем – схем погодной компенсации. Бытовые и иные виды тепlopоступлений в помещения, дополнительно увеличивающие процент экономии топлива, в расчете не учитывали.

Годовой расход топлива ( $B$ ) для отопления здания определяется по формуле

$$B = \frac{Q}{\eta Q_p} = \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)_{\tau_2}}{\eta Q_p} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t_q(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $Q$  – годовое тепlopотребление системой отопления здания;  $\eta$  – коэффициент полезного действия теплогенератора;  $Q_p$  – располагаемая теплота топлива;  $k_i$  и  $F_i$  – коэффициенты тепlopередачи и площади поверхности  $i$ -х наружных ограждений здания;  $m$  – количество всех  $i$ -х наружных ограждений;  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – даты начала и конца отопительного периода;  $\Delta t_q(\tau)$  – температурный перепад между средами (внутренним воздухом помещений и наружным воздухом), разделенными наружными конструкциями здания, зависящий от времени  $\tau$ .

Величина  $Q$  численно равна суммарным за отопительный период трансмиссионным тепlopотерям здания, которые составляют основную долю его тепlopотерь. Значения  $Q$  можно определить по уравнению тепlopередачи через

наружные строительные конструкции здания [1]:

$$Q = \sum_{i=1}^m (k_i F_i) \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t_q(\tau) d\tau.$$

С целью учета влияния солнечной радиации на годовой расход топлива при определении  $\Delta t_q(\tau)$  предлагается учитывать (кроме собственно перепада температур внутреннего и наружного воздуха  $\Delta t_T(\tau)$ ) также перепад температур внутреннего и наружного воздуха, обусловленный потоком солнечной радиации на здание (поправка на солнечную радиацию  $\Delta t_R(\tau)$ ):

$$\Delta t_q(\tau) = \Delta t_T(\tau) - \Delta t_R(\tau). \quad (2)$$

Эта поправка принята со знаком «–», так как поток солнечной радиации является дополнительным теплопоступлением, снижающим значение  $\Delta t_q(\tau)$ .

Величина  $\Delta t_q(\tau)$  – это такой перепад температур внутреннего и наружного воздуха  $\Delta t_T(\tau)$ , при котором здание в условиях отсутствия солнечной радиации имело бы те же теплопотери, которые оно имеет при данной температуре наружного воздуха и потоке солнечной радиации.

Значения  $\Delta t_T(\tau)$  и  $\Delta t_R(\tau)$  определяются по следующим формулам:

$$\Delta t_T(\tau) = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}(\tau); \quad (3)$$

$$\Delta t_R(\tau) = \mu \varepsilon R_{\text{св}} J(\tau), \quad (4)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха помещений;  $t_{\text{н}}(\tau)$  – температура наружного воз-

духа, зависящая от времени  $\tau$ ;  $\mu$  – относительная площадь светопрозрачных ограждений здания;  $\varepsilon$  – коэффициент пропускания светопрозрачными ограждениями суммарной солнечной радиации;  $R_{\text{св}}$  – термическое сопротивление светопрозрачного ограждения;  $J(\tau)$  – поток суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на поверхность окон, зависящий от времени  $\tau$ .

Для решения указанной задачи в формуле (3) можно принять постоянное во времени осредненное по зданию нормированное допустимое значение  $t_{\text{в}}$  по ГОСТ 30494 – 2011. Формула (4) представлена из исследования Л.С. Гандина [2].

Расчет значения  $B$  можно произвести с достаточной для инженерной практики точностью, если в формулы (3) и (4) подставлять среднемесячные значения величин  $t_{\text{н}}$  и  $J$ .

Расчет годового хода среднемесячных перепадов температур выполнен для жилого здания, расположенного в г. Новокузнецке, при следующих исходных данных:  $t_{\text{в}} = 20$  °С; значения  $t_{\text{н}}$  принимали равными среднемесячным по СП 131.13330.2012;  $\mu = 0,3$ ;  $\varepsilon = 0,67$  (для окон с двойным остеклением без загрязнений осадками);  $R_{\text{св}} = 0,44$  м<sup>2</sup>·°С/Вт (двойное остекление при коэффициентах теплоотдачи снаружи  $\alpha_{\text{н}} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и с внутренней стороны стены  $\alpha_{\text{в}} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)). Значения  $J$  по месяцам принимали по СП 131.13330.2012 для восточной ориентации окон; эти значения соответствуют, согласно данным работы [2], среднему значению по сторонам горизонта.

Расчет годового хода среднемесячных перепадов температур  $\Delta t_T(\tau)$ ,  $\Delta t_R(\tau)$  и  $\Delta t_q(\tau)$  представлен в таблице.

### Расчет годового хода среднемесячных перепадов температур

| Месяц    | $t_{\text{н}},$ °С | $J,$ Вт/м <sup>2</sup> | $\Delta t_T,$ °С | $\Delta t_R,$ °С | $\Delta t_q,$ °С |
|----------|--------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| январь   | –17,2              | 46                     | 37               | –4               | 33               |
| февраль  | –15,5              | 82                     | 36               | –7               | 28               |
| март     | –8,1               | 129                    | 28               | –11              | 17               |
| апрель   | 2,0                | 181                    | 18               | –16              | 2                |
| май      | 10,0               | 194                    | 10               | –17              | –7               |
| июнь     | 16,6               | 203                    | 3                | –18              | –15              |
| июль     | 18,8               | 198                    | 1                | –18              | –16              |
| август   | 15,8               | 172                    | 4                | –15              | –11              |
| сентябрь | 10,0               | 143                    | 10               | –13              | –3               |
| октябрь  | 2,2                | 93                     | 18               | –8               | 10               |
| ноябрь   | –8,3               | 59                     | 28               | –5               | 23               |
| декабрь  | –15,4              | 40                     | 35               | –4               | 32               |

П р и м е ч а н и е. Положительные значения перепадов температур – теплопотери помещениями, отрицательные – теплопоступления в помещения.

Для удобства анализа полученной информации по результатам расчета построены графики (рис. 1); показаны только месяцы отопительного периода, то есть когда значения  $\Delta t_q$  больше нуля (согласно формуле (1) условие  $\Delta t_q > 0$  соответствует положительному значению теплопотребления).

Положительные значения  $\Delta t_q$  в формуле (1) показывают наличие теплопотерь зданием, когда необходима работа системы отопления. Годовой ход положительных значений  $\Delta t_q(\tau)$  определяет требуемую продолжительность отопительного периода. Переход кривой  $\Delta t_q(\tau)$  (рис. 1) через горизонтальную линию  $\Delta t = 0$  задает значения начала и конца отопительного периода (соответственно  $\tau_1$  и  $\tau_2$ ), рассчитанные при учете совместного действия на здание температуры наружного воздуха и солнечной радиации; значения  $\tau_1$  и  $\tau_2$  отмечены вертикальными линиями.

Значение  $B$  можно найти с достаточной точностью из графика годового хода  $\Delta t_q(\tau)$  по формуле прямоугольников с шагом  $\tau_m$ , равном одному месяцу:

$$B \approx \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)}{\eta Q_p} \tau_m \sum_{j=1}^n (\Delta t_q)_j, \quad (5)$$

где  $\tau_m$  – средняя продолжительность месяца;  $n$  – количество  $j$ -х месяцев отопительного периода (учитываются только месяцы отопительного периода).

Определим значение  $B$  для традиционной системы отопления здания без термостатического регулирования (то есть для системы, теплопотребление которой не зависит от теплопоступлений за счет солнечной радиации), обозначив его  $B_T$  и исключив из формулы (2) слагаемое  $\Delta t_R(\tau)$  (кривая  $\Delta t_T(\tau)$  представлена на рис. 1).

Начало и конец отопительного периода должны определяться условием  $\Delta t_T(\tau) > 0$ , то есть переходом температуры через значение  $t_n = t_b$ , когда отсутствуют теплопотери помещениями, что в условиях Сибирского региона означало бы почти круглогодичную работу неавтоматизированной системы отопления. В практике теплоснабжения время начала  $\tau_1$  и конца  $\tau_2$  отопительного периода приняты, согласно СП 124.13330.2012, при среднесуточной температуре наружного воздуха  $8^\circ\text{C}$  за пять суток подряд  $t_n(\tau_1) = t_n(\tau_2)$ . Если принять значение  $t_b$  для жилых помещений  $20^\circ\text{C}$ , то в настоящее время даты начала и конца отопи-

тельного периода в условиях г. Новокузнецка определяются переходом кривой  $\Delta t_T(\tau)$  через горизонтальную линию  $\Delta t = 12^\circ\text{C}$ , а время, когда  $\Delta t_T(\tau)$  более  $12^\circ\text{C}$ , определяет продолжительность отопительного периода (вертикальные штриховые линии).

При сопоставлении сроков начала и конца отопительного периода, рассчитанных при учете совместного действия температуры  $t_n$  и солнечной радиации, с определенными только по температуре  $t_n$ , видно, что в связи с избытком солнечной радиации весной целесообразно конец отопительного периода перенести так, как это показано на графике (с 10 мая на 20 апреля). При этом температура наружного воздуха конца отопительного периода  $t_n(\tau_2) = t_b - \Delta t_T(\tau_2) = 20 - 16 = 4^\circ\text{C}$ , где значение  $\Delta t_T(\tau_2) = 16^\circ\text{C}$  принято по рис. 1.

Таким образом, избыток солнечной радиации в апреле-мае позволяет сократить отопительный период в г. Новокузнецке на 20 дней без заметного снижения комфортных условий в помещениях.

Значение  $B_T$  можно найти с достаточной точностью из графика годового хода  $\Delta t_T(\tau)$  по формуле прямоугольников с шагом  $\tau_m$ , равным одному месяцу:

$$B_T \approx \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)}{\eta Q_p} \tau_m \sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j. \quad (6)$$

Экономия годового расхода топлива для теплогенератора в результате автоматизации системы отопления здания (установки радиаторных терморегуляторов и схемы погодной компенсации), связанная с учетом влияния солнечной радиации на теплопотребление отопительной системой, составит

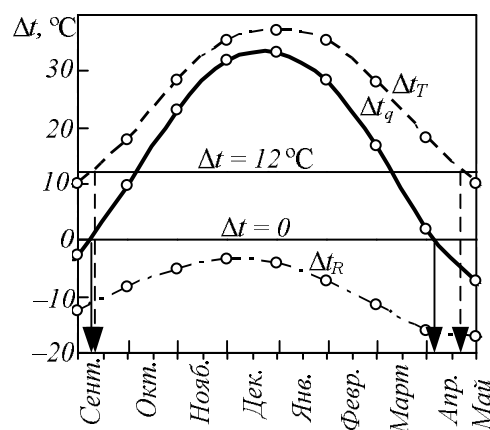


Рис. 1. Перепад температур с сентября по май для г. Новокузнецка

$$\Delta = \frac{B_T - B}{B_T} 100 \% = \frac{\sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j - \sum_{j=1}^n (\Delta t_q)_j}{\sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j} 100 \% . \quad (7)$$

Аналогичным образом можно уточнить ежемесячную экономию расхода топлива (при подстановке в формулу (7) вместо суммарных значений перепадов температур соответствующих перепадов температур отдельных месяцев). Значения снижения расхода топлива в случае учета системой потока солнечной радиации по месяцам отопительного периода представлены на рис. 2.

Экономия топлива за счет теплопоступлений от солнечной радиации в осенние месяцы (октябрь, ноябрь) составляет в среднем 30 % (за два месяца), в весенние месяцы (март, апрель) – 65 % за два месяца. Даже в наиболее холодные месяцы года (декабрь, январь) указанные теплопоступления позволяют снизить теплопотребление системой отопления на 10 %.

По результатам расчета годового хода перепадов температур имеем:

$$\sum_{j=1}^n (\Delta t_q)_j = 145 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{суммируются месяцы,}$$

когда  $\Delta t_q > 0$ );

$$\sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j = 210 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{суммируются месяцы,}$$

когда  $\Delta t_T(\tau) > 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ );

$$\Delta = (210 - 145) \cdot 100 / 210 \approx 30 \% .$$

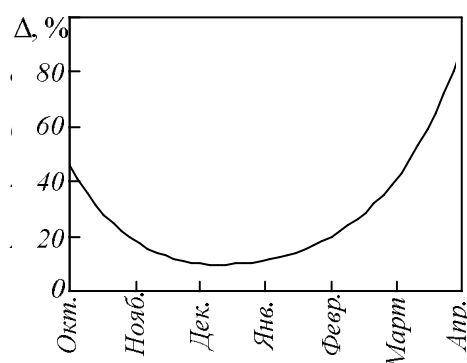


Рис. 2. Ежемесячная экономия топлива

**Выводы.** Для условий г. Новокузнецка годовая экономия топлива составит 30 %. Такое снижение затрат в весенний период, а также в те зимние дни, когда наблюдается значительный поток солнечной радиации, на фоне увеличения тарифов на отопление зданий ведет к стимулированию работ в области автоматизации систем отопления. Причем в расчете не учитывали теплопоступления от других источников (например, от бытового оборудования) и периодическое суточное увеличение плотности потока солнечной радиации в ясные дни, увеличивающие рассчитанный процент экономии. Однако следует сказать о необходимости комплексного подхода к созданию энергосберегающих систем теплопотребления: кроме обязательной инсталляции в системы терморегуляторов в совокупности со схемами погодной компенсации целесообразной является реализация схем пофасадного регулирования, а также работы по улучшению теплотехнических характеристик зданий (теплоизоляция наружных строительных конструкций и т.п.). Комплексный подход к внедрению энергосберегающих мероприятий обеспечит значительный экономический эффект.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б а с и н А.С., Ч а п а е в Д.Б., С м и р н о в а Е.В. Учет метеорологических факторов, прогрева конструкций и инфильтрационных теплопотерь в расчете теплового потока на отопление жилых зданий района. – В кн.: Новые строительные технологии 2010: сб. науч. трудов. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. С. 263 – 265.
2. Г а н д и н Л.С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях. – В кн.: Труды Главной геофизической обсерватории. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. Вып. 285. С. 3 – 16.

© 2014 г. Д.Б. Чанаев  
Поступила 16 июня 2014 г.