

УДК 697.9

## К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Докт. техн. наук, проф. ПИЛИПЕНКО В. М.<sup>2)</sup>, канд. техн. наук, доц. АКЕЛЬЕВ В. Д.<sup>1)</sup>,  
КИЕТ НГО ТУАН<sup>3)</sup>, канд. техн. наук НГУЕН ТХУ НГА<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»,

<sup>3)</sup>Научный энергетический институт Вьетнамской академии наук и технологий

Решение задач экономии теплоты в строительстве сегодня имеет место лишь в пределах одной специальности, а также в рамках нераспространения на проблему в целом. Проводимые исследования не учитывают того, что уровень энергетической эффективности здания зависит от архитектурно-планировочного решения, компоновки здания, работы технологического оборудования, освещения, систем автоматизации, обеспечивающих микроклимат в помещениях.

Использование возобновляемых источников энергии в энергоэффективном строительстве, энергосбережение – важнейшие актуальные проблемы большинства стран. Неоспоримым фактом является разработка принципиальных концепций развития нетрадиционных источников теплоты, энергии. Применение нетрадиционных источников энергии в мировой практике отнесено к числу важнейших факторов, обуславливающих будущее энергетики.

В интенсивно развивающемся технологическом мире энергоэффективное здание нельзя рассматривать как статичную систему вне общих тенденций развития энергетики и энергоэффективных технологий. Затраты теплоты и энергии на эксплуатацию здания в течение срока его функционирования можно представить в следующем виде:

$$E = S_{от} \left[ \sum_{n=1}^N \tau_n (f_1 \Delta T_n - f_{2n}) - \sum_{m=3}^M \sum_{n=k_m}^N \tau_n f_{mn} \right], \quad (1)$$

где  $N$  – продолжительность функционирования здания, годы;  $M$  – число энергоэффективных технологий в здании;  $n$  – номер года;  $m$  – номер технологии;  $k_m$  – номер первого года введения технологии;  $E$  – затраты теплоты, энергии на эксплуатацию здания в течение срока его функционирования, кВт·ч;  $S_{от}$  – отопляемая площадь здания, м<sup>2</sup>;  $\tau_i$  – продолжительность отопительного периода в  $i$ -м сезоне, ч;  $f_1$  – суммарный удельный коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м<sup>2</sup>·°С·Вт);  $f_{2i}$  – мощность внутренних источников теплоты в здании, кВт/м<sup>2</sup>;  $f_{mn}$  – удельная мощность энергоэффек-

тивных технологий ( $m$ -й) в  $n$ -м году, кВт/м<sup>2</sup>;  $\Delta T_n$  – средняя разность температур воздуха внутри и снаружи здания в  $i$ -м году, °С.

В соответствии с общепринятой терминологией энергоэффективное здание – это открытая энергетическая система с оптимальным для существующих технико-экономических условий уровнем потребления теплоты и интерфейсом для подключения энергоэффективных модулей. Следовательно, это развивающееся, с точки зрения уровня тепловых потерь, здание, энергетические характеристики которого изменяются по мере развития энергоэффективных технологий, оставаясь оптимальными по отношению к затратам на экономию энергии во время его эксплуатации.

Проектирование систем теплоснабжения зданий, равно как и расчет мощности отопительных элементов в них, выполняется для нормируемых условий микроклимата помещений исходя из проектных значений сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций зданий и уровня воздухообмена помещений [1]. При этом оптимальное значение температуры находится в пределах (20–22) °С, что выше расчетного диапазона, устанавливаемого жильцами при возможности регулирования от 18 до 25 °С.

Таким образом, на стадии проектирования [2] закладывается противоречие между проектными и фактическими температурными режимами жилых помещений. При эксплуатации жители доступными средствами добиваются оптимальной температуры воздуха в квартирах. В зданиях основная возможность регулирования температуры воздуха – воздухообмен. Жители старого жилого фонда с целью повышения температуры в квартирах уплотняют притворы окон различными способами, уменьшая при этом воздухообмен и снижая тепловые потери зданий.

В новых зданиях, где герметичные окна не оставляют резерва экономии теплоты вследствие уменьшения воздухообмена, возникают проблемы, связанные с высокой относительной влажностью воздуха. У жильцов есть возможность управления воздухообменом, регулируя установку окон в режиме микропроветривания, но на первом месте остается комфортная температура.

В итоге тепловой баланс здания в процессе эксплуатации формируется с учетом климатических условий, влияющих на уровень тепловых потерь, социально-урбанистских условий, определяющих мощность тепловых выделений в здании и структуру жилого фонда, а также случайных воздействий жильцов на термодинамические параметры микроклимата квартир. Эти воздействия сказываются как на величине теплотерь здания, так и перераспределяют тепловую нагрузку между отдельными квартирами. Величину средней удельной мощности теплотерь  $q$  (Вт/м<sup>2</sup>) здания с учетом случайных воздействий жильцов можно записать в виде

$$q = \frac{T_{icp} - T_{out}}{S_{от}} \left( c\rho V_{cp} S_{от} + \sum_{m=1}^M \left[ \frac{S_m}{R_m} \left( 1 - \sum_{n=1}^N \frac{\delta R_{nm}}{R_m} \right) + \frac{1}{S_{от}} \sum_{n=1}^N \tau_n \left( c\rho v_n S_n + \sum_{m=1}^M S_{nm} \left( \frac{1}{R_m} - \frac{\delta R_{nm}}{R_m^2} \right) \right) \right] \right) - \frac{q_{вн}}{S_{уд}}, \quad (2)$$

где  $S_n$ ,  $S_m$ ,  $S_{nm}$  – отопляемая площадь  $n$ -й квартиры,  $m^2$ , площадь  $m$ -х ограждающих конструкций в здании и площадь ограждающих конструкций  $n$ -й квартиры ( $m^2$ ) с приведенным сопротивлением теплопередаче  $R_m$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $V_{cp}$  – средний объем воздухообмена в здании,  $m^3 / (m^2 \cdot c)$ ;  $\tau_n$  – случайная величина, равная отклонению (девиации) значения температуры в  $n$ -й квартире от средней по зданию величины,  $^\circ C$ ;  $v_n$  – случайная величина, равная отклонению значения воздухообмена в  $n$ -й квартире от средней по зданию величины,  $m^3 / (m^2 \cdot c)$ ;  $\delta R_{nm}$  – случайная величина, равная отклонению значения сопротивления теплопередаче  $m$ -го ограждения в  $n$ -й квартире от среднего по зданию значения,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $N$  и  $M$  – количество квартир в здании и число типов ограждающих конструкций соответственно;  $q_{вн}$  – мощность внутренних источников теплоты, приходящаяся на одного человека,  $Вт/чел.$ ;  $S_{уд}$  – средняя заселенность зданий,  $m^2/чел.$

Первый член суммы характеризует среднее значение мощности удельных тепловых потерь здания в течение отопительного сезона, второй – случайную составляющую, обусловленную девиациями температуры и воздухообмена в квартирах от средних значений.

Величина среднеквадратичного отклонения удельной мощности зданий среднего значения может быть рассчитана из уравнения

$$\sigma_q^2 = \frac{\sigma_\tau^2}{S_{ol}^2} \left[ c^2 \rho^2 \sigma_v^2 \sum_{n=1}^N S_n^2 + \sum_{n=1}^N \left( \sum_{m=1}^M \frac{S_{nm}}{R_m} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где  $\sigma_\tau$  и  $\sigma_v$  – среднеквадратичное отклонение температуры и удельного воздухообмена в квартирах от среднего значения,  $^\circ C$ ,  $m^3 / (m^2 \cdot c)$ , соответственно.

Требования к теплотехническим характеристикам зданий изменяются синхронно стоимости энергоносителей. Если в зданиях постройки 1994 г. требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций выбирались только из условия теплового комфорта, то затем были установлены нормируемые значения для сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций, а в 2009-м – нормативные значения удельных годовых потреблений теплоты на отопление зданий. Удельное годовое потребление теплоты на отопление устанавливается и в нормативах стран ЕС, которое относится не к зданию как конструктивной системе, а учитывает также климатические и условия эксплуатации зданий. Поэтому сравнительный анализ зданий, находящихся в различных климатических зонах и условиях эксплуатации, по удельному потреблению теплоты на отопление некорректен в силу отмеченных особенностей.

Предложенная математическая модель позволяет рассматривать здание как энергетическую систему, находящуюся во взаимодействии с внутренними условиями, обусловленными наличием жильцов и окружающей средой, и обеспечивает возможность моделирования для существующих в реальности условий эксплуатации.

## ВЫВОД

Выполненный комплекс научно-исследовательских разработок позволяет с использованием компьютерной техники прогнозировать по времени затраты теплоты в зданиях различного назначения в зависимости от термодинамических характеристик внутреннего и наружного воздуха, теплофизических характеристик ограждающих конструкций при наличии энергии энергоэффективных технологий во временном интервале социальных факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С о в р е м е н н ы е математические модели конвекции / В. К. Андреев [и др.]. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с.
2. П р о е к т и р о в а н и е экономичных общественных зданий: пер. с англ. / С. Терной [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.

Представлена кафедрой  
теплогазоснабжения и вентиляции

Поступила 03.04.2012