

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

**Юлиан КОДРЯНУ,
д-р инж., Петрошань**

Energetic efficiency is the most important issue of this century because of the limited character of world energetic resources. This fact led to the creation of the concept "energetically efficient building". It is being presented a mathematical model for energetically efficient buildings and the influence of external factors on the energetic balance of the building.

Мировой энергетический кризис 70-х годов привел, в частности, к появлению нового научно-экспериментального направления в строительстве, связанного с понятием "здание с эффективным использованием энергии". Первое такое здание было построено в 1974 году в г. Манчестере (штат Нью-Хэмпшир, США). Цель строительства этого здания, как, впрочем, и всех, последовавших за ним в рамках нового направления, заключалась в выявлении суммарного эффекта энергосбережения от использования архитектурных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов. В последние годы значительно увеличился объем строительства зданий различного технологического назначения с эффективным использованием энергии, и получили развитие в международной практике стандарты, правила и другие нормативные документы по проектированию и оценке энергоэффективности таких зданий.

Вместе с тем ощущается явная нехватка информации о научных методах, на основе которых осуществляется проектирование зданий. Не менее остро ощущается также и необходимость уточнения терминологии.

С точки зрения современной науки, задача проектирования энергоэффективных зданий относится к так называемым задачам "системного анализа" или задачам "исследования операций", поиск решения которых связан с выбором альтернативы и требует анализа сложной информации различной физической природы. Цель методов системного анализа или исследования операций – предварительное количественное обоснование оптимальных решений. Оптимальными здесь называются решения, которые по тем или иным признакам предпочтительнее всех других.

Исследование операций включает в себя три главных направления:

- Ø построение математической модели, то есть описание процесса на языке математики;
- Ø выбор целевой функции. Это исследование включает в себя определение ограничивающих условий и формулирование оптимизационной задачи;
- Ø решение поставленной оптимизационной задачи.

Математическая модель и целевая функция для энергоэффективного здания

В соответствии с методологией системного анализа математическую модель теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы целесообразно представить в виде трех взаимосвязанных моделей, более удобных для изучения:

- Ø математической модели теплоэнергетического воздействия наружного климата на здание;

Ø математической модели теплоаккумуляционных характеристик оболочки здания;

Ø математической модели теплоэнергетического баланса помещений здания.

Оптимизационная задача для энергоэффективного здания имеет следующее содержание: определить показатели архитектурных и инженерных решений здания, обеспечивающих минимизацию расхода энергии на создание микроклимата в помещениях здания. В обобщенном математическом виде целевую функцию для энергоэффективного здания можно записать так:

$$Q_{\min} = F(a_i) \tag{1}$$

где:

Q_{\min} – минимальный расход энергии на создание микроклимата в помещениях здания;

a_i – показатели архитектурных и инженерных решений здания, обеспечивающих минимизацию расхода энергии.

При реальном проектировании энергоэффективное здание в большинстве случаев не будет реализовано из-за ряда ограничений, вытекающих из конкретной строительной ситуации или из-за ряда соображений количественного или качественного характера, которые не были учтены при математическом моделировании. В этом случае целесообразно ввести показатель, характеризующий степень отличия реализованного решения от оптимального. В других случаях этот же показатель может служить критерием оценки искусства проектировщика. Назовем эту величину "показателем теплоэнергетической эффективности проектного решения" и обозначим h , так что по определению:

$$h = Q_{эф}/Q_{пр} \tag{2}$$

где:

$Q_{эф}$ – расход энергии на создание микроклимата в помещениях энергоэффективного здания;

$Q_{пр}$ – расход энергии на создание микроклимата в помещениях здания, принятого к проектированию.

С учетом принятого разделения математической модели теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы на три взаимосвязанных подмодели можно записать :

$$h = h_1 * h_2 * h_3, \tag{3}$$

где:

h_1 – показатель теплоэнергетической эффективности оптимального учета воздействия наружного климата на здание;

h_2 – показатель теплоэнергетической эффективности оптимального выбора тепло- и солнцезащитных характеристик наружных ограждающих конструкций;

h_3 – показатель теплоэнергетической эффективности оптимального выбора систем обеспечения микроклимата.

Оптимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания может быть оптимизировано за счет выбора формы здания (для зданий прямоугольной формы принимаются в расчет такие параметры, как его размеры и ориентация), расположения и площадей заполнения световых проемов, регулирования фильтрационных потоков. Например, удачный выбор ориентации и размеров здания прямоугольной формы дает возможность в теплый период года уменьшить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и, следовательно, снизить затраты на его охлаждение, а в холодный период – увеличить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и уменьшить затраты на отопление. Аналогичные результаты будут получены при удачном выборе ориентации и размеров здания по отношению к воздействию ветра на его тепловой баланс.

В общем случае оптимизировать теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания можно для любого характерного периода времени.

Важно отметить следующее: изменение формы здания или его размеров и ориентации с целью оптимизации влияния наружного климата на его тепловой баланс не требует изменения площадей или объема здания – они сохраняются фиксированными.



Рис. 1. Пример изменения формы здания с целью оптимизации теплоэнергетического воздействия климата на его тепловой баланс в зависимости от характерного периода года

На рис. 1 приведен пример изменения формы здания с целью оптимизации теплоэнергетического воздействия климата на его тепловой баланс в зависимости от характерного периода года.

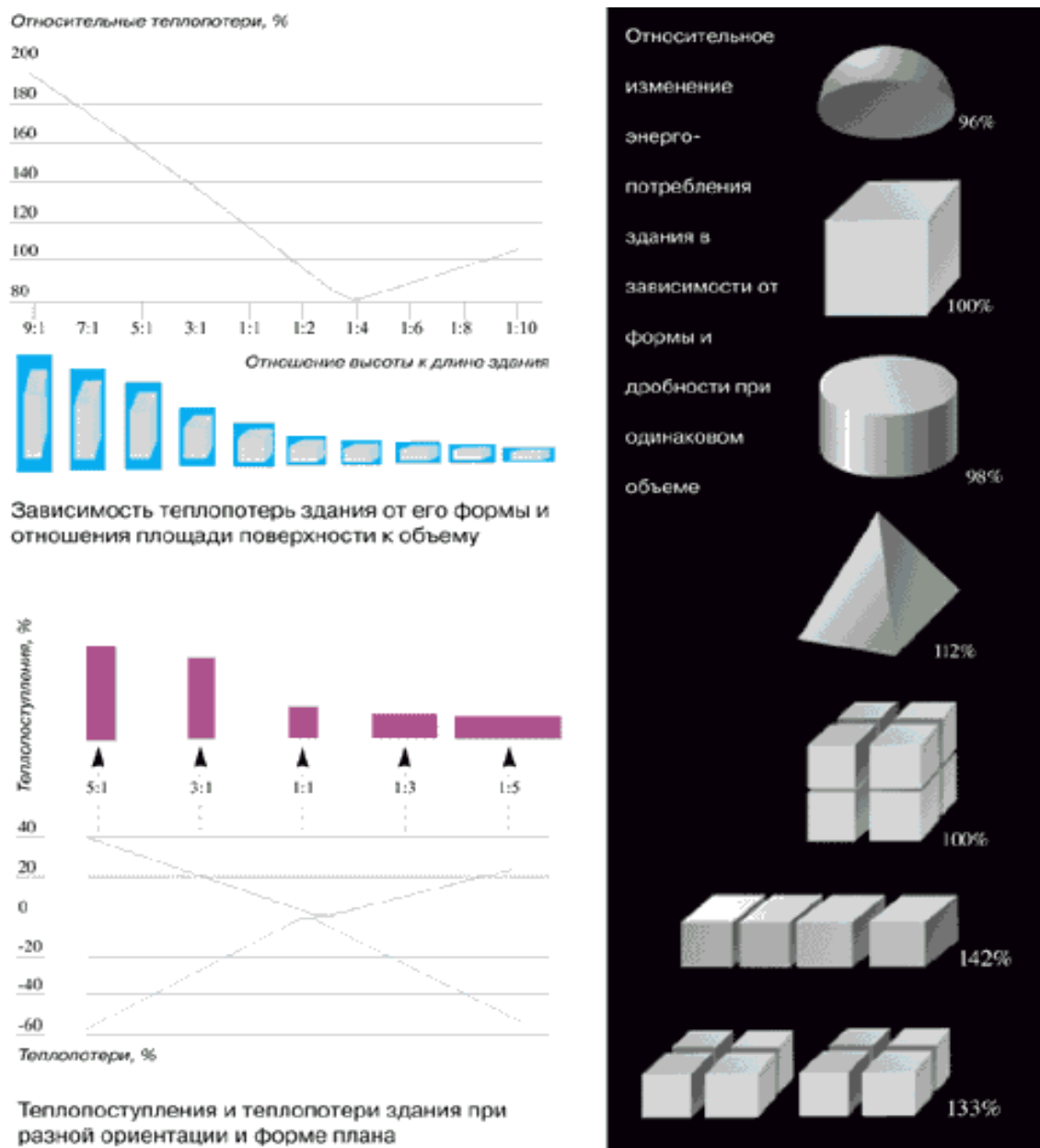


Рис. 2. Современное представление архитекторов о влиянии ориентации и формы здания и его теплопотребления

Оптимизация тепловой нагрузки на систему климатизации помещений здания

Специалисту, занимающемуся проектированием и расчетом систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, очевидно, что задачей проектирования и расчета является определение двух взаимосвязанных показателей: количества энергии и способа ее распределения (раздачи). По существу, речь идет о том, чтобы рассчитать и запроектировать такую систему управления расходом и распределением энергии, чтобы обеспечить при использовании ее минимальный расход. Таким образом, задача оптимизации теплоэнергетической нагрузки на систему обеспечения теплового режима здания будет относиться к так называемым задачам на оптимальное управление и получит следующее содержание: найти такое управление расходом энергии $Q(t)$ на обогрев помещения, удовлетворяющее уравнению теплового баланса

помещения и соответствующим начальным и конечным тепловым условиям, для которого расход энергии:

$$I = Q(t)dt \quad (4)$$

имеет наименьшее возможное значение.

Управление $Q(t)$, дающее решение поставленной задачи, называется оптимальным управлением, а соответствующая траектория изменения температуры внутреннего воздуха называется оптимальной траекторией.

Если иметь в виду, что реальное помещение есть совокупность теплоемких ограждающих конструкций и теплоемкого внутреннего оборудования (мебели), то процесс нагрева предполагает повышение температуры всей совокупности элементов помещения, то есть ограждающих конструкций и оборудования. Элементы высокой тепловой аккумуляции потребуют большего времени на разогрев. Следовательно, минимизация времени разогрева помещения достигается минимизацией времени разогрева элементов высокой тепловой аккумуляции. Можно сразу указать два простых случая: время разогрева помещения будет стремиться к минимуму, если внутренние поверхности ограждающих конструкций имеют низкие значения коэффициентов теплоусвоения материалов, а также если имеет место высокая интенсивность конвективного теплообмена между внутренним воздухом и внутренними поверхностями ограждающих конструкций. Оптимальный результат достигается, если совпадают оба случая.

Правильность этого решения получила подтверждение во время обсуждения доклада авторов по данной теме в Датском техническом университете. Датские специалисты сообщили, что во время реставрации католического собора с массивными каменными креслами для прихожан с целью экономии энергии на обогрев собора, используя понижение температуры внутреннего воздуха в ночное время, ими было принято решение разогрев собора начинать с разогрева электрическими подогревателями массивных каменных кресел. Экономия энергии составила 30-35%.

Автор проделал численные расчеты расхода энергии для помещения площадью 24 м^2 и объемом 72 м^3 с двумя наружными ограждающими конструкциями и окном с двойным остеклением площадью 3 м^2 . Рассмотрены три варианта наружных ограждающих конструкций:

- Ø кирпичная кладка толщиной $0,56 \text{ м}$, коэффициентов теплоусвоения $= 8,02 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Ø керамзитобетонная панель толщиной $0,23 \text{ м}$, коэффициентов теплоусвоения $3,36 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Ø панель типа "сэндвич" с утеплителем из заливного пенопласта типа пеноизол, унизол с обшивкой с двух сторон металлическими листами, толщина панели $0,052 \text{ м}$, коэффициентов теплоусвоения $0,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Для сопоставления результатов расчетов ограждающие конструкции имеют одинаковое термическое сопротивление. Кратность воздухообмена принята 3 1/ч . Температура наружного воздуха -5°C .

Начальные условия: температура внутреннего воздуха 10°C , температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций 10°C .

Конечные условия: температура внутреннего воздуха 22°C , температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций 14°C .



Рис. 3. Пример разогрева помещения настилающимися струями

Чтобы обеспечить минимизацию времени разогрева, было принято, что разогрев осуществляется конвективными тепловыми струями, настилающимися на внутренние поверхности ограждающих конструкций (рис. 3). Интенсивность конвективного теплообмена соответствовала следующим трем значениям коэффициентов конвективного теплообмена:

$$a_1=3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}); a_2=10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}); a_3= 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}). \quad (5)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета затрат энергии на разогрев помещения

Варианты	Время разогрева (t, ч) и затраты энергии (Q, Вт*ч) на разогрев помещения при значениях коэффициентов конвективного теплообмена											
	$a_1=3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$				$a_2=10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$				$a_3=21 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$			
	a	Q	Экономия энергии, %		a	Q	Экономия энергии, %		a	Q	Экономия энергии, %	
			Э ₁	Э ₂			Э ₁	Э ₂			Э ₁	Э ₂
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе	9,7	58100	0	0	3,5	20970	64	0	1,2	7160	88	0
Керамзитобетонная панель	2,5	35200	0	40	0,9	12560	64	40	0,31	4330	88	40
Панель типа "Сэндвич" с утеплителем из плиточного пенопласта	0,6	15650	0	56	0,2	4715	70	62	0,08	1940	88	55

В таблице 1 использованы условные обозначения:

Q – затраты энергии на разогрев, включая теплопотери через окна и за счет воздухообмена;

\mathcal{E}_1 – экономия энергии за счет повышения интенсивности конвективного теплообмена при одной и той же ограждающей конструкции;

\mathcal{E}_2 – экономия энергии за счет уменьшения теплоаккумуляционных показателей ограждающей конструкции (уменьшение коэффициента теплоусвоения).

Получен невероятный с точки зрения "здорового смысла" результат: максимальное значение экономии энергии при разогреве помещения при стремлении минимизировать время разогрева достигает 97%.

Рассмотрение табл. 2 позволяет сделать следующие выводы:

Ø экономия энергии при разогреве помещения за счет увеличения интенсивности конвективного теплообмена в 3 раза достигает 64-70%, а при увеличении в 6 раз – 88%. При этом время разогрева уменьшается в среднем в 3 раза;

Ø экономия энергии при разогреве помещения при уменьшении теплоаккумуляционных показателей ограждающей конструкции (уменьшение коэффициента теплоусвоения) в 2,4 раза достигает 40%, а в 10,4 раза – достигает 55-62%. При этом время разогрева уменьшается в среднем соответственно в 3,8 и 16 раз.

Заключение

Создание практически реализуемых в проектной практике методов проектирования энергоэффективных зданий требует дополнительной значительной работы и усилий коллектива специалистов.

Цель настоящей статьи – продемонстрировать заинтересованным специалистам, что в настоящее время существуют основы научных методов проектирования энергоэффективных зданий и попытаться дать им терминологическое определение.

Библиография

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988.
3. Табунщиков Ю.А. Основы математического моделирования теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы. Докторская диссертация. – М.: НИИСФ, 1983.
4. Табунщиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1986.
5. Tabunschikov Y. Mathematical models of thermal conditions in buildings, CRC Press, USA 1993.