

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ – АСПЕКТ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПОЛЕЗНОСТИ

А. А. Андреев, инженер ООО «Энергострой»

Ключевые слова: тепловые потери, функция полезности утепления здания, информационная сложность систем

Многовариантные энергосберегающие мероприятия требуют определенного количества денежных затрат. Вопрос о том, насколько стоимость вложенных средств соотносится с энергоэффективным строительством с точки зрения закона убывающей полезности, рассматривался в [1]. Рассмотрим последовательность экономического анализа энергосберегающих инженерных решений, а также представим методику оценки общей и предельной полезности тепловой защиты строительных конструкций.

В экономико-математических исследованиях для характеристики эффективности технических решений применяется категория полезности (utility) [2]. Экономическая наука рассматривает полезность не как объективное свойство товаров, а как субъективное отношение потребителя, желающего достичь максимального удовлетворения, используя ограниченный доход. В то же время количественная теория предполагает возможность измеримости рассматриваемой величины.

Дополнительный эффект теплосбережения

Разберем следующий пример. В качестве предмета потребления используем теплоизоляционные слои с коэффи-

циентом теплопроводности $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$. Дополнительный эффект теплосбережения, вызванный устройством добавочного единичного слоя, назовем предельной отдачей этого ресурса. Каждый такой слой обладает физическим свойством – коэффициентом теплопередачи, равным в первом приближении отношению коэффициента теплопроводности к толщине изоляции.

В случае единичной площади и фиксированной расчетной разности температур наружного и внутреннего воздуха удовлетворение потребителя или полезность технического решения определяется величиной теплового потока Q , проходящего через строительную конструкцию. Целевая функция при этом $Q_1 = f(R) \rightarrow \min$ или экономия тепла $Q_2 = f(R) \rightarrow \max$.



Таблица Общая (ТУ) и предельная (МУ) полезность тепловой изоляции

Толщина изоляции, мм (количество слоев)	$R_{\text{изол}} = \delta / \lambda$	$1 / (R_{\text{ж.б.}} + R_{\text{изол.}})$	Q_1 , Вт/м ²	$Q_2 = 440 - Q_1$	$MU = -(1/R_{\text{изол.}}) / \Delta t$	Стоимость изоляции, P_1 , руб./м ²	Предельная полезность денег, MU_1 / P_1	Удельные затраты, P_1 / Q_1 , руб./(Вт/м ²)
20 (1)	0,5	1,67	73,5	366,5	176,0	40,0	4,4	0,54
40 (2)	1,0	0,91	40,0	400,0	44,0	80,0	0,55	2,0
60 (3)	1,5	0,63	27,7	412,3	19,6	120,0	0,16	4,33
80 (4)	2,0	0,48	21,1	418,9	11,0	160,0	0,06	7,58
100 (5)	2,5	0,38	16,7	423,3	7,1	200,0	0,036	11,97

Рассмотрим единичную поверхность стены из железобетона толщиной 160 мм, $\lambda = 1,6$ Вт/(м•°С). Последовательно будем утеплять данную конструкцию слоями по 20 мм минплитой с $\lambda = 0,04$ Вт/(м•°С). Первичные тепловые потери составляют приблизительно $Q = 1/R(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = 1,6/0,16 (20 - (-24)) = 440$ Вт/м².

В качестве категории общей полезности примем экономию тепла, достигнутую дополнительной теплоизоляцией ограждающей конструкции (total utility – ТУ). Предельная полезность (marginal utility – MU) теплоизоляции по ее сопротивлению теплопередаче определяется производной $MU = \delta Q / \delta R$. Изменение полезности денег при затрате дополнительной суммы 1 руб. определяется отношением MU к стоимости изоляции.

Анализ результатов расчета

Результаты расчетов (см. таблицу) показывают увеличение затрат на дополнительные работы по изоляции с уменьшением эффективности вложения инвестиционных средств и уменьшение предельной полезности дополнительного утепления.

Изменение потока тепла через единичную поверхность стены при последовательной изоляции строительной конструкции и величина экономии тепла при тех же условиях представлены на рисунке. Очевидно, что каждый последующий слой минплиты вносит все меньший вклад в конечный результат. Этот вывод совпадает с положением теории субъективной полезности как с точки зрения потребителя, инстинктивно чувствующего невозможность бесконечного увеличения слоя изоляции, так и вследствие применения дробной функции $Q = f(R)$.

Эффективность внедрения

Положение об уменьшении эффекта каждого последующего шага улучшения системы находит свое подтверждение и в теории информации. В [3] предлагается оценивать эффективность внедрения автоматизированных комплексов в промышленности с точки зрения увеличения количества управляющей информации. Аналитическое выражение представляет собой экспоненциальную функцию вида $f(J) = 1 - ae^{-bJ}$, где J – дополнительно внесенная информация; a, b – эмпирические коэффициенты. Единица соответствует максимальной теоретической эффективности комплекса.

В [3] указывается, что при увеличении объема управляющей информации и ее детализации приобретаемый эффект дополнительно уменьшается, а срок окупаемости новой системы растет.

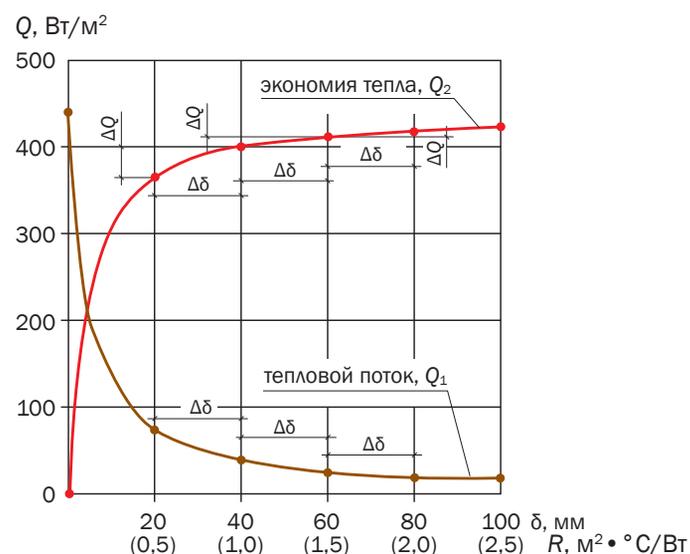


Рис. Тепловой поток и экономия тепла при послойной теплоизоляции ограждающей конструкции

Количественная оценка информации

Актуальной задачей является определение способа измерения количества информации, вносимой в инженерную систему с целью улучшения, например, ее энергоэффективности, упрощения эксплуатационных мероприятий, снижения текущих расходов.

В [4] предложено для количественной оценки информации, заложенной в проекте инженерных систем, использовать категорию «проектного образа». Под проектным образом (далее – ПО) будем понимать пространственную комбинацию необходимого числа проектных условных знаков, воспринимаемую исполнителями в виде рабочих чертежей в процессе выполнения строительно-монтажных работ. ПО несет законченную, то есть пригодную к материальному воплощению информацию (знак радиатора или конвектора с обозначением типа этого относительного прибора, чертеж этажестояка с обозначением диаметров и видов арматуры и т.д.).

Элементарный проектный образ (знак арматуры, знак диаметра трубы) формирует у монтажника проектный образ первого порядка – ПО1. Группы первого порядка, имеющие законченный функциональный признак (этажестояк, узлы счетчиков холодной и горячей воды), объединяются в группы второго порядка. Наличие общего назначения объединяет ПО низких порядков в более крупные группы (стояк системы отопления, система отопления, система отопления с тепловым пунктом). Соответственно, информация, снятая с рабочего проекта с точностью до стояка отопления, будет меньше, чем та, которая получена нами с точностью до первичного элемента.

Рабочие чертежи электрических (ЭО, ЭС), слаботочных систем, в том числе автоматических систем, имеют такую же градацию. Более того, для изготовления и эксплуатации контроллеров, исполнительных механизмов и т.д. выполняют электрические схемы, составляющие элементы которых также несут информационную нагрузку. Например, схема простейшего стабилизатора напряжения несет в себе порядка 30 составляющих (резисторов, транзисторов, диодов и т.п.). Усложнение устройства соответственно увеличит количество элементарных электронных ПО1.

Пример оценки мероприятия с учетом информационной сложности

Рассмотрим проводную систему управления работой напольного отопления. На первом уровне автоматика, управляющая температурой воздуха в помещении, состоит из контроллера, двухпозиционных комнатных регуляторов и термоэлектрических приводов к регулирую-

щей арматуре. На втором уровне комнатный регулятор дополнительно обеспечивает недельную программу работы отопления, программы: «день/ночь», оптимальный старт, нагрев/охлаждение. Третий уровень прибавляет еще управление температурой поверхности пола. Соответствующие стоимости систем автоматики (с монтажом): 9 300 руб., 11 550 руб., 12 900 руб. Зная количество информации в виде ПО1, можно оценить стоимость каждой такой единицы.

В конечном итоге перечисленные системы экономят тепловую энергию за счет снижения температуры поверхности пола днем в отсутствие жильцов в доме или в течение недели (например, в случае отъезда людей в отпуск). Пусть квартира площадью 100 м² имеет теплопотери при $t_{н} = -10$ °С 2 000 ккал/ч или 336 000 ккал/нед. Снижение температуры с $t_{в} = 20$ °С до $t_{в} = 10$ °С даст экономию тепла примерно 140 000 ккал/нед.

Строго говоря, рассуждая об экономии тепла отдельным жильцом, обязательно нужно оговорить условие теплоизоляции жилища по всем поверхностям (пол, стены, потолок). В противном случае владелец квартиры, отключив отопительные приборы, будет получать тепло от своих соседей, т.к. железобетонный каркас здания прекрасно проводит тепло, являясь сплошным мостиком холода.

Таким образом, расчет величины экономии тепла и инвестиционных затрат при применении все более продвинутых гаджетов необходимо оценивать с точки зрения теории предельной полезности.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

- По мере усложнения системы предельная полезность инженерных решений уменьшается.
- Прирост эффекта от внедрения дополнительных улучшающих элементов в расчете на единицу инвестируемых средств снижается.
- Оптимальное решение для заказчика строительства выбирается исходя из экономического анализа технических решений с точки зрения их предельной полезности.

Литература

1. Табунщиков Ю. А. Энергосбережение и энергоэффективность – мировая проблема предельной полезности // Энергосбережение. 2010. № 6.
2. Экономическая школа. 1992. Вып. 2.
3. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. М. : Наука, 1983.
4. Стахов А. Е. Методы повышения эффективности управления строительным проектированием. СПб. : Стройиздат, 2005. ■