



О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ И ЕГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ

О. Д. САМАРИН, доцент, канд. техн. наук,
О. Ю. НЕСЕНЮК, А. В. ИСТРАТОВ, студенты (МГСУ)

В предлагаемой работе рассмотрена оценка энергоэффективности и определение целесообразности комплекса энергосберегающих мероприятий в двух общественных зданиях, расположенных в г. Москве (далее — Здания 1 и 2).

Наиболее полная методика оценки энергопотребления зданий, позволяющая учитывать все основные виды энергозатрат и их снижение за счет применения практически любых известных энергосберегающих мероприятий, содержится в общественном Стандарте РНТО строителей «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» [1]. Стандарт введен в действие с 1 января 2006 г. постановлением расширенного заседания Бюро Совета РНТО строителей от 30 сентября 2005 г. и является документом добровольного применения в соответствии с Законом РФ «О техническом регулировании» № 184-ФЗ (ЗТР), подписанным Президентом РФ 27 декабря 2002 года. Основы данной методики применительно как к жилым, так и общественным зданиям изложены также в работе [2].

Базисный вариант (далее — Вар.1) представляет собой здание без дополнительных энергосберегающих мероприятий и с теплозащитой наружных ограждений только по санитарно-гигиеническим требованиям [1] с использованием в качестве расчетной температуры наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92 по данным [3]. Это отвечает требованиям безопасности зданий в соответствии с ЗТР. При этом, поскольку Здание 1 относится к первой категории по уровню теплозащиты [1], а Здание

2 — ко второй, сопротивления теплопередаче у несветопрозрачных ограждений Здания 1 получаются изначально более высокими. Альтернативный вариант (Вар.2) предусматривает использование следующих энергосберегающих мероприятий:

- Утепление несветопрозрачных наружных ограждений;
- Замена двойного остекления на тройное;
- Утилизация теплоты вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем;
- Установка смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором;
- Установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, дающая возможность учесть бытовые тепловыделения и теплопоступления от солнечной радиации через окна.

Оценка энергоэффективности зданий сводится к определению их энергетической эксплуатационной характеристики. Она равна удельным суммарным затратам тепловой и электрической энергии, кВт·ч/(м²·год), на 1 м² отапливаемой площади здания за один отопительный период в годовом цикле эксплуатации за вычетом теплопоступлений от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через световые проемы.

При этом сопротивления теплопередаче для несветопрозрачных ограждений после утепления были вычислены в соответствии с методикой [4] при отношении $n = r_1/r_2$ коэффициентов теплотехнической однородности ограждающих конструкций соответственно до и после утепления, равном 1, дополнительных единовременных

затратах сверх стоимости материала утеплителя $C_p = 140$ руб/м² и стоимости утеплителя $C_{yr} = 1350$ руб/м³ (минераловатная плита П-125). Здесь и далее цены и тарифы приведены на середину 2009 года. Теплопроводность теплоизоляционного материала в обоих случаях принималась равной $\lambda_{yr} = 0.042$ Вт/(м·К). Заметим, что получаемые значения при этом в обоих случаях в основном ниже, чем требуемые по Таблице 4 [5]. Они примерно соответствуют уровню, полученному при допустимом снижении теплозащиты в соответствии с п.5.13 того же источника, т. е. на 37% для наружной стены и на 20% — для покрытия и перекрытия над техподпольем.

Кроме того, при оценке бытовых теплопоступлений на 1 м² отапливаемой площади в качестве источников использованы поступления теплоты от людей при нормативе 90 Вт/чел, от освещения и электроприборов, а также приводов инженерных систем с учетом фактических значений продолжительности рабочего времени, мощности оборудования и коэффициентов спроса на электроэнергию. В случае, если расчетная мощность бытовых теплопоступлений оказывается менее 10 Вт/м², для дальнейших вычислений используется величина 10 Вт/м². Следует, однако, иметь в виду, что при определении энергетической эксплуатационной характеристики теплопоступления в 1-м варианте не учитываются, т. к. предполагается отсутствие индивидуального автоматического регулирования теплоотдачи системы отопления. В Таблице 1 приведены результаты расчета энергетических показателей рассматриваемых зданий, а в таблице 2 — сравнительная



Таблица 1. Результаты определения энергетических показателей.

Параметр	Ед. изм.	Значение			
		Здание 1		Здание 2	
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1	Вар. 2
Исходные данные					
Количество людей (по проекту)	чел.	400		300	
Площадь остекления	м ²	720		230	
Площадь наружных стен (без окон)	м ²	1783		1070	
Площадь покрытия	м ²	1339		1500	
Площадь перекрытия над техподпольем	м ²	1339		1500	
Коэффициент остекления	–	0.40		0.14	
Отапливаемая площадь	м ²	5064		3840	
Отапливаемый объем	м ³	16711		13824	
Средняя температура внутреннего воздуха	оС	20		20	
Средняя температура нар. воздуха за отоп. период	°С	– 3.1			
Продолжительность отопительного периода	сут	214			
Характеристика отопительного периода	тыс. К·час	118.6			
Суммарная площадь наружных ограждений	м ²	5181		4404	
Варианты теплозащиты ограждений здания					
Сопротивление теплопередаче стен	м ² ·К/Вт	0.92	2.43	0.87	2.34
То же, покрытия	м ² ·К/Вт	1.38	3.22	1.10	2.78
То же, перекрытия над техподпольем	м ² ·К/Вт	1.66	3.68	0.66	1.10
Сопротивление теплопередаче окон	м ² ·К/Вт	0.31	0.54	0.42	0.56
Коэффициент n наружной стены	–	1			
То же, покрытия	–	1			
То же, перекрытия над техподпольем	–	0.6			
То же, окон	–	1			
Коэффициент компактности	м ⁻¹	0.303		0.255	
Энергопотребление здания за один отопительный период					
Трансмиссионные теплопотери	МВт·ч/год	728.2	337.2	1074	519.1
Расчетный воздухообмен (по проекту)	м ³ /ч	58485		40000	
Кратность воздухообмена (в рабочее время)	ч ⁻¹	3.5		3	
То же, в нерабочее время	ч ⁻¹	0.5			
Коэфф. эффективности устройств теплоутилизации	–	0	0.5	0	0.5
Коэфф. учета встречного теплового потока	–	0.8	0.7	0.8	0.7
Рабочее время	час/сут	15		12	
Эффективная кратность воздухообмена	ч ⁻¹	2.34	1.22	1.7	1.175
Энергозатраты на подогрев воздуха для вентиляции	МВт·ч/год	1529	801.4	923	638
Норма расхода горячей воды в средние сутки	л/сут	4800		18000	
Коэфф. снижения расхода горячей воды	–	1	0.94	1	0.94
Энергозатраты на горячее водоснабжение	МВт·ч/год	65.7	61.8	164.3	154.4
Мощность электроприводов инженерных систем	кВт	120		100	
Коэффициент спроса для электроприводов	–	0.65		0.5	
Энергопотребление электроприводами инж. систем	МВт·ч/год	250.4		219	
Удельная нагрузка на освещение и электроприборы	кВт/чел	0.036		0.036	
Мощность освещения и электроприборов	кВт	14.4		10.8	
Коэфф. спроса для освещения и электроприборов	–	0.4		0.85	
Электропотребление на освещение и эл. приборами	МВт·ч/год	18.5		23.5	
Бытовые теплопоступления на 1м2 отапл. площади	Вт/м ²	14.7		19.72	
Бытовые тепловыделения	МВт·ч/год	384.4		389	
Коэффициент затенения светового проема	–	0.65	0.5	0.65	0.5
Коэфф. относит. проникания солнечной радиации	–	0.57	0.83	0.57	0.83
Теплопоступления от солнечной радиации через окна	МВт·ч/год	40.3	45.1	26.1	29.3
Суммарные теплопоступления	МВт·ч/год	–		418.3	
Энергетическая эксплуатационная характеристика	кВт·ч/(м ² ·г)	511.9	205.3	524.7	303.4

эффективность энергосберегающих мероприятий, т.е. абсолютное и относительное снижение энергопотребления. Необходимые справочные данные по температурам внутреннего воздуха, кратности воздухообмена в рабочее время, расходу горячей воды и потреблению электроэнергии приняты по [6-9].

Как видно из полученных результатов, вклад каждого мероприятия в относительное снижение энергопотребления различен, но для обоих зданий это распределение имеет очень сходный вид. Суммарная экономия энергии достаточно значительна (42-60%), причем на долю утепления несветопрзрачных ограждений приходится всего 10-12 процентов. Это в основном соответствует заявленной разработчиками Стандарта РНТО [10] цели по снижению энергозатрат за счет комплекса энергосберегающих мероприятий не менее чем в два раза. Следует при этом отметить, что в Здании 1 из-за большей кратности воздухообмена в системе механической вентиляции снижение энергопотребления за счет теплоутилизации заметно возрастает и в относительных величинах оно выходит на первое место. Поэтому очевидно, что чем выше доля затрат на механическую вентиляцию в общем балансе здания, тем больше доводов в пользу утилизации теплоты вытяжного воздуха. Однако в Здании 2 суммарная экономия теплоты получилась все же менее 50%, главным образом из-за более значительной доли горячего водоснабжения в энергетическом балансе вследствие наличия бассейна.

Кроме того, существенный резерв имеется благодаря значительной доле затрат электроэнергии, составляющей в соответствии с Таблицей 1 примерно 10-20% в энергетическом балансе здания. Заметим, что речь идет о технологических расходах на освещение, привод инженерных систем, бытовые электроприборы, оргтехнику и другое подобное оборудование. Уменьшить их мы практически не можем, поскольку эти затраты связаны с функциональным назначением здания и безопасностью его

эксплуатации и опять-таки являются обязательными с точки зрения ЗТР. Но мы можем и должны утилизировать теплоту, в которую полностью переходит эта энергия, и использовать ее, например, для отопления

здания, с соответствующим снижением потребления на эти нужды тепловой энергии от внешнего источника [2]. Для этого приборы системы отопления должны быть оборудованы автоматическими терморегуляторами.



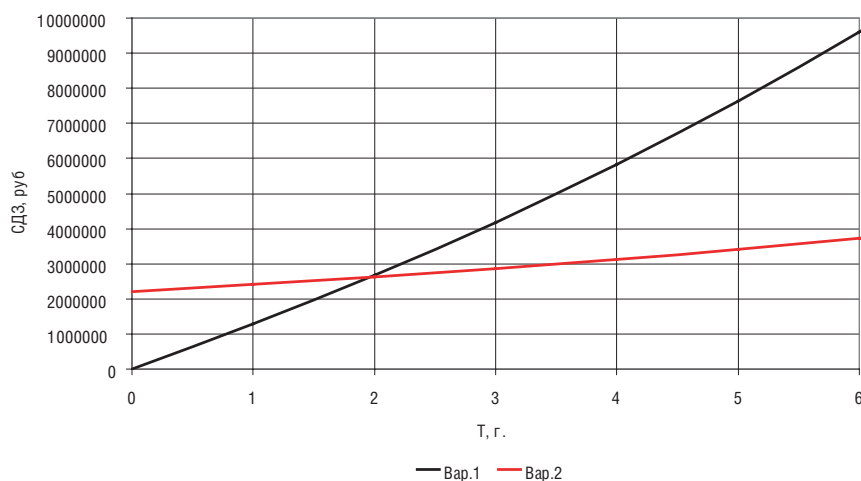
Таблица 2. Сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий.

К детальной разработке принят Вариант 2	Потребление энергии по Варианту 1			
	Здание 1		Здание 2	
	кВт·ч/(м ² ·год)	%	кВт·ч/(м ² ·год)	%
	511.9	100	524.7	100
Дополнительно принятые энергосберегающие решения	Экономия энергии в Варианте 2			
1. Утепление несветопрозрачных наружных ограждений	55.5	10.85	60.3	11.5
2. Оптимизация объемно-планировочных решений	–	–	–	–
3. Энергоэффективные конструкции окон:				
а) от повышения теплозащитных качеств	21.7	4.23	5.2	9.9
б) от снижения инфильтрации	2.42	0.47	3.56	0.68
4. Утилизация теплоты вытяжного воздуха	141.30	27.61	74.2	14.2
5. Установка смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором	0.78	0.15	2.58	0.5
6. Дополнительные теплопоступления от людей и бытовых приборов	75.91	14.83	101.3	19.3
7. Дополнительные теплопоступления от солнечной радиации через окна	8.91	1.74	0.83	0.16
ИТОГО:	306.55	59.89	248	73
Всего энергозатраты в Варианте 2	205.31	40.11	303.4	57.82

Наибольший интерес, однако, представляет экономическая эффективность всего комплекса принятых решений по энергосбережению. В условиях рыночной экономики ее оценку наиболее целесообразно вести по величине совокупных дисконтированных затрат (СДЗ), связанных с дополнительными капиталовложениями и уровнем годовых эксплуатационных издержек с учетом изменения цен и тарифов на энергоносители, а также рисков капиталовложений.

Вычисление СДЗ по вариантам в зависимости от горизонта расчета T , т. е. промежутка времени с момента ввода здания в эксплуата-

цию, производилось с учетом действующих цен на материалы и оборудование, в том числе упомянутых выше при оценке требуемой теплозащиты ограждений, и стоимости тепловой энергии, равной 955.8 руб/Гкал для нежилых зданий по данным ОАО «МОЭК» на 2009 г., с использованием методики, приведенной в [1] и использованной затем в [2]. При этом норма дисконта была принята равной средней ставке рефинансирования ЦБ РФ за вторую половину 2009, или 9-10% годовых. Результаты расчетов для Здания 1 приведены на Рис.1. Легко видеть, что ожидаемый срок окупаемости всего использованного

Рис. 1. Зависимость СДЗ от T для Здания 1

комплекса энергосберегающих мероприятий даже с учетом дисконтирования затрат составляет всего около двух лет, что во много раз меньше расчетного срока службы здания (порядка 50 лет). Практически такие же данные получаются и для Здания 2. Здесь окупаемость будет иметь место примерно через 2.4 года, т. е. лишь ненамного медленнее.

Необходимо заметить, что вычисленный срок окупаемости для Зданий 1 и 2 оказывается того же порядка и даже меньше, чем в предыдущих исследованиях подобного рода, например, [12], где получались значения в основном порядка 2-4.7 лет. Исключением являются результаты, полученных по данным 2006 года [13], где окупаемость осуществлялась еще медленнее — в пределах 7 лет. Это связано с заметным ростом тарифов на тепловую энергию, отпускаемую ОАО «МОЭК», в 2007 и особенно в 2008 году. Этот рост оказался значительно существеннее, чем повышение цен на оборудование и материалы. Удорожание же последних в целом соответствовало общей инфляции в РФ и составило примерно 10-15 процентов за год. Но почти такое же увеличение стоимости имело место и для и строительных работ по устройству дополнительной теплоизоляции. Поэтому повышающие коэффициенты к сопротивлению теплопередаче для несветопрозрачных ограждений, используемые в Вар.2 и вычисляемые по методике [5], сохранились практически неизменными и лежащими в пределах 2.2-2.7. В перспективе, в связи с прогнозируемым опережающим ростом цен на энергоносители, срок окупаемости будет и далее сокращаться, усиливая экономическую целесообразность мероприятий по снижению энергопотребления.

Кроме того, в обоих зданиях из-за достаточно большого воздухообмена механической вентиляции суммарное снижение энергопотребления получилось весьма значительным, а дополнительные капитальные затраты оказались сравнительно невелики, поскольку в основном свелись



к расходам именно на теплоутилизацию. Особенно это заметно в Здании 1. Кроме того, в рассматриваемых объектах еще добавляются большие бытовые тепловыделения, возможность использования которых за счет установки автоматических терморегуляторов также не влечет существенных капиталовложений. Это еще раз доказывает, что начинать реализацию энергосберегающих мероприятий следует с уменьшения той составляющей энергозатрат, которая занимает наибольшее место в общем балансе.

Следует, однако, указать, что сроки окупаемости каждого отдельно взятого мероприятия могут существенно отличаться от приведенных цифр как в меньшую, так и в большую сторону. Анализ данных, приведенных в [2], показывает, что наименее затратным является устройство утилизации теплоты в системах вентиляции и автоматизация системы отопления. Что же касается утепления стен, покрытий и перекрытий, можно показать, что при учете дисконтирования затрат и действующей ставке рефинансирования данное мероприятие само по себе экономически неоправданно, поскольку годовой процент за кредит, взятый на его реализацию, будет больше, чем ожидаемая годовая экономия затрат на тепловую энергию. Это особенно очевидно при рассмотрении Таблицы 1, откуда ясно, что трансмиссионные теплопотери через ограждающие конструкции в среднем составляют всего около 1/10 от суммарных энергозатрат на функционирование здания. Поэтому при попытке существенного повышения теплозащиты таких ограждений, помимо колоссальных капитальных затрат, доля трансмиссионных теплопотерь в общем энергопотреблении еще больше снизится, а баланс приобретет еще более искаженный вид. Об этом неоднократно упоминалось в литературе, в т.ч. в последнее время [14].

Тем не менее, совсем обойтись без повышения сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждений не удастся, т.к. остальные способы энергосбережения, как пра-

вило, не обеспечивают желательного для нас суммарного снижения энергопотребления — не менее чем в 2 раза по сравнению с базовым вариантом. Но такое повышение должно осуществляться в разумных пределах [4] и после того, как исчерпан энергосберегающий потенциал других возможных мероприятий. Поэтому только комплексный подход к энергосбережению способен решить проблему дефицита энергоресурсов, оставаясь в рамках экономически эффективных решений.

Методика оценки энергоэффективности, предложенная в Стандарте РНТО строителей, позволяет принимать такие решения уже на стадии ТЭО проекта. При этом вначале устанавливаются общие параметры проекта, и в первую очередь распределение энергозатрат по всем основным статьям расходов с учетом всех применяемых энергосберегающих мероприятий, и вычисляется расчетный срок окупаемости принятых решений в целом. При последующей детальной разработке отдельных разделов проекта (теплозащита, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение и т.д.) эти параметры должны выдерживаться с достаточной для инженерных расчетов точностью, т.е. в пределах 5 процентов. Такой подход полностью соответствует положениям ЗТР, а его основные преимущества, перечисленные выше, были ранее изложены автором в работе [2]. Только в этом случае можно преодолеть несогласованность между функционированием различных инженерных систем здания и обеспечить в известных пределах взаимозаменяемость всех способов энергосбережения с минимальными затратами.

Литература.

1. СТО 17532043-001-2005. Стандарт общественной организации — РНТО строителей. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. — Колл. авторов под рук. Г.С. Иванова. — М.: ГУП ЦПП, 2006.
2. О.Д. Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффек-

тивность. — М.: Изд-во АСВ, 2009, 296 с.

3. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». — М.: ГУП ЦПП, 2004.

4. Г.С. Иванов. Методика оптимизации уровня теплозащиты зданий. //Стены и фасады., 2001, №1-2, с. 7-10.

5. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». — М.: ГУП ЦПП, 2003.

6. СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения». — М.: ГУП ЦПП, 1999.

7. СНиП 2.04.01-85* «Внутренний водопровод и канализация зданий» — М.: ГУП ЦПП, 2000.

8. ВСН 59-88 «Электрооборудование жилых и общественных зданий». — М.: Госкомархитектура, 1988.

9. МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях» — М.: Москомархитектура, 1999.

10. Г.С. Иванов. Строительная теплофизика. Нормы проектирования ограждающих конструкций зданий, строений и сооружений. Проект стандарта НТО строителей России. (Сб. докл. 9-й конф. РНТОС, 2004, с. 22-24.)

11. В.Г. Гагарин. Критерий окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий в различных странах. (Сб. докл. 6-й конф. РНТОС, 2001, с. 43-63).

12. О.Д. Самарин, Т.И. Кондрашина, П.П. Мезенцева. Об оптимальном сочетании энергосберегающих мероприятий и его технико-экономическом обосновании. //Окна и двери., 2009, №1-2, с. 26-29.

13. О.Д. Самарин, С.А. Казаковцева, К.В. Свиридонов. О комплексной оценке энергоэффективности общественных зданий. //Фасадные системы., 2007, №1, с. 22-25.

14. О.И. Лобов, А.И. Ананьев, В.П. Абарыков, А.Е. Синютин. Физические основы проектирования фасадных систем зданий. //Сб. докл. конф. МГСУ «Современные фасадные системы: эффективность и долговечность», 2008 г., с. 66-80.