

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 820.9(0488)

Оптимальные уровни тепловой защиты жилых зданий для климатических условий России

© 2013 г. Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С.

Институт энергетических исследований РАН¹

Представлены результаты определения оптимальных значений сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций для существующих и вновь возводимых зданий по регионам России с различными климатическими условиями. Выполнен анализ на чувствительность полученных оптимальных решений к изменению внешних факторов. Определен потенциал энергосбережения в существующем жилищном фонде и при новом строительстве от повышения теплозащитных характеристик зданий до оптимального уровня.

Ключевые слова: теплоснабжение, отопление, сопротивление теплопередаче, ограждающие конструкции, тепловая защита, потенциал энергосбережения.

DOI: 10.1134/S0040363613110040

Жилищный комплекс – это один из крупнейших потребителей топливно-энергетических ресурсов. В 2011 г. на отопление и горячее водоснабжение (ГВС) жилых зданий было использовано 2063 млн ГДж тепловой энергии, что составляет 37.5% ее суммарного производства в стране. Кроме того, на цели теплоснабжения малоэтажной застройки в 2011 г. было израсходовано 2019 млн ГДж различных видов топлива, в основном природного газа (1486 млн ГДж), а также угля (293 млн ГДж) и дров (237 млн ГДж). В структуре теплопотребления жилищного комплекса в последние годы устойчиво растет доля отопления, которая в целом по стране к 2011 г. достигла 73.7%. Оставшиеся 26.3% приходятся на ГВС. Данная тенденция обусловлена в основном усилением контроля расхода горячей воды домашними хозяйствами благодаря массовой установке соответствующих приборов учета при малых масштабах выполнения энергосберегающих мероприятий по снижению теплопотерь зданий. Потребление тепловой энергии на нужды ГВС определяется преимущественно численностью населения, условиями, образом и уровнем жизни людей, а на нужды отопления – размером жилищного фонда, теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций зданий, санитарно-гигиеническими нормами (нормативной кратностью воздухообмена) и климатическими параметрами региона размещения жилья.

По данным Росстата жилищный фонд в РФ составил на конец 2012 г. около 3.3 млрд м² общей

площади, из которых 72.2% относятся к городской застройке. Около 3% существующего жилищного фонда – ветхий и аварийный. Ввод нового жилья за период 2000–2012 гг. увеличился более чем в 2 раза – с 30.3 до 65.3 млн м² в год. Доля малоэтажных зданий в новом строительстве в указанный период составляла в среднем 41–44% ежегодно вводимой жилой площади. Согласно прогнозам специалистов ИНЭИ РАН, жилищный фонд страны к 2030 г. может возрасти до 4.8 млрд м², т.е. почти в 1.5 раза.

Характерная особенность существующего жилищного фонда – большая доля энергозатратных зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм и правил (СНиП), принятых в 1979 г. [1] и ранее. Этими документами устанавливались низкие нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий, что было обусловлено невысокой в то время стоимостью энергии в СССР и дефицитом строительных материалов. Доля таких зданий в структуре существующего жилищного фонда превышает 80%. После 2003 г. строительство ведется в соответствии с требованиями СНиП 23-02-2003 “Тепловая защита зданий” [2], существенно ужесточившим нормы тепловой защиты зданий. В [2] нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых зданий задаются в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП) района строительства. В табл. 1 приведены численные значения этих требований применительно к столичным городам всех восьми федераль-

¹ 117186, Москва, Нагорная ул., д. 31, корп. 2. ИНЭИ РАН.

Таблица 1. Нормативные значения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций жилых зданий для столичных городов федеральных округов, $m^2 \cdot K/Wt$

Город	Вид ограждения			
	стены	окна и балконные двери	перекрытия	
			подвальные	чердачные
Москва	3.13/0.92	0.52/0.38	4.12/2.07	4.12/1.38
Санкт-Петербург	3.08/0.88	0.51/0.38	4.06/1.98	4.06/1.32
Ростов-на-Дону	2.63/0.80	0.41/0.34	3.49/1.81	3.49/1.21
Пятигорск	2.61/0.77	0.41/0.34	3.46/1.72	3.46/1.15
Нижний Новгород	3.21/0.98	0.54/0.52	4.23/2.20	4.23/1.47
Екатеринбург	3.49/1.05	0.60/0.52	4.59/2.37	4.59/1.58
Новосибирск	3.71/1.13	0.63/0.52	4.87/2.54	4.87/1.70
Хабаровск	3.56/0.98	0.61/0.52	4.68/2.20	4.68/1.47

Примечание. В числителе приведены действующие нормы [2], в знаменателе – требования предыдущего нормативного документа [1].

Таблица 2. Климатические данные для отопительного периода по выделенным городам

Город	$t_{н.р}, ^\circ C^*$	Характеристика отопительного периода		Скорость ветра в январе, м/с	ГСОП, $^\circ C \cdot \text{сут}/\text{год}$
		Продолжительность, сут/год	Средняя температура, $^\circ C$		
Москва	-28	214	-3.1	4.9	4943
Санкт-Петербург	-26	220	-1.8	4.2	4796
Ростов-на-Дону	-22	171	-0.6	6.5	3523
Пятигорск	-20	175	0.2	6.3	3465
Нижний Новгород	-31	215	-4.1	3.7	5182
Екатеринбург	-35	230	-6.0	5.0	5980
Новосибирск	-39	230	-8.7	5.7	6601
Хабаровск	-31	211	-9.3	5.9	6182

* Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления.

ных округов и по России в целом, рассчитанные в соответствии с рекомендациями [1–4] при нормативном значении температуры воздуха в помещении $20^\circ C$ [3]. Климатические данные по этим городам для отопительного периода (холодного времени года со среднесуточной температурой наружного воздуха не более $8^\circ C$) представлены в табл. 2. В среднем по России значение ГСОП равно примерно $5140^\circ C \cdot \text{сут}$ (рис. 1).

Из табл. 1 следует, что за последние 30 лет требования к сопротивлению теплопередаче отдельных типов наружных ограждений зданий были ужесточены в 2–4 раза, за исключением светопрозрачных конструкций, применительно к которым ужесточение требований оказалось минимальным – всего 1.1–1.4 раза. Тем не менее, действующие в стране нормативы тепловой защиты зданий все еще остаются существенно ниже (до

2 раз) аналогичных норм, принятых за рубежом в целях реализации энергосберегающей политики [5, 6], причем даже для более мягких климатических условий (табл. 3).

Следует отметить, что методики расчета ГСОП в России и за рубежом несколько различаются. В России ГСОП определяются исходя из нормируемой температуры внутри помещения для отопительного периода, а за рубежом – для всего периода с температурой наружного воздуха ниже определенного значения. Эти различия обусловлены преобладанием децентрализованного отопления за рубежом и систем централизованного теплоснабжения в России. Для сопоставимости определения потребности в тепле регионов России и зарубежных стран можно использовать сведения из базы климатологических данных "NASA Surface Meteorology and Solar Energy" по годовым гра-

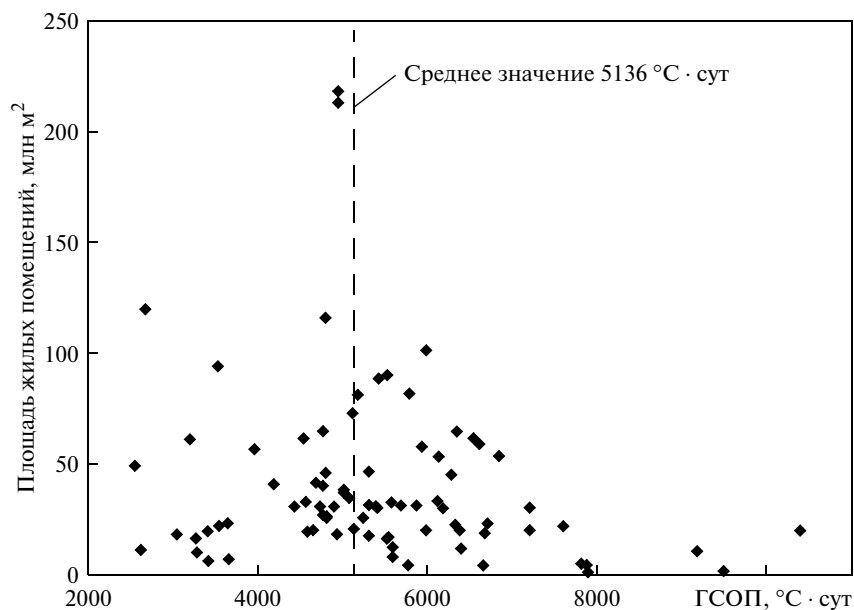


Рис. 1. Распределение жилищного фонда России по значению ГСОП (осреднение по субъектам РФ по состоянию на конец 2012 г.)

дусо-суткам отклонения от уровня $+10^{\circ}\text{C}$ в меньшую сторону – HDD10 (Arctic heating degree days below 10°C). Для России и столичных городов зарубежных стран показатель HDD10 составляет, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$: Москва – 2964, Санкт-Петербург – 2750, Нижний Новгород – 3122, Ростов-на-Дону – 1676, Екатеринбург – 3759, Новосибирск – 4115, Хабаровск – 4425, Хельсинки (Финляндия) – 2601, Осло (Норвегия) – 2324, Стокгольм (Швеция) – 1847, Копенгаген (Дания) – 1311. Аналогично и соотношение для России и указанных стран показателей HDD0 и HDD18 – градусо-су-

ток отклонений от 0°C и $+18^{\circ}\text{C}$ соответственно. Таким образом, на большей части территории России потребность в тепловой энергии на нужды отопления выше, чем в указанных странах Европы. Следовательно, с точки зрения экономии энергоресурсов мотивация к повышению тепловой защиты зданий в нашей стране должна быть выше.

Сейчас экспертами обсуждается новая редакция СНиП 23-02-2003 “Тепловая защита зданий”, гармонизированная с аналогичными европейскими нормативными документами [7]. Однако в новом документе базовые требования к определе-

Таблица 3. Требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций для новых зданий за рубежом, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$

Страна	Вид ограждения			
	стены	окна	перекрытия	
			подвальные	чердачные
Великобритания	2.86	0.45–0.5	4.0	4.0–6.3
Германия	4.2	0.8	Нет данных	4.2–5.0
Голландия	3.3–5.0	0.4–0.7	3.3–5.0	2.5–5.0
Дания	3.3–5.0	0.7–1.0	5.0–10.0	5.0–10.0
Канада	3.3–5.6	0.5	4.4–4.7	4.9–5.2
Норвегия	5.6	0.8	Нет данных	7.7
США	0.9–3.1	0.15–0.5	2.8–6.3	5.0–6.8
Финляндия	4.0	0.7	5.0	6.3
Швеция	5.0–10.0	0.7–1.0	5.0–10.0	5.0–10.0

нию значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций остались, по сути, прежними. Кроме того, теперь допускается их корректировка в сторону снижения при наличии соответствующего экономического обоснования. При этом для каждого типа ограждающей конструкции зафиксирована нижняя граница возможного снижения, задаваемая соответствующим коэффициентом. Для стен он равен 0.63, для окон – 0.95, для остальных конструкций – 0.8. Злоупотребление данными возможностями чревато возвратом к строительству энергозатратных зданий. Конечно, это удешевит строительство и сделает новое жилье более доступным для населения. Однако при ожидаемом росте цен на энергоносители неизбежно вырастут затраты на создание в таких зданиях комфортных условий для проживания (отопление зимой и кондиционирование летом).

Таким образом, задачи определения оптимальных значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий достаточно актуальны применительно к новому строительству (первая задача) и существующему жилищному фонду (вторая задача). Результаты решения первой задачи могут найти применение при разработке новых нормативных документов по тепловой защите зданий. Их важность обусловлена, с одной стороны, длительными сроками эксплуатации вновь возводимых зданий (50–60 лет и более) с учетом дорожающих энергоносителей, а с другой – большими ожидаемыми объемами нового жилищного строительства при весьма ограниченной платежеспособности населения. Решение второй задачи позволит получить объективные оценки потенциала энергосбережения в существующем жилищном фонде и сделать правильный выбор экономически обоснованных мероприятий по его реализации.

В качестве критерия для определения оптимального уровня тепловой защиты новых и существующих зданий использован максимум чистого дисконтированного дохода за расчетный период, полученного в результате повышения сопротивления теплопередаче ограждения i -го типа. Чистый дисконтированный доход отнесен к единице площади отапливаемых помещений, руб/м²:

$$D_i = \sum_{t=1}^{T_p} (-K_{it} + \Delta S_{it}^q) / \left\{ A_o \prod_{\tau=1}^t [(1 + p_{\tau}^r/100) I_{\tau}^C] \right\},$$

где T_p – расчетный период, лет; K_{it} – удельные капитальные затраты на повышение сопротивления теплопередаче ограждения i -го типа, произведенные в году t ($t \in T_p$), руб/год; ΔS_{it}^q – годовая экономия средств на приобретение тепловой энергии в результате повышения сопротивления теплопередаче ограждения i -го типа, руб/(м² · год); p_{τ}^r –

реальная ставка банковского процента по кредитам, %; I_{τ}^C – годовой индекс потребительских цен; A_o – общая площадь отапливаемых помещений, м².

Удельные капитальные затраты K_{it} определялись как

$$K_{it} = [(R_i - R_i^0) K_{it}^{is} + K_{it}^m] F_i$$

или

$$K_{it} = [(R_i - R_i^0) K_{i0}^{is} + K_{i0}^m] F_i \prod_{\tau=1}^t I_{\tau}^K,$$

где R_i и R_i^0 – соответственно расчетное и нормативное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции i -го вида, м² · К/Вт (для зданий, возведенных до 2000 г., величина R_i^0 соответствует требованиям [1], а для зданий более поздней постройки – требованиям [2]); K_{i0}^{is} и K_{it}^{is} – удельные капитальные затраты на теплоизоляционные материалы, используемые для повышения сопротивления теплопередаче ограждения i -го вида, отнесенные к единице площади ограждений i -го вида, соответственно исходные и в году t , руб/(м² · К/Вт); K_{i0}^m и K_{it}^m – удельные затраты на строительные-монтажные работы по утеплению ограждений i -го вида, отнесенные к единице его площади, соответственно, исходные и в году t , руб/м²; F_i – площадь наружных ограждающих конструкций i -го вида, м²; I_{τ}^K – годовой индекс-дефлятор промышленного производства.

Годовая экономия средств на покупную тепловую энергию

$$\Delta S_{it}^q = \Delta Q_{it} c_t^q = \Delta Q_{it} c_0^q \prod_{\tau=1}^t I_{\tau}^q,$$

где ΔQ_{it} – годовая экономия тепловой энергии при повышении сопротивления теплопередаче ограждения i -го типа, ГДж/год; c_0^q и c_t^q – тарифы на тепловую энергию, соответственно исходный и в t -м году, руб/ГДж; I_{τ}^q – годовой индекс тарифов на тепловую энергию.

Значение ΔQ_{it} определялось как

$$\Delta Q_{it} = 3.6 \times 10^{-6} (P_i^0 - P_i) F_i h_t,$$

где P_i^0 и P_i – нормативный максимальный и расчетный тепловые потоки через единицу i -й ограждающей конструкции, Вт/м²; h_t – число часов использования максимума тепловой нагрузки в году t , ч/год.

Максимальный тепловой поток через единицу i -й ограждающей поверхности здания (при рас-

Таблица 4. Среднегодовые за период индексы макроэкономических показателей

Макроэкономические показатели	2012–2015 гг.	2016–2020 гг.	2021–2025 гг.	2026–2030 гг.	После 2030 г.
Индексы потребительских цен	1.053	1.046	1.036	1.031	1.030
Индексы цен на тепловую энергию	1.094	1.960	1.067	1.045	1.043
Индексы-дефляторы промышленного производства	1.051	1.680	1.047	1.027	1.024

четной температуре наружного воздуха $t_{н.р}$ для проектирования системы отопления) равен

$$P_i = (1/R_i)(t_b - t_{н.р})(1 + \beta_i)n_i,$$

где t_b – нормируемая температура воздуха внутри помещения, °С; β_i – безразмерный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери через ограждения i -го типа, связанные с влиянием инфильтрации и эксфильтрации, солнечного излучения и др. [8]; n_i – безразмерный коэффициент, учитывающий положение ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху [1].

В исследованиях определялись оптимальные значения сопротивления теплопередаче основных ограждающих конструкций здания: стен, окон (включая балконные двери), подвальных перекрытий (над неотапливаемыми подпольями и подвалами) и чердачных перекрытий.

Реальная ставка банковского процента по кредитам p^r полагалась неизменной в течение всего расчетного периода и равной 6%. Индексы макроэкономических показателей принимались в соответствии с актуальным долгосрочным прогнозом Минэкономразвития России (табл. 4). В расчетах использовались следующие исходные значения средних тарифов на тепловую энергию по феде-

ральным округам (руб/ГДж): Центральный – 344, Северо-Западный – 281, Южный – 420, Северо-Кавказский – 349, Приволжский – 299, Уральский – 267, Сибирский – 225, Дальневосточный – 403. Исходные значения удельных капиталовложений K_{i0}^{is} принимались для всех регионов одинаковыми и равными для стен, подвальных и чердачных перекрытий 140 руб/(м² · К/Вт), для окон – 2000 руб/(м² · К/Вт). Затраты на строительные-монтажные работы K_{i0}^m моделировались функцией вида $K_{i0}^m = a_i(R_i - R_i^0)^{1/m_i}$. Коэффициенты a_i и m_i определялись путем обработки данных о рыночной стоимости строительные-монтажных работ по утеплению ограждений i -го вида при разных значениях R_i ($m_i > 1$). В результате коэффициенты составили: для стен $a = 2076$, $m = 7.73$; для окон $a = 4216$, $m = 18.95$; для чердаков $a = 595$, $m = 17.54$; для полов $a = 510$, $m = 18.38$.

В исследованиях учитывалось влияние на теплотери геометрических характеристик зданий разной этажности. При этом наиболее важные из них:

отношение площади наружных ограждающих конструкций здания (F_i) к общей площади его отапливаемых помещений (A_0), т.е. $k_i^F = F_i/A_0$;

структура площадей наружных ограждающих конструкций, поскольку они имеют различные значения сопротивления теплопередаче, т.е. $\omega_i = F_i/\sum_i F_i$.

Из рис. 2 и 3 следует, что влияние геометрических параметров (k_i^F и ω_i) на тепловые характеристики индивидуальных малоэтажных (1–3 этажа) и многоквартирных многоэтажных (4–25 этажей) зданий существенно различно. В малоэтажных зданиях на 1 м² площади отапливаемых помещений приходится от 3.3 м² (одноэтажные здания) до 1.7 м² (трехэтажные здания) суммарных наружных ограждающих конструкций (см. рис. 2). Для многоэтажных зданий это соотношение существенно меньше и изменяется от 1.3 м² (4 этажа) до 0.6 м² (25 этажей). Причем при числе этажей более 9 изменения коэффициента k^F становятся незначительными. В структуре площадей наружных ограждений при переходе от одноэтажных к трехэтажным зданиям доля стен возрастает примерно от 35 до 52%, а окон – от 5 до 8%, при этом

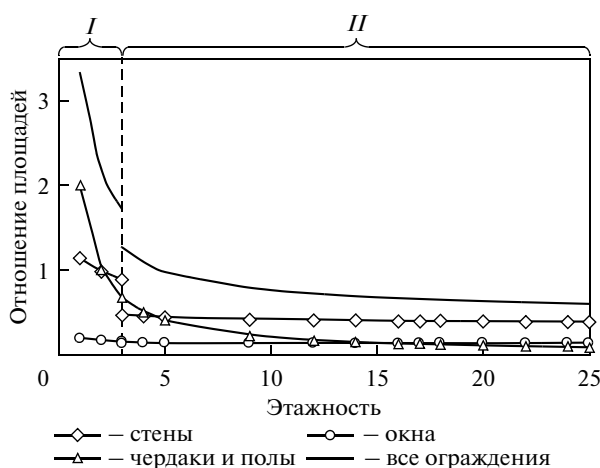


Рис. 2. Отношение площади наружных ограждающих конструкций к общей площади помещений для зданий разной этажности.

I – индивидуальные дома (1–3 этажа); II – многоквартирные дома (4–25 этажей)

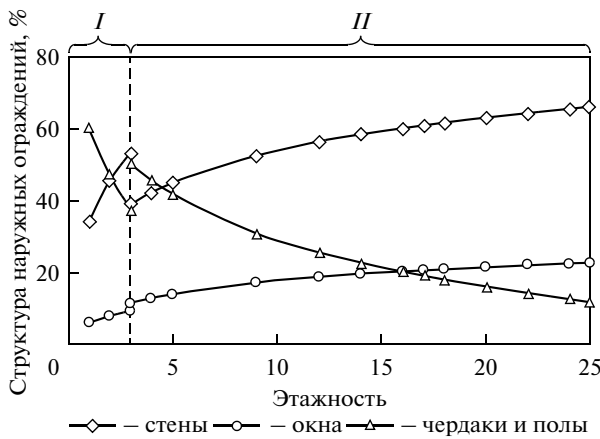


Рис. 3. Вклад ограждений разного вида в суммарную площадь наружных ограждений для зданий разной этажности.

Обозначения см. рис. 2

суммарный вклад подвальных и чердачных перекрытий уменьшается с 60 до 40%. Для многоэтажных зданий характер структурных изменений в наружном ограждении при росте этажности в общем остается тем же, но количественные значения иные. При увеличении числа этажей с 4 до 25 доля стен возрастает примерно от 40 до 65%, окон — от 10 до 22%, суммарный вклад подвальных и чердачных перекрытий уменьшается с 50 до 13% (см. рис. 3). Скачкообразные изменения геометрических характеристик k_i^F и ω_i при переходе от малоэтажных домов к высотным обусловлены различиями в соотношении площади основания и высоты зданий, связанными со строительными стандартами. Из представленных количественных оценок следует, что при равенстве показателей R_i малоэтажные здания заведомо менее энер-

гоэффективны, чем высотные. Поэтому при прогнозировании потребностей жилищного сектора в тепловой энергии необходимо учитывать структуру вводимых в эксплуатацию зданий.

Для принятых перспективных макроэкономических условий получены оптимальные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для существующего жилищного фонда страны при утеплении зданий при проведении капитального ремонта (табл. 5) и для новых зданий действующих в настоящее время нормативов (см. табл. 1). Лишь для условий Сибири (Новосибирск) оптимальные значения R для подвальных и чердачных перекрытий не превышают нормативные, что связано с низкими тарифами на тепловую энергию в сибирском регионе. В наибольшей степени ужесточение нормативов R касается окон и балконных дверей. В суровых климатических условиях России целесообразно требование их максимального утепления. Полученные оптимальные значения R для окон значительно превышают показатели лучших образцов, доступных в настоящее время на рынке (около 1.05–1.35). Это означает необходимость продолжения совершенствования светопрозрачных конструкций в целях улучшения их теплозащитных свойств. Для новых зданий оптимальные значения R приближаются к соответствующим показателям большинства северных стран, но по некоторым позициям существенно уступают довольно жестким нормативам Дании и Швеции — стран-лидеров в сфере тепловой защиты зданий (см. табл. 3).

Переход на новые нормативы сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (см. табл. 6) позволил бы примерно в 1.4 раза снизить удельные тепловые потери зданий различной этажности (рис. 4), в частности для девятиэтаж-

Таблица 5. Оптимальные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для существующих жилых зданий, $m^2 \cdot K/Wt$

Город	Вид ограждения			
	стены	окна и балконные двери	перекрытия	
			подвальные	чердачные
Москва	3.95	1.20–1.55	4.40	4.40
Санкт-Петербург	3.50	1.05–1.35	3.95	3.95
Ростов-на-Дону	3.60	1.10–1.40	4.00	4.05
Пятигорск	3.30	1.00–1.30	3.75	3.75
Нижний Новгород	3.85	0.54–1.50	4.30	4.30
Екатеринбург	4.10	1.25–1.60	4.59	4.60
Новосибирск	3.75	0.63–1.45	4.87	4.87
Хабаровск	5.05	1.50–1.90	5.50	5.50

Примечание. Меньшие значения соответствуют многоэтажным зданиям, большие — малоэтажным.

Таблица 6. Оптимальные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для новых зданий, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Город	Вид ограждения			
	стены	окна и балконные двери	перекрытия	
			подвальные	чердачные
Москва	4.60	1.25–1.55	4.50	4.50
Санкт-Петербург	4.15	1.10–1.40	4.06	4.06
Ростов-на-Дону	4.25	1.10–1.45	4.10	4.10
Пятигорск	3.95	1.05–1.35	3.85	3.85
Нижний Новгород	4.55	1.20–1.55	4.40	4.40
Екатеринбург	4.80	1.25–1.60	4.70	4.70
Новосибирск	4.45	1.20–1.50	4.87	4.87
Хабаровск	5.75	1.50–1.95	5.55	5.55

Примечание. Меньшие значения соответствуют многоэтажным зданиям, большие – малоэтажным.

ных зданий с 43 до 32 $\text{Вт}/\text{м}^2$, а для двухэтажных – с 70 до 52 $\text{Вт}/\text{м}^2$. Отметим, что предыдущее ужесточение нормативных значений показателя R обеспечило снижение удельных тепловых потерь в малоэтажных зданиях примерно в 1.9 раза, а в высотных – в 1.5 раза (линии 1 и 2, см. рис. 4).

При ужесточении нормативных значений показателя R преобладающими в структуре тепловых потерь зданий становятся потери тепла с инфильтрацией (рис. 5). При достижении оптимальных значений R доля этих потерь превышает 40% в малоэтажных зданиях и 60% – в высотных. Следовательно, дальнейшее повышение тепловой эффективности зданий должно быть связано прежде всего со снижением инфильтрационных потерь путем использования новых технологий

климат-контроля воздушной среды внутри помещений [9–13].

При утеплении зданий существенно увеличивается доля внутреннего бытового тепловыделения в тепловом балансе здания (рис. 6). Это ведет к значительному сокращению потребностей в подводе к зданию тепловой энергии извне. В новых многоэтажных зданиях с оптимальным значением R доля внутреннего бытового тепловыделения превышает 40%. Для зданий, строящихся в настоящее время по действующим нормативам, значение этого коэффициента составляет 30% и для зданий, построенных до 2000 г., – 19%. Так, для девятиэтажного здания с оптимальным R при теплотерях 32 $\text{Вт}/\text{м}^2$ (при $t_{\text{н.р}}$ для условий Москвы) и внутреннем тепловыделении 13 $\text{Вт}/\text{м}^2$ извне требуется подвести только 19 $\text{Вт}/\text{м}^2$. В малоэтажных зданиях вклад внутреннего бытового тепловыделения в тепловой баланс меньше. Тем не менее, в двухэтажных зданиях при оптимальном R он достигает 25% против 8% для аналогичных зданий, построенных до 2000 г., и 18% для зданий, сооружаемых по действующим нормативам.

В результате выполненного анализа чувствительности для нахождения оптимального решения для показателя R к изменению внешних факторов стала очевидной значимость соотношения прогнозных темпов изменения тарифов на тепловую энергию и стоимости теплоизоляционных материалов γ_t , т.е.

$$\gamma_t = \prod_{\tau=1}^t I_{\tau}^q / \prod_{\tau=1}^t I_{\tau}^K.$$

В прогнозный период для принятых значений макроэкономических показателей (см. табл. 4) параметр γ_t неуклонно возрастает (рис. 7). Это означает, что условия для энергосбережения ста-

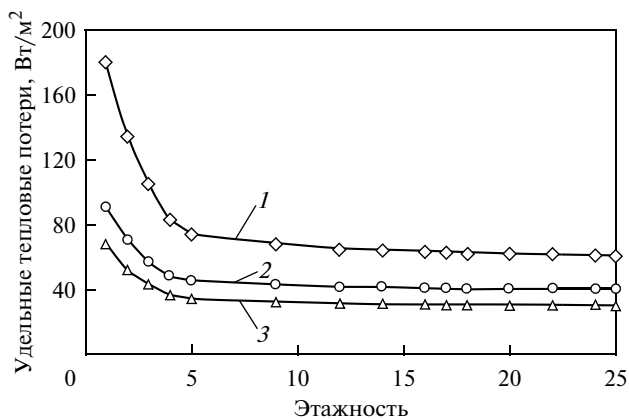


Рис. 4. Удельные тепловые потери зданий различной этажности при $t_{\text{н.р}}$ (для условий Москвы).

1 – здания, построенные до 2000 г.; 2 – здания, сооружаемые по действующим нормативам R ; 3 – новые здания при оптимальных значениях R

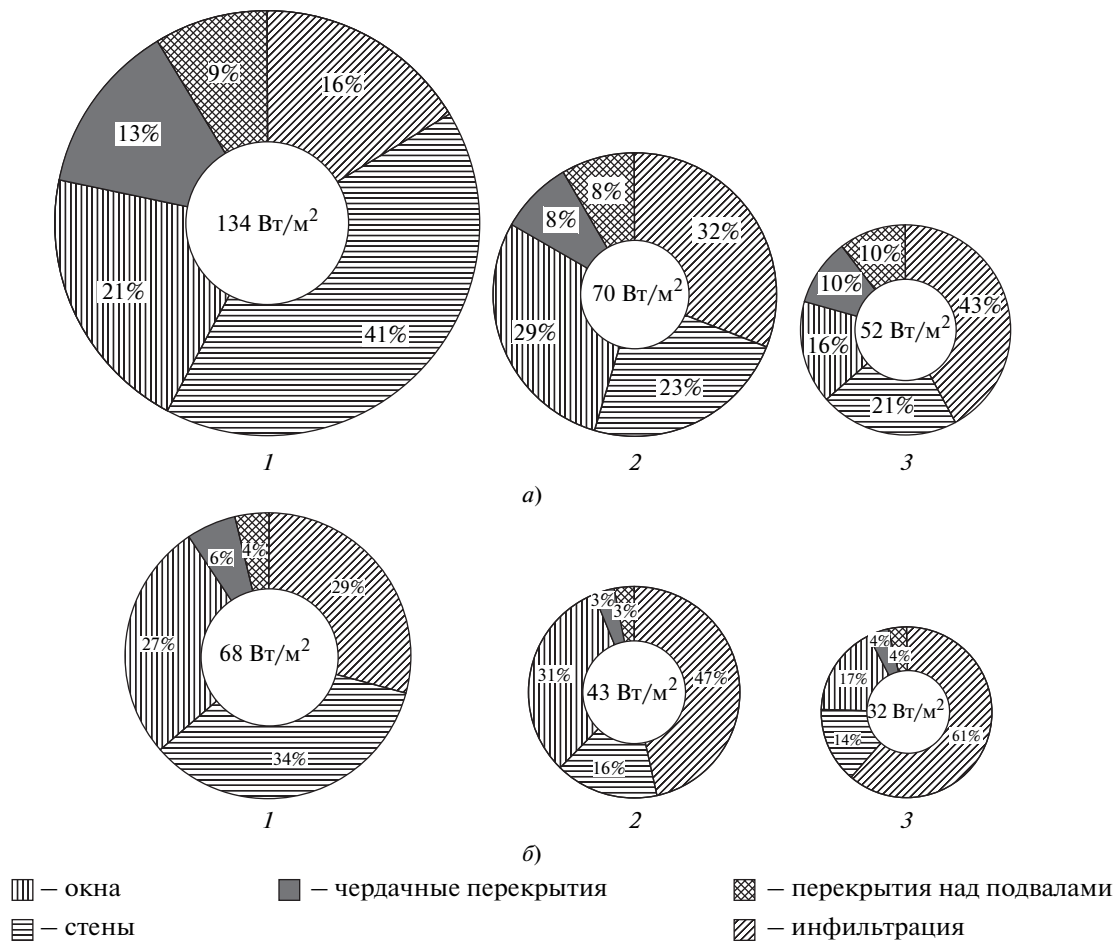


Рис. 5. Структура тепловых потерь индивидуальных (двухэтажных) (а) и многоквартирных (девятиэтажных) (б) зданий (при $t_{н,р}$ для условий Москвы).
 Обозначения см. рис. 4

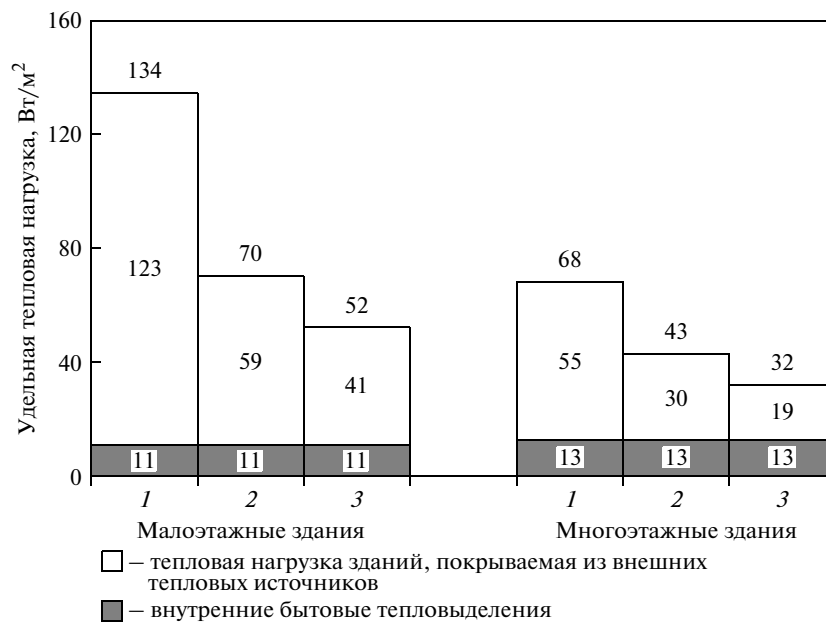


Рис. 6. Удельная тепловая нагрузка зданий, покрываемая из внешних источников (при $t_{н,р}$ для условий Москвы).
 Обозначения см. рис. 4

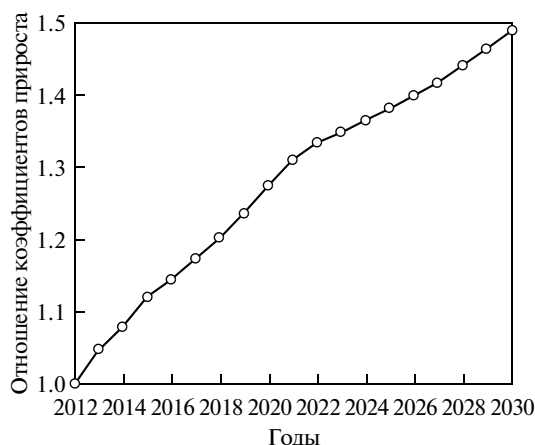


Рис. 7. Значение параметра γ_t в прогнозный период

новятся все более благоприятными. Увеличение параметра γ_t относительно принятых прогнозных значений γ_t^0 , т.е. $\gamma_t = k^\gamma \gamma_t^0$, ведет к росту оптимального значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (рис. 8). При увеличении коэффициента смещения k^γ до 2 оптимальное значение R для стен (для условий Москвы) возрастает с 4.6 до 6.5.

Другой важный параметр, определяющий оптимальное значение R , — реальная банковская ставка по кредитам p_t^r , что обусловлено большой капиталоемкостью энергосберегающих мероприятий (рис. 9). Снижение ставки ведет к повышению оптимального R . Так, при уменьшении p_t^r с нынешних 6 до 4% оптимальное значение R для стен в климатических условиях Москвы возрастает с 4.5 до 5.2% и достигает нормативных требований Дании, где значение p_t^r существенно ниже, чем в России.

Полученные оптимальные значения показателя R позволили оценить потенциалы энергосбережения для существующего жилищного фонда и вновь возводимых жилых зданий при доведении сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций до оптимальных значений (табл. 7 и 8). Повышение тепловой эффективности существующих многоквартирных зданий при суммарном объеме реконструкции 1876 млн m^2 может обеспечить ежегодную экономию централизованно поставляемой тепловой энергии около 439 млн ГДж. Это составляет почти 29% ее потребления на нужды отопления, или 21.3% суммарного потребления тепла жилищным сектором в настоящее время. На эти цели необходимо около 1429 млрд руб. капитальных вложений (с учетом дисконтирования и роста цен). Срок их окупаемости в большинстве субъектов РФ составляет 15–18 лет. Он меньше на Дальнем Востоке (12–13 лет) и больше в Сибири

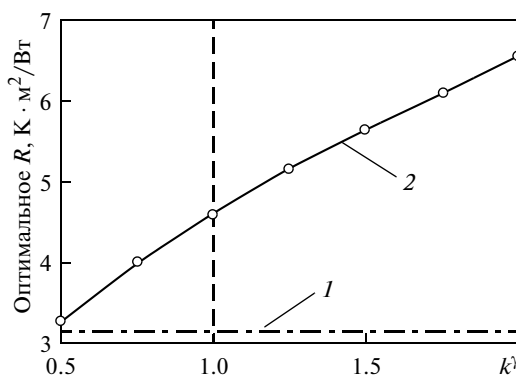


Рис. 8. Влияние коэффициента смещения k^γ на оптимальные значения сопротивления теплопередаче стен.

1 — действующие нормативы [2]; 2 — оптимальные значения R

(21–24 года), в первом случае из-за высоких, а во втором, наоборот, из-за низких тарифов на тепловую энергию. Сопоставимые эффекты наблюдаются при повышении тепловой эффективности малоэтажных зданий, хотя объемы реконструкции в этом случае в 2.5 раза меньше — 751 млн m^2 (см. табл. 7).

Ужесточение нормативных требований к показателю R для новых зданий экономически более эффективно. Это позволит к 2030 г. ежегодно экономить около 108 млн ГДж тепловой энергии при планируемом возведении 1356 млн m^2 нового высотного жилья (см. табл. 8). Требуемые для этого инвестиции в объеме 201 млрд руб. окупятся по регионам РФ за 8–14 лет. К 2030 г. в ходе строительства 511 млн m^2 малоэтажных зданий будет сэкономлено тепловой энергии 75 млн ГДж в год, срок окупаемости инвестиций составит 8–11 лет.



Рис. 9. Влияние реальной банковской ставки по кредитам на оптимальные значения R для стен (условия Москвы).

Обозначения см. рис. 8

Таблица 7. Потенциал энергосбережения в существующем жилищном фонде при доведении R до оптимальных значений

Федеральный округ	Реконструируемый жилищный фонд, млн м ²	Капитальные затраты, млрд руб.	Ежегодная экономия тепловой энергии, млн ГДж/год	Суммарная экономия средств за период, млрд руб.	Суммарный эффект, млрд руб.	Срок окупаемости, лет
<i>Многоэтажные (многоквартирные) дома</i>						
Россия	1876	1429	439	2184	755	12–24
Центральный	556	500	151	813	313	15–16
Северо-Западный	219	183	58	255	72	18–20
Южный	137	120	29	193	73	15–17
Северокавказский	76	63	17	94	31	16–18
Приволжский	385	206	65	305	99	16–18
Уральский	173	153	50	208	55	18–20
Сибирский	242	117	41	143	26	21–24
Дальневосточный	87	88	27	173	85	12–13
<i>Индивидуальные (малоэтажные) дома</i>						
Россия	751	1443	465	2345	902	11–22
Центральный	188	405	132	708	303	14–15
Северо-Западный	60	121	42	183	62	16–18
Южный	89	187	50	326	139	14–15
Северокавказский	64	127	38	206	79	15–16
Приволжский	174	293	94	439	146	16–18
Уральский	46	98	35	148	50	16–18
Сибирский	100	139	50	176	37	20–22
Дальневосточный	30	73	25	160	87	11–13

Необходимые удельные капиталовложения в доведение показателя R до оптимальных значений при отнесении их к 1 ГДж сэкономленной тепловой энергии в год составляют для существующего жилищного фонда примерно 3.2 тыс. руб./ГДж/год), а для нового строительства они в 1.75 раза меньше – около 1.8 тыс. руб./ГДж/год).

Выводы

1. Прогнозируемый опережающий рост цен на энергоносители по отношению к другим макроэкономическим показателям создает благоприятные условия для энергосбережения в жилищном секторе.

2. Целесообразно существенное ужесточение требований к нормативным значениям сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для жилых зданий, в первую очередь окон и балконных дверей. Необходима разработка новых

теплоизоляционных материалов и конструкций, прежде всего светопрозрачных.

3. При ужесточении требований к показателям сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций преобладающими в структуре тепловых потерь зданий становятся потери тепла с инфильтрацией, превышающие 40% в малоэтажных зданиях и 60% – в высотных. Дальнейшее повышение тепловой эффективности зданий должно быть прежде всего связано со снижением инфильтрационных потерь и разработкой соответствующих технологий.

4. Повышение тепловой эффективности существующих многоэтажных зданий может обеспечить ежегодную экономию около 21.3% суммарного потребления тепла жилищным фондом. Срок окупаемости необходимых для этого инвестиций в большинстве субъектов РФ составляет 15–18 лет. Более значительный экономический

Таблица 8. Потенциал энергосбережения для нового строительства при оптимальных значениях показателя *R*

Федеральный округ	Ввод жилых зданий, млн м ²	Капитальные затраты, млрд руб.	Ежегодная экономия тепловой энергии, млн ГДж/год	Суммарная экономия средств за период, млрд руб.	Суммарный эффект, млрд руб.	Срок окупаемости, лет
<i>Многоэтажные (многоквартирные) дома</i>						
Россия	1356	201	108	465	264	8–14
Центральный	275	47	23	106	59	10–12
Северо-Западный	103	13	8	29	16	10–12
Южный	263	42	21	111	68	8–11
Северокавказский	122	17	10	42	25	9–11
Приволжский	214	32	18	70	38	10–12
Уральский	131	19	12	40	22	10–12
Сибирский	194	19	13	38	19	11–14
Дальневосточный	56	12	6	29	17	9–11
<i>Индивидуальные (малоэтажные) дома</i>						
Россия	511	133	75	330	197	8–11
Центральный	102	31	16	73	43	9–11
Северо-Западный	27	5	4	13	8	9–11
Южный	117	36	17	94	58	8–10
Северокавказский	58	14	8	37	22	9–11
Приволжский	116	29	17	69	40	9–11
Уральский	35	8	6	19	11	9–11
Сибирский	47	5	5	14	9	8–10
Дальневосточный	511	133	75	330	197	8–11

эффект дает повышение теплозащитных свойств строящихся зданий. Срок окупаемости инвестиций в этом случае составляет по регионам России 8–14 лет.

Список литературы

1. **СНиП II-3-79***. Строительная теплотехника. М.: Стройиздат, 1982.
2. **СНиП 23-02-2003**. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой РФ: ФГУП ЦПП, 2004.
3. **ГОСТ 30494-96**. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Госстрой России: ГУП ЦПП, 1999. (В настоящее время утратил силу, взамен с 01.01.2013 введен ГОСТ 30494-2011.)
4. **СНиП 23-01-99***. Строительная климатология. М.: Госстрой России: ГУП ЦПП, 2003.
5. **World Energy Outlook-2012**. OECD/IEA, 2012.
6. **Energy Technology Perspective: Pathways to a Clean Energy System**. OECD/IEA, 2012.
7. **СП 50.13330.2012**. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ФЦС, 2012.
8. **Малявина Е.Г.** Теплопотери здания: справ. пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007.
9. **Mysen M., Schield P.G.** Requirements for well functioning demand controlled ventilation // *RENVA*. 2011. № 5 (48). P. 14–18.
10. **Andrei Litiu**. Ventilation system types in some EU countries // *RENVA*. 2012. № 1 (49). P. 18–23.
11. **Малахов М.А., Савенков А.Е.** Усовершенствование вентиляции жилых зданий // *АВОК*. 2009. № 4. С. 16–20.
12. **Бобровицкий И.И., Шилкин Н.В.** Гибридная вентиляция в многоэтажных жилых зданиях // *АВОК*. 2010. № 3. С. 16–28.
13. **Серов С.Ф., Милованов А.Ю.** Поквартирная система вентиляции с утилизаторами теплоты. Пилотный проект жилого дома // *АВОК*. 2013. № 13. С. 18–32.