

И.А. Башмаков и А.Д. Мышак

Оптимизация энергоэффективности зданий на основе оценки стоимости жизненного цикла зданий¹

1. Опыт экономического обоснования повышения энергоэффективности зданий в России

В мировой и российской практике широко используется несколько методов и индикаторов экономической и финансовой оценки проектов повышения энергоэффективности в зданиях: простой срок окупаемости или редко используемая обратная ему величина среднего годового дохода на единицу капитальных вложений; показатель чистой дисконтированной стоимости и производные от него характеристики: индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости при дисконтировании эффектов и затрат и др.; стоимость экономии энергии; стоимость цикла жизни здания. Каждый из этих индикаторов имеет свои преимущества и ограничения по применению. Два первых индикатора широко известны и часто применяются, в т.ч. и в России, при обосновании мер по повышению энергоэффективности², в т.ч. и в зданиях.

Экономический анализ мер по утеплению фасадов зданий дан в статьях Г.П. Васильева, А.С. Горшкова, а по замене окон – в статье Р. Абдурафикова и А.В. Спиридонова³. Г.П. Васильев приходит к заключению об экономической целесообразности повышения теплозащиты жилых зданий до 3,5-4,5 м²*°С/Вт. В статье А.С. Горшкова расчеты проводятся в текущих ценах для мер по утеплению фасадов существующих зданий и получен вывод, что срок окупаемости мер по установке утеплителя толщиной 120 мм из минеральной ваты составляет 13,5 лет при использовании собственных средств на финансирование проекта (например, средств регионального фонда капитального ремонта) и 15,4 лет при использовании заемных средств под 14,5% годовых⁴. А.В. Спиридонов показал, что в городах с развитым рынком установки новых оконных конструкций и с тарифами на тепло в районе 1500 руб./Гкал использование энергоэффективных окон окупается за 7-11 лет⁵. При росте тарифа на тепло на 9% в год, ставке дисконтирования 7% в год и сроке службы окна 30 лет чистый дисконтированный доход получается положительным для всех городов, по которым был проведен анализ, а значит, замена окон в них экономически целесообразна. В исследовании С.П. Филиппова и др. показано, что даже при нынешних тарифах на тепло срок окупаемости мер по утеплению новых жилых зданий составляет 8-14 лет для МКД и 8-11 лет для малоэтажного здания, а по утеплению существующих МКД – 12-24 лет (в зависимости от тарифов на тепло)⁶. Таким образом, по

¹ Работа написана по результатам выполнения проекта: Анализ сектора недвижимости России. Выявление необходимости в изменении системы регулирования сферы энергоэффективности. Инициатором проекта выступила ассоциация Росизол. Проект реализован при поддержке ассоциаций Росизол, НАППАН и АППП.

² См., например, И.А. Башмаков. Финансовый и экономический анализ проектов по повышению эффективности использования энергии. М. ЦЭНЭФ. 1993.

³ Г.П. Васильев. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость? «Энергосбережение». №6. 2011; А.С. Горшков. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий. «Энергосбережение». № 4. 2014; Р. Абдурафиков и А.В. Спиридонов. Как оценивать энергоэффективные окна? «Энергосбережение». № 7. 2013.

⁴ По оценке ЦЭНЭФ-XXI, при использовании вмененной цены на тепловую энергию – 2200-2600 руб./Гкал – эти сроки снизились бы в Санкт-Петербурге до 7-8 лет.

⁵ По оценке ЦЭНЭФ-XXI, при использовании вмененной цены на тепловую энергию эти сроки снизились бы в Москве до 5-7 лет.

⁶ С.П. Филиппов, М.Д. Дильман и М.С. Ионов. Оптимальные уровни тепловой защиты жилых зданий для климатических условий России. «Теплоэнергетика». № 11. 2013.

результатам этих исследований ведущих российских специалистов получается, что сроки окупаемости мер по утеплению зданий ниже или равны срокам окупаемости строительства новых электростанций (15 лет) или проектов по наращиванию добычи природного газа, нефти и угля. А значит, вложение средств в утепление зданий – это более экономически привлекательная альтернатива наращиванию добычи топлива или производства электроэнергии.

Другие результаты получает В.Г. Гагарин, который использует метод приведения всех расходов к концу расчетного периода и не известные экономической науке индикаторы, такие как «энергоэффективность энергосберегающего мероприятия», которая определена как отношение периода, за который считается энергоэффективность, к периоду простой окупаемости⁷. Он использует ставку дисконтирования 13%, но не учитывает ни инфляцию, ни рост тарифов на тепло. Кроме того, в расчете используется очень низкая стоимость тепловой энергии.

2. Концепция стоимости цикла жизни здания

Стоимость жизненного цикла здания – это полная дисконтированная стоимость владения, эксплуатации, ремонта и утилизации здания или комплекса зданий в течение периода времени. Концепция затрат цикла жизни известна давно. Однако применительно к зданиям она стала активно использоваться сравнительно недавно – после принятия ЕС Директивы 2010/31/ЕС по энергетическим характеристикам зданий, которая требует, чтобы члены ЕС устанавливали требования по энергетической эффективности не ниже экономически оптимальных уровней. Для определения таких уровней государства обязаны использовать рамочную методологию, которая полностью опирается на концепцию затрат цикла жизни здания⁸. Помимо оценки первоначальных затрат на строительство здания, учитываются все будущие затраты, связанные с его эксплуатацией, ремонтом и последующим сносом. Сумма всех затрат, связанных со строительством и эксплуатацией зданий, составляет «стоимость жизненного цикла здания». Оптимизация проводится по критерию минимизации суммарных затрат жизненного цикла здания для застройщика, собственника и общества, включая требования сокращения вреда окружающей среде и снижения выбросов парниковых газов. Анализ стоимости жизненного цикла здания может проводиться для зданий любого типа – существующих и новых, жилых и общественных, индивидуальных и многоквартирных.

При сравнении нескольких проектов повышения энергоэффективности зданий учитываются только приростные, то есть дополнительные затраты по сравнению с базовым зданием. Для существующего жилого здания базовый вариант – это отсутствие капитального ремонта. В случае нового строительства – это утепление здания согласно требованиям действующих СНИПов и СП.

Ключевыми элементами методологии анализа затрат цикла жизни здания являются:

- выбор эталонного здания, для которого проводятся расчеты по оценке базового уровня, а также целевых уровней удельных расходов энергии и параметров теплозащиты;
- определение пакетов дополнительных мер для обеспечения целевых уровней энергоэффективности и параметров теплозащиты и оценка их стоимости;

⁷ В.Г. Гагарин. Энергоэффективные здания и нормативные требования к теплозащите. 28 января 2014, г. Москва; В.Г. Гагарин. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. АВОК. №№ 1 и 2. 2009.

⁸ A. Enseling and T. Loga. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Case study Germany. BPIE and Institut Wohnen und Umwelt GmbH Institute for Housing and Environment. 2013; B. Atanasiu, I. Kouloumpi. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lessons learned from three case studies. BPIE The Buildings Performance Institute Europe. March 2013.

- определение метода перевода полученной экономии подведенной или выработанной в здании энергии в первичную энергию;
- выбор коэффициента дисконтирования;
- определение перспективной динамики тарифов на энергоносители, а также на используемые в пакетах мер материалы, продукты, системы и оборудование, динамики затрат на обслуживание и эксплуатацию здания;
- проведение как финансового, так и экономического анализа проектов (с учетом эффекта от снижения выбросов парниковых газов);
- проведение анализа чувствительности оптимума уровня энергоэффективности к изменению важнейших задаваемых в расчетах параметров.

Обобщение опыта анализа затрат цикла жизни в Австрии, Германии и Польше позволило сформулировать рекомендации по применению методологии оптимизации затрат цикла жизни зданий (табл. 1).

Таблица 1. Рекомендации по применению методологии оптимизации затрат цикла жизни здания

Определение горизонта анализа	<ul style="list-style-type: none"> • обычно в таких расчетах используется горизонт в 30 лет
Выбор эталонного здания	<ul style="list-style-type: none"> • здание должно быть типовым и представительным для существующего фонда зданий и новостроек; • иметь простые геометрические параметры; • быть воспроизводимым в массовом строительстве
Определение пакетов дополнительных мер по доведению энергоэффективности и параметров теплозащиты до целевых уровней	<ul style="list-style-type: none"> • количество пакетов должно быть не менее 10 в дополнение к базовому варианту для более надежного определения оптимального уровня; • пакеты должны быть сформированы для решения задачи выполнения требований существующих или планируемых стандартов по энергоэффективности; • амбициозные пакеты мер также должны быть рассмотрены, чтобы обеспечить оценку финансовых и экологических последствий выполнения требований к зданиям с очень низким потреблением энергии и к «пассивным» зданиям; • сравнение пакетов мер с нормативными требованиями к зданиям
Методология оценки экономии первичной энергии	<ul style="list-style-type: none"> • все расчеты и удельные показатели даются в единицах первичной энергии; • учитываются расходы энергии на цели отопления, охлаждения, вентиляции, горячего водоснабжения, обеспечения работы инженерного оборудования здания и освещения нежилых частей здания; • согласование методов оценки экономии первичной энергии с европейскими стандартами; • периодический пересмотр коэффициентов пересчета в первичную энергию
Определение стоимости материалов, работ и оборудования	<ul style="list-style-type: none"> • необходимо учитывать эффекты взаимодополняемости и взаимозаменяемости отдельных мер в пакете; • необходимо учитывать эффект от экономии на масштабе (закупки материалов, работ и оборудования); • необходимо формировать базы данных, которые должны быть открыты для пополнения и периодического контроля заинтересованными сторонами
Определение коэффициентов дисконтирования и перспектив роста тарифов и цен на энергоносители	<ul style="list-style-type: none"> • коэффициенты дисконтирования должны отражать фактические затраты капитала для долгосрочных ипотечных кредитов или ожидаемую минимальную отдачу от инвестиций в случае самофинансирования проекта; • в случае расчетов для зданий учетная ставка должна быть ниже, чем ставка по долгосрочным ипотечным кредитам, чтобы отразить рентабельность инвестиций в энергосбережение в момент строительства или реконструкции здания; • динамика цен на энергоносители по отношению к коэффициенту дисконтирования оказывает заметное влияние на расчет затрат и может смещать точку оптимума
Определение стоимости оптималь-	<ul style="list-style-type: none"> • оценка стоимости цикла жизни зданий с низким потреблением энергии является полезным инструментом оценки экономических, энергетических и

ности зданий с низким энергопотреблением и учет долгосрочных целей по снижению выбросов парниковых газов	экологических вызовов по сокращению разрыва между экономически оптимальным уровнем требований по энергоэффективности и требований к зданиям с очень низким потреблением энергии и к «пассивным» зданиям; <ul style="list-style-type: none"> • это позволит разработать и реализовать меры политики по сокращению такого разрыва
--	---

Источник: В. Atanasiu, I. Kouloumpi. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lessons learned from three case studies. BPIE The Buildings Performance Institute Europe. March 2013. Дополнено ЦЭНЭФ-XXI.

В разных странах выбираются разные эталонные здания в зависимости от структуры жилищного фонда. Так, в Австрии для проведения анализа был выбран 6-этажный МКД площадью 2300 м².⁹ В Германии расчеты проведены для двух эталонных зданий: индивидуального дома площадью 139 м² и 4-этажного МКД площадью 591 м².¹⁰ Для Польши расчеты были проведены только для индивидуального дома площадью 171 м².¹¹

В пакеты мер обычно включаются: повышение теплозащиты отдельных элементов ограждающих конструкций, включая окна; установка механической вентиляции с рекуперацией тепла; замена локального источника тепла; установка возобновляемых источников энергии. В зависимости от задаваемых целевых удельных расходов первичной энергии формируются разные пакеты мер, позволяющие достичь этих значений.

В ЕС целевые нормативы по энергоэффективности зданий в последнее время формулируются в единицах первичной энергии. Поэтому возникает задача перевода единиц экономии подведенной к зданию энергии и выработанной в нем энергии в первичную. Такого пересчета требует и проект СП «Энергетическая оценка зданий. Методы выражения энергетических характеристик зданий и сертификация энергопотребления зданий» (EN 15217:2007), разработанный НП «АВОК» и ООО «НПО ТЕРМЭК».

Для отражения полного комплекса косвенных эффектов И.А. Башмаков еще в 1992 г. предложил представление потенциала экономии энергии в форме таблицы, соответствующей таблице энергетического баланса, а способ оценки косвенных эффектов – подобный тому, который используется для межотраслевого баланса¹². Расчет основывается на следующем представлении зависимости между потреблением конечной и первичной энергии: $PE = AE * PE + FE$, или $PE = (E - AE)^{-1} * FE$, где PE – вектор потребления (производства) первичной энергии по видам энергоносителей¹³, AE – квадратная матрица коэффициентов расхода первичного ресурса i на производство и доставку до потребителя энергоносителя j , FE – вектор конечного потребления энергии (включая чистый экспорт энергоносителей). Каждый коэффициент a_{ij} показывает, сколько угля, нефтепродуктов, газа, электроэнергии и тепла необходимо для обеспечения потребителей, скажем, единицей угля. Любые изменения в технологиях в энергетическом секторе приводят к изменению матрицы AE .

⁹ К. Leutgöb and J. Rammerstorfer. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Case study Austria. BPIE and e7 Energie Markt Analyse GmbH. 2013.

¹⁰ А. Enseling and T. Loga. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Case study Germany. BPIE and Institut Wohnen und Umwelt GmbH Institute for Housing and Environment. 2013.

¹¹ В. Atanasiu, I. Kouloumpi. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lessons learned from three case studies. BPIE The Buildings Performance Institute Europe. March 2013.

¹² I. Bashmakov and V. Chupyatov. Energy Conservation. The main factor for reducing greenhouse gas emissions in the former Soviet Union. PNNL. December. 1991. USA. 27 p.; I. Bashmakov. Costs and benefits of CO₂ emission reduction in Russia. In Costs, Impacts, and Benefits of CO₂ Mitigation. Y. Kaya, N. Nakichenovich, W. Nordhouse, F. Toth Editors. IASA. June 1993.

¹³ Скорректированный на изменение запасов и на чистый экспорт энергии.

В практических расчетах в странах ЕС границы оценки косвенных эффектов довольно ограничены. Поэтому используются меньшие значения коэффициентов пересчета конечной энергии в первичную. Чтобы результаты расчетов по России были сопоставимы, границы анализа также необходимо сузить. Используемые в данной работе для России коэффициенты пересчета показаны в таблице 2. В отличие от Австрии, значение для централизованного тепла получается больше единицы.

Таблица 2 Коэффициенты пересчета экономии конечной энергии в экономию первичной энергии в анализе затрат цикла жизни отдельных стран ЕС

Энергоносители	Австрия	Германия	Польша	Россия: рекомендуемые значения	Россия: при расчете на основе ЕТЭБ
Уголь	1,1		1,1	1,04	1,04
Нефтепродукты	1,1		1,1	1,21	1,21
Природный газ	1,17	1,1	1,1	1,1	1,1
Прочие твердые топлива	1,08	0,2	0,2	1,0	1,0
Электроэнергия	2,62	2,6	3,0	3,0	4,76
Тепло	0,92 (от ТЭЦ) 0,3 (от высоко- эффективных ТЭЦ)			1,38	2,41
НВЭИ, вырабаты- ваемые в здании			0	0	

Источники: ЦЭНЭФ-XXI и В. Atanasiu, I. Kouloumpi. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lessons learned from three case studies. BPIE The Buildings Performance Institute Europe. March 2013.

При анализе стоимости цикла жизни здания сравнения проводятся с базовым зданием. Поэтому для сравнения пакетов мер важно оценить только те затраты, которые отличаются от затрат для базового здания. В их число входят затраты на меры по повышению теплозащиты отдельных элементов ограждающих конструкций, включая окна; установке механической вентиляции с рекуперацией тепла; замене локальных источников тепла. Часть из них в некоторой степени требуется действующими нормами и поэтому реализуется уже в эталонном здании. Значит, должны быть оценены только дополнительные (приростные) затраты на реализацию этих мер. Так, по данным А.С. Горшкова, капитальные затраты на утепление стены утеплителем толщиной 120 мм составляют 1950 руб./м². Стоимость самого утеплителя равна 550 руб./м², а остальное составляют материалы и работы по монтажу и последующему штукатурному покрытию¹⁴. При новом строительстве повысить параметры теплозащиты можно, увеличив толщину утеплителя. Все прочие расходы существенно не возрастут.¹⁵ Таким образом, даже если стоимость утеплителя удвоится, то приростные затраты будут равны 550 руб./м², а суммарная стоимость работ по утеплению возрастет только на 28%. При утеплении фасада капитально ремонтируемого здания все затраты в размере 1950 руб./м² являются приростными. Аналогичный подход используют в своих расчетах Р. Абдурафиков и А. Спиридонов¹⁶. По их данным получается, что повышение приведенного сопротивления теплопередаче окна с 0,55 до 0,95 м²×°К/Вт стоит в Москве 1325 руб./м² окна при стоимости окна с приведенным сопротивлением теплопередаче 0,95 м²×°К/Вт 6385 руб./м².

¹⁴ А.С. Горшков. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий. «Энергосбережение». № 4. 2014.

¹⁵ В статье Г.П. Васильева расходы на монтаж приняты постоянными. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость? «Энергосбережение». №6. 2011

¹⁶ Р. Абдурафиков и А.В. Спиридонов. Как оценивать энергоэффективные окна? «Энергосбережение». № 7. 2013.

Важным фактором является размер партии закупаемых материалов, работ и оборудования. Закупки крупных оптовых партий в рамках масштабных программ нового строительства или капитального ремонта зданий позволяют снизить цену единицы материалов, оборудования или работ на 5-20%.

При оценке приростной стоимости проекта необходимо рассматривать здание как единую систему и учитывать наличие взаимодополняющих и взаимозамещающих мероприятий. Например, повышение параметров теплозащиты здания позволяет существенно снизить мощность системы отопления, а значит, и расходы на ее установку и на подключение здания к системе теплоснабжения. В экономических расчетах по эффективности утепления зданий, как правило, этот эффект игнорируется, а его необходимо учитывать. Другой пример: установка АИТП приводит к дополнительному расходу электроэнергии на насосы. Такие эффекты также следует учитывать в расчетах стоимости жизненного цикла здания.

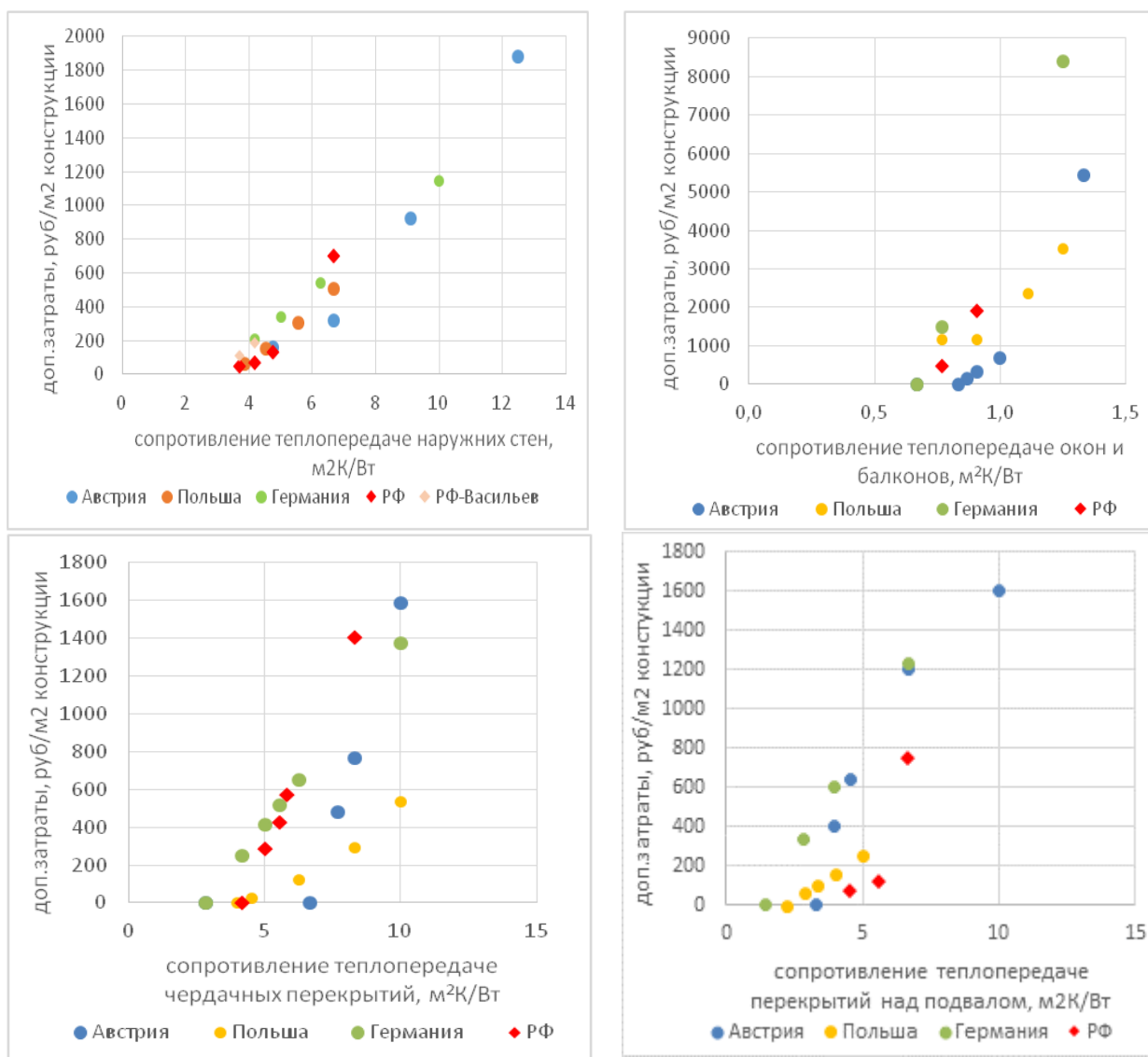
Стоимость пакетов мер, как правило, оценивается на основе данных об удельных затратах на единицу материалов, работ или оборудования, на 1 м^2 ограждающих конструкций, на 1 м^2 общей площади здания, на $1 \text{ м}^{20}\text{C/Вт}$ повышения сопротивления теплопередаче, на 1 см толщины утеплителя площадью 1 м^2 и с помощью других метрик. Удельные расходы на повышение энергоэффективности в расчете на 1 м^2 общей площади здания зависят от этажности здания и его компактности. Анализ обобщенных данных по приростной стоимости мероприятий по повышению теплозащиты, собранных от российских поставщиков и по данным различных сайтов и публикаций, которые затем используются в расчетах по оценке стоимости цикла жизни, показывают, что они мало отличаются от данных по странам ЕС (рис. 1). Это является дополнительным аргументом в пользу надежности оценок стоимости материалов, работ и оборудования и повышает доверие к полученным результатам.

Затраты на установку системы вентиляции с рекуперацией равны в Австрии 55 евро/ м^2 площади зданий, в Германии – 100 евро/ м^2 , в Польше – 21 евро/ м^2 , а в России, по данным поставщиков, системы вентиляции с рекуперацией тепла обходятся 800-2500 руб./ м^2 , или 18-55 евро/ м^2 при использовании курса на начало 2014 г. Это сопоставимо с данными по Австрии и Польше.

При сравнении затрат на единицу площади зданий следует учитывать, что для эталонных зданий существенно различие в соотношении площади ограждения и объема зданий: в Германии – 0,42/м, в Австрии – 0,34/м, в Польше – 0,8/м, а в России – 0,25/м. Остаточная стоимость здания на конец расчетного периода не меняется для всех вариантов, кроме пассивного здания, поскольку за 30 лет практически все меры по повышению теплозащиты оболочки здания полностью амортизируются. Однако срок службы системы вентиляции подразумевает ее замену в течение срока анализа, поэтому на момент окончания срока система еще имеет остаточную ценность, определяемую линейным способом. Методы оценки остаточной стоимости здания подробно описаны¹⁷.

¹⁷ Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements. (2012/C 115/01).

Рисунок 1. Зависимость природных затрат от повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для разных стран, включая Россию



Источники: Для России – оценки ЦЭНЭФ-XXI по данным производителей, а также Г.В Васильев. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость. «Энергосбережение». №6. 2011.. По зарубежным странам – В. Atanasiu, I. Kouloumpi. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lessons learned from three case studies. BPIE The Buildings Performance Institute Europe. March 2013.

Коэффициент дисконтирования значительно влияет на показатели экономической эффективности проектов. Его высокое значение приводит к быстрому обесцениванию будущих доходов и занижает положительный денежный поток, а значит, и экономический эффект по проекту. При обосновании инвестиционных проектов используются два подхода: расчет потока наличности в текущих ценах и в сопоставимых ценах. В первом случае в качестве коэффициента дисконтирования в экономическом анализе часто используется ставка рефинансирования, или ключевая ЦБ, ставка процента по долгосрочным ипотечным кредитам или ставка процента по долгосрочным государственным облигациям, а в финансовом анализе – рыночная ставка процента по долгосрочным кредитам. Ставка рефинансирования ЦБ России в последние годы (2010-2014 гг.) составляла 8-8,25% годовых, стоимость длинных денег, предоставляемых банком России на аукционах РЕПО, – 8%, рыночная ставка процента по кредитам сроком свыше 3

лет для нефинансовых организаций – 9,8-11,8%.¹⁸ Во втором случае все величины и корректируются на инфляцию. При этом для этих целей могут использоваться разные показатели инфляции для разных компонентов затрат и эффектов. Если ставка рефинансирования ЦБ равна 9%, а годовая инфляция 6%, то реальная ставка процента будет равна примерно 3%. Именно так оцененный коэффициент дисконтирования следует использовать при расчете затрат цикла жизни здания в сопоставимых ценах.

В исследовании окупаемости утепления фасадов А.С. Горшков для дисконтирования затрат использует ставку процента по кредитам 14,5%, а для дисконтирования потока доходов – ставку рефинансирования ЦБ РФ – 8,25%. Р. Абдурафиков и А.В. Спиридонов используют норму дисконтирования 7% и проводят расчет в текущих ценах. С.П. Филиппов, М.Д. Дильман и М.С. Ионов используют реальную ставку дисконтирования 6% и проводят расчеты в сопоставимых ценах. В.Г. Гагарин использует ставку 13% и не учитывает рост тарифов на тепло, что некорректно. В работе И.Н. Ковалева расчеты проведены для ставок дисконтирования 15%, 20% и 25% при игнорировании факта роста тарифов на тепловую энергию или цен на топливо в перспективе¹⁹.

В ЕС директивно требуется, чтобы как минимум один вариант расчетов по оптимизации параметров энергоэффективности здания проводился при реальной ставке дисконтирования 3%. Анализ для Германии выполнен для вариантов ставки дисконтирования 3% и 1%, для Австрии – 2,8% и 4%, а для Польши – 3% и 5%. В США ставка дисконтирования для проектов по энергосбережению в рамках государственной программы ФЕМП ежегодно устанавливается Министерством энергетики США²⁰. На 2014 г. ставка дисконтирования определена Министерством энергетики США на уровне 3%. При реальной ставке дисконтирования 3% получается, что проект экономически эффективен при сроке окупаемости 33 года. Заметим, что в Германии капитальный ремонт жилых зданий кредитуется именно под такую ставку процента. В дальнейших расчетах в экономическом анализе в качестве базовой используется реальная ставка дисконтирования 3%.

Расчет потока наличности в текущих ценах на 30 лет вперед предполагает учет роста стоимости энергоресурсов, которые экономятся за счет реализации проектов по повышению энергоэффективности. Как правило, в этих целях используются официальные долгосрочные прогнозы цен. Для России такими прогнозами являются прогнозы Министерства экономического развития до 2030 г. с последующей экстраполяцией трендов на годы, не охваченные этим прогнозом²¹. Такой подход использован и в данной работе.

Понятия экономической эффективности и экономической оптимальности связаны между собой, но не тождественны. Последнее является частным случаем первого. Пакет мер является экономически эффективным, если чистая приведенная стоимость потока доходов, рассчитанного с заданным коэффициентом дисконтирования, больше нуля, или дисконтированные доходы больше дисконтированных расходов. Другой критерий экономической эффективности – снижение затрат цикла жизни здания по сравнению с базовым вариантом. Эти функции могут иметь максимум, если предельная стоимость дополнительного эффекта сокращается по мере роста затрат. Тогда при некотором

¹⁸ В. Замараев, А. Назарова, Е. Суханов. Финансовые ограничения вслед за инвестиционной паузой. Вопросы экономики. № 10, 2014 г.; Банк России http://www.cbr.ru/statistics/print.aspx?file=b_sector/rates_crpo-r_14.htm&pid=procstavnew&sid=ITM_60399.

¹⁹ И.Н. Ковалев. Об окупаемости и рентабельности долгосрочных инвестиций. «Энергосбережение». №6. 2014.

²⁰ Energy Price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis – 2013. Annual Supplement to NIST Handbook 135 and NBS Special Publication 709. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.85-3273-28>.

²¹ С.П. Филиппов, М.Д. Дильман и М.С. Ионов. Оптимальные уровни тепловой защиты жилых зданий для климатических условий России. «Теплоэнергетика». № 11. 2013.

сочетании затрат и результатов экономический эффект достигает максимума. Дальнейшее увеличение затрат на меры по энергоэффективности уже ведет к повышению затрат цикла жизни здания. Сравнение затрат цикла жизни для здания с оптимальным уровнем энергоэффективности с затратами цикла жизни для здания с низким потреблением энергии (или «пассивного» здания) позволяет оценить дополнительные затраты при дальнейшем совершенствовании нормативных требований к энергоэффективности зданий и наметить пути совершенствования технологий и снижения этих затрат²².

3. Определение экономически оптимальных параметров энергоэффективности и уровней теплозащиты

3.1. Новые многоквартирные здания

При строительстве нового здания рассмотрен базовый вариант из 5 пакетов мер по повышению энергоэффективности (табл. 3). Расчеты экономической эффективности утепления проведены для эталонного здания, в качестве которого было взято 17-этажное здание московской серии ПЗМ/17Н1 на 256 квартир²³. Расчеты удельного потребления энергии проведены для условий г. Москвы по методике, приведенной в проекте СП «Энергетическая эффективность зданий. Расчет потребления энергии для отопления и охлаждения». Достижение необходимых уровней теплозащиты здания обеспечивается за счет мер по дополнительному утеплению ограждающих конструкций, установки более энергоэффективных окон, системы отопления с авторегулированием, а также вентиляционной системы с рекуперацией тепла. Набор этих мер варьирует для каждого пакета.

Таблица 3. Пакеты мер по повышению энергоэффективности эталонного жилого здания

СНиП 23-02-2003	Постановление РФ № 18			Здание с низким потреблением энергии	«Пассивное» здание
	с 2011 года	с 2016 года	с 2020 года		
Базовый вариант – утепление до требований СНиП 23-02-2003	Дополнительное утепление; установка окон с сопротивлением теплопередаче $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Усиленное утепление; установка окон с сопротивлением теплопередаче $0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Усиленное утепление; установка окон с сопротивлением теплопередаче $0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; сокращение кратности воздухообмена за счет снижения заселенности	Амбициозное утепление; установка окон с сопротивлением теплопередаче $1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; система отопления с авторегулированием; сокращение кратности воздухообмена за счет снижения заселенности	Амбициозное утепление; установка окон с сопротивлением теплопередаче $1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; система отопления с авторегулированием; механическая вентиляционная система с рекуперацией тепла; сокращение кратности воздухообмена за счет снижения заселенности

Источник: ЦЭНЭФ-ХХI

²² Например, за счет развития Системы активного энергосбережения. См. Т.А. Ахмяров, В.С. Беляев, А.В. Спиридонов и И.Л. Шубин. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла. «Энергосбережение». №4, 2013; Т.А. Ахмяров, А.В. Спиридонов, И.Л. Шубин. Создание наружных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты. «Энергосбережение» № 6, 2014 г.

²³ Характеристики этого здания подробно описаны в статье Ливчака В.И. Энергетическая эффективность зданий. К чему приведет СП 50-13330-2012 «Тепловая защита» и как выполнить постановление Правительства России. «ЭНЕРГОСОВЕТ» №2 (27)-2013.

Макроэкономические допущения о росте тарифов на теплоэнергию и темпах инфляции взяты из долгосрочного прогноза МЭР, опубликованного в ноябре 2013 г. Базовые значения уровня тарифов на тепло задаются в четырех вариантах: низкий (1500 руб./Гкал), средний (1750 руб./Гкал), высокий (2000 руб./Гкал) и **вмененный** (основанный на расчете экспортной цены природного газа) тариф (2400 руб./Гкал). Кроме того, рассмотрен вариант со стоимостью тепловой энергии 1000 руб./Гкал. Темпы роста тарифов на тепловую энергию задаются в трех вариантах: низкий (в среднем в год на 4,4%), средний (на 4,6% в год) и высокий (на 5,4% в год). Темпы инфляции также заданы в трех вариантах: низкий (3,3% в год), средний (3,6% в год) и высокий (4,1% в год).

Норма дисконтирования в текущих ценах зависит от среднего темпа инфляции при реальной ставке 3%. То есть при темпах инфляции 3-4% в год в текущих ценах она равна 6-7%. Кроме того, рассмотрен вариант с реальной нормой дисконтирования 9%, что при росте цен на 3-4% в год равнозначно номинальной ставке процента по кредиту 12-13% годовых.

Затраты, которые в равной степени присутствуют как в базовом, так и в альтернативных вариантах, не учитываются при оценке приростных затрат. К примеру, при новом строительстве застройщик в любом случае обязан установить слой теплоизоляции, обеспечивающий соответствие здания требованиям по теплозащите. Толщина этого слоя теплоизоляции не влияет на необходимость монтажа строительных лесов и лишь незначительно удорожает сопутствующие работы и материалы, необходимые при установке²⁴. Поэтому в случае нового строительства стоимость установки изоляции и стеклопакетов можно принять практически постоянной и не включать в анализ. Стоимость теплоизоляционного материала является важной переменной анализа. Важно определить зависимость цены от объема поставки, чтобы учесть фактор размера партии и экономии на масштабе.

Стоимость монтажа штукатурной системы оценена в 800 руб./м², и еще 600 руб./м² приходится на затраты на сопутствующие материалы. Похожую оценку дает и А.С. Горшков²⁵. В исследовании С.П. Филиппова и др. затраты на строительномонтажные работы по утеплению фасадов, видимо, усреднены по разным технологиям утепления и равны примерно 2000 руб/м². Если оптовая цена утеплителя в зависимости от его толщины, материала и марки равна 200-600 руб./м², то стоимость установки утеплителя стен на штукатурной системе составляет 70-87% от полных капитальных затрат на утепление стен здания. В исследовании А.С. Горшкова эта величина составляет 72%, в статье Филиппова и др. – 80%. В итоге, увеличение толщины теплоизоляционного материала лишь незначительно увеличивает капитальные затраты.

Для снижения удельного потребления энергии до уровня «пассивного» здания необходима установка вентиляционной системы с рекуперацией тепла. По результатам исследования рынка получены три варианта оценки установки вентиляционной системы «под ключ» - 1000 руб/м² в экономичном варианте, 1800 руб/м² в среднем варианте, 2500 руб/м² в дорогом варианте. Также на ежегодные затраты по обслуживанию оборудования приходится 60 тыс. руб. При оценке приростных капитальных вложений учитывался также тот факт, что повышение параметров теплозащиты здания приводит к снижению мощности системы теплоснабжения и, следовательно, к затратам на установку АИТП и

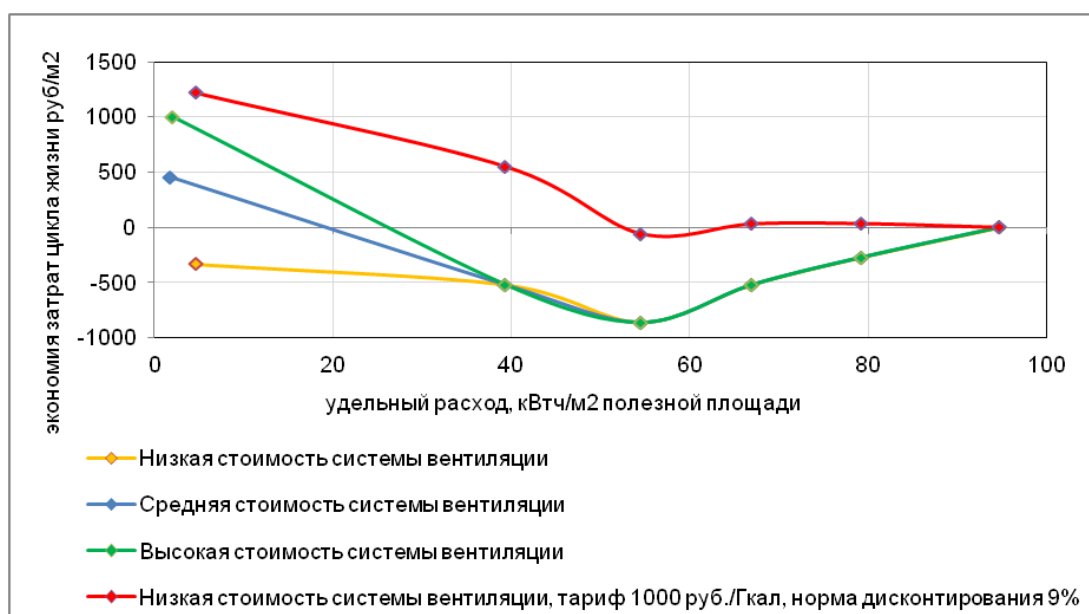
²⁴ В работе С.П. Филиппова, М.Д. Дильмана и М.С. Ионова «Оптимальные уровни тепловой защиты жилых зданий для климатических условий России». «Теплоэнергетика». №11. 2013 установлены функции такого удорожания, которые являются очень медленно растущими функциями. Так, при удвоении параметров теплозащиты стен затраты на строительномонтажные работы увеличиваются только на 10%, для окон – на 4%, чердаков и полов – на 4%.

²⁵ А.С. Горшков. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий. «Энергосбережение». № 4. 2014.

радиаторов отопления, а также к снижению платы за подключение зданий к тепловым сетям.

На рис. 2 представлена экономия затрат цикла жизни здания по шести вариантам (включая базовое состояние – точка отсчета равна 0) при базовых допущениях (средний исходный тариф на тепловую энергию, средний темп их роста, средний темп инфляции, реальная ставка дисконтирования 3%, реализация проекта на единственном здании, ГСОП равные 5000). Для сценария 5 кривая разветвляется, поскольку есть неопределенность в определении стоимости систем вентиляции с рекуперацией тепла при массовом применении этой технологии.

Рисунок 2. Изменение затрат цикла жизни при базовых допущениях для разных пакетов мер по повышению энергоэффективности (с тремя вариантами стоимости систем вентиляции с рекуперацией тепла)



Источник: авторы

Пакеты мер 1-4 позволяют снизить затраты цикла жизни здания, а значит, являются экономически эффективными (рис. 2 и табл. 4). Пакет мер 5 при допущениях о высокой стоимости систем вентиляции с рекуперацией тепла не является экономически эффективным для базовых условий расчета. Пакет мер 3 позволяет минимизировать затраты цикла жизни здания, а значит, и является оптимальным. При исходном тарифе на тепловую энергию 1000 руб./Гкал и реальной норме дисконтирования 9% дополнительное утепление не дает выигрыша по затратам цикла жизни при реализации пакетов мер 1-3 и приводит к росту затрат цикла жизни при реализации пакетов мер 4 и 5.

Выполнение требования снижения удельного расхода энергии и повышения сопротивления теплопередаче до уровня, установленного на 2020 г. в Постановлении Правительства РФ № 18, является экономически оптимальным. Этому оптимальному уровню соответствует удельный расход энергии на цели отопления и вентиляции 55-57 кВт·ч/м²/год (по конечной энергии). В целом, оптимальные уровни теплозащиты и удельных расходов энергии для России получились сходными с данными для стран ЕС. Более высокие тарифы на энергию в этих странах компенсируются более мягкими климатическими условиями и использованием в качестве эталонных зданий МКД меньшей этажности.

Таблица 4 Оценка экономической эффективности вариантов повышения энергоэффективности в эталонном здании

Показатель	Результаты расчета					
	СНиП 23-02- 2003	Постановление Правительства РФ № 18			Здание с низ- ким потребле- нием энергии	«Пассивное» здание
		с 2011 г.	с 2016 г.	с 2020 г.		
	1	2	3	4	5	
Расчетный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, кВт-ч/м ²	95	79	67	54	39	5
Приростные капитальные вложения (руб./м² общей площади квартир и полезной нежилой площади)						
На повышение сопротивления теплопередаче	0	229	365	419	1270	1270
На систему механической вентиляции с рекуперацией тепла	0	0	0	0	0	1000
На систему отопления и на подключение к тепловым сетям	0	-40	-63	-96	-120	-200
Итого	0	189	302	325	1150	2070
Экономические индикаторы (для средних вариантов тарифов на тепло, темпов их роста и темпов инфляции)						
Сроки окупаемости, лет		7,7	6,9	5,1	13,2	14,6
Стоимость экономии энергии, руб./Гкал		810	726	535	1387	1535
ЧДС проекта, руб./м ²		271	520	861	521	333
Внутренняя норма доходности, %		17%	19%	24%	10%	8%
Снижение затрат цикла жизни, руб./м ²		-271	-520	-861	-521	-333

Источник: ЦЭНЭФ-XXI

Часто утверждают, что строительство энергоэффективных зданий ведет к существенному удорожанию жилищного строительства и делает его экономически недоступным. Однако, как показывает опыт строительства «пассивных» зданий, дополнительные затраты, как правило, не превышают 10% от стоимости строительства обычного здания и позволяют снизить потребление энергии на 70-80%²⁶. Прирост капитальных затрат при строительстве «пассивных» зданий не превышает 2000 руб./м², или 5% от первоначальной стоимости строительства и 2-3% от продажной стоимости жилищной недвижимости. Этот фактор относится к числу факторов удорожания второго порядка. Для оптимального 3-го пакета мер удорожание составляет только 300 руб./м², или менее 1% от стоимости строительства и от продажной стоимости жилья. Для зарубежных стран получены сходные результаты.

Ниже показаны результаты анализа чувствительности результатов к изменению основных допущений (табл. 5). Для всех сочетаний величины тарифа при использовании только мер по утеплению получается, что вариант 3 является оптимальным. Это верно даже для исходного уровня тарифа на тепло 1000 руб./Гкал. При высоких базовых тарифах, основанных на вмененной стоимости природного газа, и при средних темпах их роста (на 4,5% в год в течение 30 лет) получается, что оптимальным становится вариант 5 с повышением сопротивления теплопередаче до уровня «пассивного здания», а также с установкой вентиляционной системы с рекуперацией тепла.

Таблица 5. Оценка экономической эффективности вариантов повышения энергоэффективности в эталонном новом здании – анализ чувствительности

Параметры энергоэффективности,	Здание с	Пассивное
--------------------------------	----------	-----------

²⁶ Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. IEA. March 2008; I. Andresen, K. Engelund T.Å. Wahlstrøm. Nordic Analysis of Climate Friendly Buildings. Summary Report. September 1, 2010; M. Wronowski. Conceptual design of plus energy single family house in Warsaw, Poland REHVA Journal – October 2013.

	определенные в Постановлении Правительства РФ № 18 на:			низким потреблением энергии	здание
	2011 г.	2016 г.	2020 г.		
Удельное потребление тепла, % от базового уровня	84%	71%	58%	42%	5%
Снижение затрат цикла жизни, руб./м²					
Базовые допущения	-271,1	-519,8	-861,0	-521,3	-333,3
Низкие тарифы	-202,1	-395,8	-681,4	-274,2	68,8
Высокие тарифы	-396,7	-745,4	-1187,6	-970,7	-1064,5
Вмененные тарифы	-437,3	-818,4	-1293,4	-1116,2	-1301,2
Низкая ставка дисконтирования	-407,3	-765,2	-1218,4	-1000,3	-979,5
Высокая ставка дисконтирования	-141,7	-286,3	-519,9	-70,1	278,0
Наличие масштабной программы закупок	-292,6	-554,1	-900,4	-640,4	-565,9
Низкие темпы инфляции	-285,1	-544,9	-897,6	-570,1	-402,9
Высокие темпы инфляции	-244,9	-472,5	-792,0	-429,4	-157,7
ГСОП-2000	-454,4	-560,0	-714,1	-503,5	1030,7
ГСОП-6000	-217,0	-428,3	-868,0	-734,8	-844,9

Источник: авторы.

Более высокая ставка дисконтирования, при прочих равных условиях, приводит к занижению стоимости экономии будущих периодов и, как следствие, к меньшей экономии затрат цикла жизни. Использование высокой ставки дисконтирования делает вариант с «пассивным зданием» экономически неэффективным. Осуществление масштабных закупок в рамках программ нового энергоэффективного строительства влияет на объемы экономии на затратах цикла жизни здания, но не влияет на формы кривой, а значит, и на выводы относительно экономической эффективности и оптимальности различных пакетов мер по повышению энергоэффективности. Как и экономия на масштабе закупок, инфляция влияет на объемы экономии на затратах цикла жизни здания, но не влияет на формы кривой.

При прочих равных условиях, утепление зданий в более холодных регионах выгодней с экономической точки зрения. Если для здания, расположенного в зоне с 2000 ГСОП, установка высокоэнергоэффективных окон не слишком выгодна, а вентиляционная система значительно удорожает затраты цикла жизни, то для здания, расположенного в зоне с 6000 ГСОП, вентиляционная система с рекуперацией окупается уже через 12 лет (простой срок окупаемости; по ЧДС – через 15 лет). Для таких регионов переход к более жестким требованиям по энергоэффективности вплоть до «пассивных» является оптимальным решением. Поскольку кривая изменения затрат цикла жизни выполаживается, зона оптимальности простирается практически от 3-го до 5-го пакета.

По результатам исследования оптимальных уровней повышения эффективности использования энергии в новом эталонном здании по критерию минимизации затрат цикла жизни здания на цели отопления и вентиляции при разных допущениях о значениях ключевых факторов, влияющих на результаты расчетов, можно сделать следующие выводы:

1. Последовательное повышение сопротивления теплопередаче экономически выгодно для первых четырех пакетов мер, позволяющих довести уровень энергоэффективности здания до требований «здания с низким потреблением энергии» для всех использованных сочетаний условий расчета за исключением варианта с тарифами на тепло ниже 1000 руб./Гкал и нормы дисконтирования, превышающей нынешние ставки процента по ипотечным кредитам;

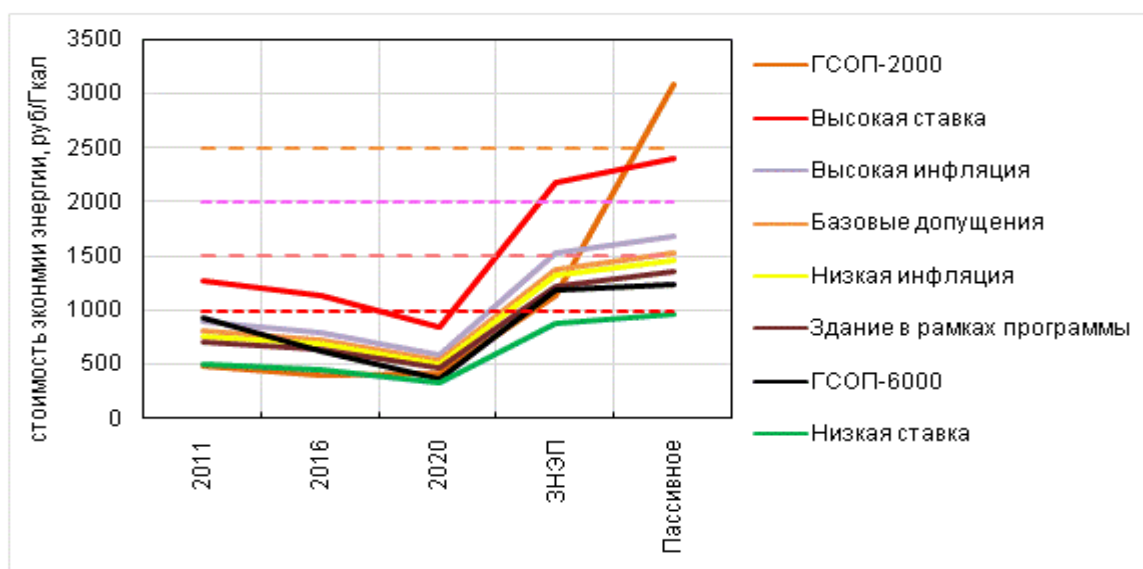
2. В варианте «здание с низким потреблением энергии» значительное по сравнению с предыдущим вариантом повышение теплозащиты в основном за счет использования более энергоэффективных, но и более дорогих окон не дает дополнительного эффекта снижения затрат цикла жизни. Стоимость энергоэффективных окон в расчете на единицу площади ограждающей конструкции значительно выше, чем утепления стен, при меньшем приросте сопротивления теплопередаче;

3. Использование систем вентиляции с рекуперацией тепла при массовом применении этой технологии является экономически эффективным, но оптимальным это решение является только при условии использования в расчетах вмененных цен на тепловую энергию и (или) снижения стоимости таких систем;

4. Экономически оптимальным уровнем повышения параметров теплозащиты зданий при всех реалистичных сочетаниях допущений является 3-й пакет мер, предусматривающий выход на параметры удельного расхода энергии, определенные в Постановлении Правительства РФ № 18 на 2020 г.;

5. В основной части рассмотренных вариантов стоимость экономии конечной энергии ниже, чем средний тариф на теплоэнергию. Исключение составляют только расчеты при допущениях об очень высокой ставке дисконтирования (9%) и о низком числе ГСОП. Если использовать для сравнения не действующий тариф, а вмененный (около 2200-2600руб/Гкал), то практически у всех пакетов мер стоимость экономии тепловой энергии ниже тарифа (рис. 3). Иными словами, экономить тепловую энергию стоит в 3-5 раз дешевле, чем ее производить. Выводы об экономической эффективности пакетов мер на основе критериев стоимости экономии энергии и затрат цикла жизни здания практически совпадают;

Рисунок 3. Стоимость экономии тепловой энергии при реализации пакетов мер по повышению энергоэффективности в новых зданиях



Источник: авторы.

6. Простой срок окупаемости пакетов мер по снижению удельных расходов на отопление и вентиляцию при расчете по приросту капитальных вложений и эффектов равен 4-9 лет для пакетов мер, позволяющих достигать удельных расходов энергии, определенных в Постановлении Правительства РФ № 18 на 2020 г. Они увеличиваются до 10-28 лет при выходе на параметры зданий с низким потреблением энергии или «пассивных» зданий (рис. 5).

Стены	ППС, 30 мм	ППС, 50 мм	ППС, 50 мм	ППС, 80 мм	ППС, 80 мм	ППС повышенной плотности, 100 мм	ППС повышенной плотности, 150 мм
Подвальные перекрытия	ППС, 30 мм	ППС, 30 мм	ППС, 50 мм	ППС, 80 мм	ППС повышенной плотности, 80 мм	ППС повышенной плотности, 100 мм	ППС повышенной плотности, 150 мм
Чердачные перекрытия	нет	нет	мин. вата, 40 мм	мин. вата, 40 мм	мин. вата, 60 мм	мин. вата, 80 мм	мин. вата, 80 мм
Окна	нет	нет	нет	нет	нет	Стеклопакеты сопротивлением 0,69	Стеклопакеты сопротивлением 0,95

Источник: авторы.

Повышение сопротивления теплопередаче экономически выгодно для всех пакетов, за исключением пакетов 1-2 и 6 для варианта с тарифами на тепло ниже 1000 руб./Гкал. (табл. 7 и рис. 6). Анализ результатов показывает, что при низких тарифах на тепловую энергию при утеплении с пакетами мер 1 и 2 стоимость затрат цикла жизни здания возрастает. Это происходит потому, что условно-постоянные затраты на монтаж тепловой изоляции довольно велики, а энергосберегающий эффект ограничен. По мере наращивания толщины утеплителя доля условно-постоянных затрат на монтаж тепловой изоляции в общей стоимости снижается, а энергосберегающий эффект растет. Для базовых тарифов на тепловую энергию и более высоких значений тарифов даже нанесение тепловой изоляции по варианту 1 приводит к снижению затрат цикла жизни здания.

Оптимальным для всех вариантов тарифов является 5-й пакет мер. При переходе от него к пакету 6 устанавливаются энергосберегающие оконные конструкции, что приводит к резкому возрастанию удельных капитальных затрат, а вслед за ними и затрат цикла жизни. В пакете 7 устанавливаются стеклопакеты следующего поколения, которые еще более удорожают проект, но обеспечивают дальнейшее снижение трансмиссионных теплопотерь. Реализация этого пакета мер позволяет снизить удельный расход энергии на 61%. Для зданий более поздней постройки экономия будет, видимо, меньшей, но все же близкой к 50%. Опыт показывает, что экономия энергии за счет капитального ремонта МКД может составлять 40-70%. НП «АВОК» определило, что для 4 МКД в Москве экономия потребления тепловой энергии после капитального ремонта составила 56-62%.²⁷ Похожие цифры приводит ФСРЖКХ для отдельных экспериментальных зданий²⁸.

Таблица 7. Оценка экономической эффективности вариантов повышения энергоэффективности в эталонном капитально-ремонтируемом здании

	Базовый	Варианты повышения теплозащиты						
		1	2	3	4	5	6	7
Потребление теплоэнергии, кВт-ч/м ²	360	300	270	210	190	140	90	60
Простой срок окупаемости, лет		15,0	10,6	6,8	6,3	5,1	10,0	11,4
ВНО, %		9%	13%	19%	20%	24%	13%	12%
Стоимость экономии энергии, руб./Гкал		1587	1117	715	665	534	1052	1199
Экономия затрат цикла жизни, руб./м ²		-394	-1160	-2814	-3283	-4638	-3781	-3578

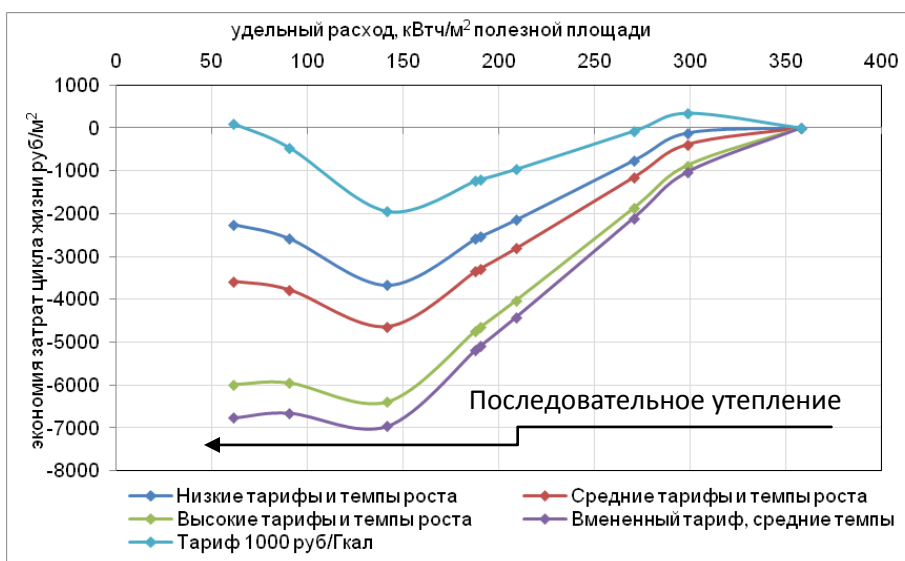
Источник: авторы.

²⁷ Там же.

²⁸ Годовой отчет государственной корпорации — Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства за 2012 год. ФСРЖКХ. 2013.

Рисунок 6.

Анализ чувствительности экономии затрат цикла жизни к величине и динамике тарифа на тепловую энергию



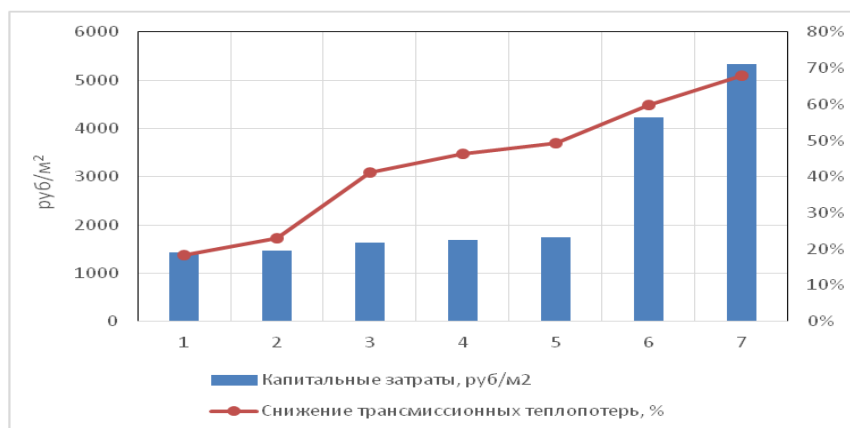
Источник: авторы.

Приростные капитальные затраты на пакеты мер по утеплению зданий по оптимальному варианту равны 1735 руб./м² полезной площади жилого здания. При плате за капитальный ремонт в размере 5-7 руб./м² в месяц для сбора таких средств потребуется 20-29 лет. Понятно, что без помощи государства обеспечить финансирование такого пакета мер по повышению энергоэффективности практически невозможно.

Приростные капитальные затраты на пакеты мер по утеплению зданий по оптимальному варианту равны 1735 руб./м² полезной площади жилого здания (рис. 7). При плате за капитальный ремонт в размере 5-7 руб./м² в месяц для сбора таких средств потребуется 20-29 лет. А ведь в процессе капитального ремонта требуются еще и другие виды работ. Понятно, что без помощи государства обеспечить финансирование такого пакета мер по повышению энергоэффективности практически невозможно.

Изменение допущений о величине и росте тарифов не влияет на форму кривой экономии затрат цикла жизни здания. Только при тарифах на тепловую энергию ниже 1000 руб./Гкал пакеты 1-2 и 6 становятся экономически неэффективными. Практически при всех значениях ставки дисконтирования все пакеты мер экономически эффективны. Исключением являются только пакеты мер 1 и 5 при номинальной ставке дисконтирования 12-13%. В более холодных регионах затраты цикла жизни здания снижаются более значительно при утеплении зданий в процессе капитального. Первый пакет мер экономически неэффективен для зон с ГСОП ниже 3000. Все остальные пакеты эффективны для всех зон. Пакет 5 является оптимальным также для всех климатических зон.

Рисунок Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.. **Приростные капитальные затраты для разных пакетов мер по утеплению ограждающих конструкций в процессе капитального ремонта**



Источник: авторы.

По результатам исследования оптимальных уровней повышения эффективности использования энергии в МКД после капитального ремонта по критерию минимизации затрат цикла жизни здания на цели отопления и вентиляции при разных допущениях о значениях ключевых факторов, влияющих на результаты расчетов, можно сделать следующие выводы:

1. Повышение сопротивления теплопередаче экономически выгодно для большей части пакетов мер, за исключением 1-го, 2-го и 7-го пакетов при условии низкого числа ГСОП, или очень низких тарифов на тепло, или очень высокой нормы дисконтирования;
2. Экономически оптимальным уровнем повышения параметров теплозащиты существующих зданий при всех реалистичных сочетаниях допущений является 5-й пакет мер, предусматривающий снижение удельного расхода энергии на 61% от базового уровня (для зданий более поздней постройки этот эффект может быть несколько ниже);
3. В основной части рассмотренных вариантов стоимость экономии конечной энергии ниже, чем средний тариф на теплоэнергию. Исключение составляют только варианты с низкой толщиной утеплителя, с низким числом ГСОП и высокой нормой дисконтирования;
4. Простой срок окупаемости оптимального пакета мер по снижению удельных расходов на отопление и вентиляцию при расчете по приросту капитальных вложений и эффектов составляет от 4 до 8 лет. При использовании в расчетах параметров зданий более поздней, чем 1970 г., постройки сроки окупаемости могут возрасти как минимум в 2 раза – до 8-16 лет и более.

3.3. Индивидуальные здания

Расчеты экономической эффективности утепления проведены для эталонного здания, в качестве которого был взят двухэтажный индивидуальный дом площадью 200 м². Достижение необходимых уровней теплозащиты здания обеспечивается за счет мер по дополнительному утеплению ограждающих конструкций, установки более энергоэффективных окон, а также вентиляционной системы с рекуперацией тепла. Набор этих мер варьирует для каждого пакета. В каждом из сценариев повышения энергоэффективности учтена экономия за счет установки менее мощного газового котла и радиаторов меньшей площади.

Расчеты показали, что выполнение требования снижения удельного расхода энергии и повышения сопротивления теплопередаче до уровня, установленного на 2020 г. в

Постановлении Правительства РФ № 18, является экономически оптимальным. Этому оптимальному уровню соответствует удельный расход энергии на цели отопления и вентиляции 82-86 кВт·ч/м²/год (по конечной энергии). Прирост капитальных затрат при строительстве «пассивных» зданий не превышает 3000 руб./м², или 6,5% от первоначальной стоимости строительства.

Аналогичное исследование было проведено для капитального ремонта индивидуального жилого здания. В качестве эталонного здания было выбрано здание тех же геометрических характеристик, что и для нового строительства, но со значительно худшими параметрами теплозащиты. Базовые значения сопротивления ограждающих конструкций рассчитаны исходя из данных о материалах ограждающих конструкций. Так же как и для капремонта МКД, рассмотрено 7 пакетов мер по утеплению отдельных ограждающих конструкций эталонного здания в процессе его капитального ремонта. Приростные капитальные затраты на пакеты мер по утеплению зданий при капитальном ремонте учитывают все работы по монтажу тепловой изоляции. При любом варианте капитального ремонта, включая базовый, обязательно устанавливается газовый котел необходимой мощности и радиаторы достаточной площади. По мере утепления здания расчетная нагрузка на систему отопления снижается, таким образом, затраты на систему теплоснабжения здания всегда не выше затрат при проведении капитального ремонта по варианту без утепления здания.

Повышение сопротивления теплопередаче экономически выгодно для всех пакетов, за исключением пакетов 1-2 и 6 для варианта с тарифами на тепло ниже 1000 руб./Гкал. Оптимальным для всех вариантов тарифов, кроме вмененного тарифа, является 5-й пакет мер. При переходе от него к пакету 6 устанавливаются энергосберегающие оконные конструкции, что приводит к резкому возрастанию удельных капитальных затрат, а вслед за ними и затрат цикла жизни. В пакете 7 устанавливаются стеклопакеты следующего поколения, которые еще более удорожают проект, но обеспечивают дальнейшее снижение трансмиссионных теплопотерь. Реализация 5-го пакета мер позволяет снизить удельный расход энергии на 62%. Приростные капитальные затраты на пакеты мер по утеплению зданий по оптимальному варианту не превышают 1400 руб./м² полезной площади жилого здания.