

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154
«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СТРУКТУРЕ ИСТОЧНИКА ОТОПЛЕНИЯ
И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Исполнитель:

Эксперт по вопросам внедрения
тепловых насосов в системах
теплоснабжения и горячего
водоснабжения в жилом секторе

И. С. Жидович

Минск
март 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА И СРАВНЕНИЯ	5
УЧЕТ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ТОПЛИВА	5
СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ТНУ	6
УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	9
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА	10
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	16

Введение

Теплонасосная установка (ТНУ) является теплогенерирующим элементом в составе бивалентного или поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения. Вследствие этого выбор проектного решения ТНУ определяется по результатам сравнения значений энергетических, экологических, экономических и других показателей эффективности источника отопления и горячего водоснабжения. Определяющими критериями для принятия решения о проектном варианте источника отопления и горячего водоснабжения с ТНУ могут быть:

- максимум экономии первичного топлива, минимум выбросов CO₂ и минимум приведенных затрат, когда заказчиком строительства является государство;
- минимум единовременных капитальных вложений, минимум простого срока окупаемости, максимум чистого дисконтированного дохода, когда заказчиком является инвестор, который сам планирует эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения;
- минимум единовременных капитальных вложений и минимум простого срока окупаемости, когда заказчиком является инвестор, который планирует передачу в эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения товариществу собственников;
- минимум ежегодных эксплуатационных расходов и приведенных затрат, когда заказчиком являются жилищные товарищества, которые сами инвестируют в строительство и планируют эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения.

Определение значений названных критериев выполняется по действующим рекомендациям и программам, которые применяются для оценки экономической эффективности инвестиционных проектов [1, 2]. Для расчетов этих значений при выборе источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ необходимо учитывать:

- что продолжительность строительства источника не более одного года, а длительность расчетного периода принимается равной сроку службы основного оборудования;
- зависимость срока службы тепловых насосов от их типа, теплопроизводительности и участия в покрытии суточного и годового теплопотребления жилого дома;

- непредсказуемость ежегодных затрат на эксплуатацию в течение срока службы источника с ТНУ, зависящих от текущих цен на природный газ, тарифов на тепловую и электрическую энергию;
- экономическую оценку экологического эффекта ТНУ;
- согласие жилищных товариществ оплачивать более капиталоемкие решения, которые имеют меньшие ежегодные затраты на эксплуатацию и обеспечивают большую надежность теплоснабжения;
- неопределенность прогноза экономической эффективности в условиях инфляции при системной оценке конкурирующих технологических решений источников.

Ожидается, что большинство из приведенных выше факторов будет учитываться в целевой методике оценки эффективности принимаемых энергосберегающих решений при проектировании энергоэффективных многоэтажных жилых зданий, которая планируется к разработке в проекте ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь».

Основные показатели для анализа и сравнения

Обязательными для расчетов во всех методиках являются потребление первичного топлива, единовременные капитальные вложения на сооружение и ежегодные расходы на эксплуатацию источников отопления и горячего водоснабжения. Ниже для сравнения эффективности разработанных решений приведены основные формулы для их значений. Исходными являются результаты расчетов энергетических потоков, значения удельных расходах энергетических ресурсов (топливо, тепловая и электрическая энергия), стоимости этих ресурсов и плата за используемые тепловыми насосами потоки низкопотенциальной теплоты.

Учет потребления первичного топлива

Суммарный расход первичного топлива источником отопления и горячего водоснабжения с ТНУ ($V_{\text{ист.ОиГВ}}^{\text{год}}$), равного сумме топлива, расходуемого ТНУ ($V_{\text{ТНУ}}^{\text{год}}$), источником централизованного теплоснабжения ($V_{\text{цт}}^{\text{год}}$), домовой котельной ($V_{\text{дом.кот.}}^{\text{год}}$) и другого местного теплогенерирующего оборудования ($V_{\text{др.мест.}}^{\text{год}}$).

$$V_{\text{ист.ОиГВ}}^{\text{год}} = V_{\text{ТНУ}}^{\text{год}} + V_{\text{цт}}^{\text{год}} + V_{\text{дом.кот.}}^{\text{год}} + V_{\text{др.мест.}}^{\text{год}}, \text{ ту.т./год} \quad (1)$$

Расход топлива на выработку теплоты ТНУ определяется из выражения

$$V_{\text{ТНУ}}^{\text{год}} = W_{\text{ТНУ}}^{\text{год}} b_{\text{ээ}}, \text{ ту.т./год} \quad (2)$$

где $W_{\text{ТНУ}}^{\text{год}}$ – годовой расход электрической энергии на выработку теплоты ТНУ, МВтч; $b_{\text{ээ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии на источнике электрической энергии, ту.т./МВтч.

Расход топлива на выработку теплоты источником централизованного теплоснабжения определяется из выражения:

$$V_{\text{ти}}^{\text{год}} = Q_{\text{ти}}^{\text{год}} b_{\text{тэ}}/1000, \text{ ту.т./год} \quad (3)$$

где $Q_{\text{тэц}}^{\text{год}}$ – объемы годовой выработки теплоты на источнике централизованного теплоснабжения, Гкал; $b_{\text{тэ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии на источнике централизованного теплоснабжения, ту.т./Гкал.

Годовой расход условного топлива на выработку теплоты домовой котельной (см. илл. 6.9, 6.10):

$$V_{\text{дом.кот.}}^{\text{год}} = Q_{\text{дом.кот.}}^{\text{год}} (b_{\text{дом.кот.}} + b_{\text{ээ.дом.кот.}} b_{\text{ээ.}}/1000), \text{ ту.т./год}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{дом.кот.}}^{\text{год}}$ – объемы годовой выработки теплоты домовой котельной, Гкал; $b_{\text{кот.}}$ – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии домовой котельной, ту.т./Гкал; $b_{\text{ээ.дом.кот.}}$ – удельный расход электрической энергии на выработку 1 Гкал домовой котельной, кВтч/Гкал.

Годовой расход условного топлива на выработку теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием:

$$V_{\text{др.мест.}}^{\text{год}} = Q_{\text{др.мест.}}^{\text{год}} b_{\text{ээ.др.мест.}} b_{\text{ээ.}}/1000), \text{ ту.т./год} \quad (11.5)$$

где $Q_{\text{др.мест.}}^{\text{год}}$ – объемы годовой выработки теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием, Гкал; $b_{\text{ээ.др.мест.}}$ – удельный расход электрической энергии на выработку 1 Гкал другим местным теплогенерирующим оборудованием, кВтч/Гкал.

Значения удельных расходов топлива на выработку электрической и тепловой энергии на источниках энергосистемы и других источниках централизованного теплоснабжения ($b_{\text{ээ}}$ и $b_{\text{тэ}}$) принимаются по данным эксплуатирующих организаций, а домовых котельных и другого теплогенерирующего оборудования ($b_{\text{дом.кот.}}$, $b_{\text{ээ.дом.кот.}}$ и $b_{\text{др.мест.}}$) – по паспортным данным устанавливаемого оборудования и др.

Сравнение экономической эффективности источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ

Сравнение экономической эффективности ТНУ как объектов нового строительства могут выполняться по величине капитальных вложений, ежегодным эксплуатационным расходам и приведенным затратам. Также в условиях неопределенности экономических прогнозов денежной единицей в расчетах принят доллар США¹, а ставка рефинансирования – равной 5% (в Европе не более 4%).

Капитальные вложения на использование ТНУ складываются из затрат на:

¹ - среднегодовая инфляция доллара в США за последние 10 лет составила 1,85%, российского рубля – 9,49%, белорусского рубля – 20,43%

- разработку проектной документации, включая выполнение научно-исследовательских работ, авторский надзор и др. – рассчитываются по действующим ценникам на планируемый объем работ в соответствии с техническим заданием заказчика;
- приобретение основного оборудования и материалов для обвязки тепловых насосов, их контуров испарителей и конденсаторов, а также сети инженерного обеспечения ТНУ – по данным прайс-листов организаций, являющихся производителями оборудования или представляющих их интересы в Республике Беларусь, исполнительных смет для построенных ТНУ на объектах различного назначения и др.;
- выполнение строительно-монтажных работ, включая внеплощадочные работы по системам отбора низкопотенциальной теплоты, сети электроснабжения и др.; а также проведение пусконаладочных работ, которые предусматривают проверку работоспособности отдельного оборудования ТНУ и комплексную наладку всего взаимосвязанного оборудования и контуров источника отопления и горячего водоснабжения – по данным строительно-монтажных и пусконаладочных организаций, специализирующихся на выполнении аналогичных работ;
- непредвиденные затраты, включая проведение дополнительных инженерных изысканий и др.

Для ориентирования в объемах единовременных капитальных вложений на строительство ТНУ на этапе преддоговорных контактов с потенциальным ЗАКАЗЧИКОМ можно принять, что затраты на приобретение тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» составляют от 300 до 600 долл. за 1 кВт их расчетной теплопроизводительности, а «воздух-вода» – от 500 до 1200 долл./кВт. Капитальные вложения на приобретение оборудования устройств отбора низкопотенциальной теплоты контуров испарителей тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» в зависимости от местных условий расположения проектируемого жилого здания могут составить до 100 % их стоимости, а строительно-монтажные и пусконаладочные работы – до 30% от стоимости приобретения всего оборудования ТНУ.

Ежегодные эксплуатационные расходы для работы ТНУ ($I_{\Sigma \text{ ТНУ}}$) рассчитываются как сумма платы за электрическую энергию, амортизационные отчисления, затрат на текущий ремонт и обслуживание

$$I_{\Sigma \text{ ТНУ}} = I_{\text{энерг.}} + I_{\text{а}} + I_{\text{тек.рем.}} + I_{\text{обслуж.}}, \text{ тыс. долл.} \quad (7)$$

где $I_{\text{энерг}}$ – затраты на оплату за электрическую энергию; I_a – амортизационные отчисления, равные сумме отчислений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт; $I_{\text{тек.рем.}}$ – затраты на текущий ремонт; $I_{\text{обслуж.}}$ – расходы на обслуживание.

В расчетах $I_{\text{энерг}}$ используются значения годовых расходов электрической энергии и значения тарифов на электроэнергию из энергосистемы ($C_{\text{эс}}$).

Для определения значений I_a принимаются средневзвешенные значения отчислений от капитальных вложений на приобретение оборудования, материалов и строительно-монтажные работы, учитывающие срок службы ТНУ: на реновацию ($p_{\text{рен.}} = 4\%$) и капитальный ремонт оборудования ($p_{\text{кап.ремонт}} = 4\%$).

Величина I_a рассчитывается из соотношения

$$I_a = (p_{\text{рен.}} + p_{\text{кап. ремонт}}) K_{\text{тну}} \quad (8)$$

Значения $I_{\text{тек.ремонт}}$ определяются в % от амортизационных отчислений, которые учитывают нормативные технические требования и местные особенности эксплуатации теплоисточников – $p_{\text{тек.ремонт}} = 10\%$.

$$I_{\text{тек. ремонт}} = p_{\text{тек. ремонт}} I_a \quad (9)$$

Расходы на обслуживание $I_{\text{обслуж.}}$ включают сервисные работы производителей оборудования (принимаются по аналогам). Периодическое контролирование параметров ТНУ может быть поручено специалистам по обслуживанию сети отопления и электроснабжения многоэтажного жилого здания.

На первой стадии выбор конкурирующих вариантов выполняется по сравнительной экономической эффективности капитальных вложений по формуле приведенных затрат. Наиболее экономичным является вариант, для которого сумма приведенных затрат имеет минимальное значение. При разнице менее 10% выбор определяется по результатам сравнения вариантов по другим параметрам, в первую очередь по экономии первичного топлива, где очевидное преимущество имеют источники с большим участием ТНУ в покрытии годового теплопотребления.

Капитальные вложения на строительство и эксплуатационные расходы для функционирования сети централизованного теплоснабжения ($K_{\text{цт}}$, $I_{\text{цт}}$), домовой котельной ($K_{\text{дом.кот}}$, $I_{\text{дом.кот}}$) и другого местного

теплогенерирующего оборудования ($K_{\text{местн.др.мест.}}$, $I_{\text{местн.др.мест.}}$) определяются по отраслевым методикам.

Приведенные затраты на строительство и эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения рассчитываются как сумма приведенных затрат в ТНУ ($Z_{\text{ТНУ}}$), сеть централизованного теплоснабжения ($Z_{\text{ЦТ}}$), местную котельную ($Z_{\text{местн.кот.}}$) и другое местное теплогенерирующее оборудование ($Z_{\text{местн.др.мест.}}$)

$$Z_{\text{ист.О и ГВ}} = Z_{\text{ТНУ}} + Z_{\text{ЦТ}} + Z_{\text{дом. кот.}} + Z_{\text{местн. др. мест.}} = (P_6 K_{\text{ТНУ}} + I_{\text{ТНУ}}) + (P_6 K_{\text{ЦТ}} + I_{\text{ЦТ}}) + (P_6 K_{\text{дом. кот.}} + I_{\text{местн. кот.}}) + (P_6 K_{\text{местн. др. мест.}} + I_{\text{местн. др.}}) \quad (10)$$

где P_6 – средний банковский процент; K_i – суммарные капитальные вложения на сооружение i -го типа теплогенерирующего устройства, тыс. долл.; I_i – ежегодные эксплуатационные расходы на работу i -го типа теплогенерирующего устройства, тыс. долл.

Учет экологической эффективности

Объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии альтернативными источниками отопления и горячего водоснабжения, являющийся показателем их экологической эффективности, равен сумме выбросов, образующихся при выработке теплоты их теплогенерирующими установками: ТНУ ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ТНУ}}$); источником централизованного теплоснабжения ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ЦТ}}$); домовой котельной ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{дом.кот.}}$) и другим местным оборудованием ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{др.мест.}}$)

$$\begin{aligned} \text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ист.ОиГВ}} &= \text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ТНУ}} + \text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ЦТ}} + \text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{дом. кот.}} + \text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{др.мест.}} = \\ &= (V^{\text{год}}_{\text{ТНУ}} + V^{\text{год}}_{\text{ЦТ}} + V^{\text{год}}_{\text{дом.кот.}} + V^{\text{год}}_{\text{др.мест.}}) a_{\text{CO}_2}, \text{ тонн}, \quad (11.6) \end{aligned}$$

где a_{CO_2} – количество выбросов CO_2 , образующихся при сжигании 1 т у.т. для природного газа (около 1,7 тонн).

Принимается, что на источниках производства тепловой и электрической энергии сжигается только природный газ, а тепловые насосы заправлены экологически чистыми рабочими агентами.

Результаты анализа

Рассчитанные значения показателей энергетической (годовых расходов условного топлива), экологической (годовых объемов выбросов CO_2) и экономической эффективности капитальных вложений (единовременным и приведенным затратам) для базового и альтернативных источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ сводятся в результирующую таблицу 1.

Таблица 1 – Основные показатели эффективности альтернативных источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение для альтернативных вариантов		
		Базовый	№ 1
Суммарный расход первичного топлива источником отопления и горячего водоснабжения ($V_{\text{ист.ОиГВ}}^{\text{год}}$), всего	ту.т./год			
В т.ч.:	- “ -			
– ТНУ ($V_{\text{ТНУ}}^{\text{год}}$)				
– источниками централизованного теплоснабжения ($V_{\text{цт}}^{\text{год}}$)	- “ -			
Объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ист.О и ГВ}}$), всего	т/год			
В т.ч.:	- “ -			
– ТНУ ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ТНУ}}$),				
– источниками централизованного теплоснабжения ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{цт}}$)	- “ -			
Капитальные вложения на строительство источника отопления и горячего водоснабжения ($K_{\text{ист.О и ГВ}}$), всего	тыс.долл./год			
В т.ч.:	- “ -			
– ТНУ ($K_{\text{ТНУ}}$)				
– сети централизованного теплоснабжения ($K_{\text{цт}}$)	- “ -			

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение для альтернативных вариантов		
		Базовый	№ 1
Ежегодные эксплуатационные расходы для работы источника отопления и горячего водоснабжения ($I_{ист.ОиГВ}$), всего	тыс.долл./год			
в т. ч.:	- “ -			
– ТНУ ($I_{\Sigma ТНУ}$)				
– сети централизованного теплоснабжения ($I_{цт}$)	- “ -			
Приведенные затраты на строительство и эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения, всего	тыс.долл./год			
в т. ч.:	- “ -			
– ТНУ ($Z_{ТНУ}$),				
– сети централизованного теплоснабжения ($Z_{цт}$)	- “ -			

Традиционно сравнение приведенных в табл. 1 значений показателей базового источника отопления и горячего водоснабжения и альтернативных с ТНУ, в условиях известной экономической неопределенности положенных в основу расчетов исходных данных, выполняется по трем показателям:

- коэффициенту сравнительной эффективности дополнительных капитальных вложений по зависимости:

$$K_{ээ} = (I_{баз.} - I_1) / (K_1 - K_{баз.}), \quad (11)$$

где $K_{баз.}$, K_1 – капитальные вложения по базовому и альтернативному варианту, долл.; $I_{баз.}$, I_1 – ежегодные эксплуатационные расходы, долл.;

- простому сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений:

$$T_{ок} = (K_1 - K_{баз.}) / (I_{баз.} - I_1), \text{ лет}; \quad (12)$$

- величине приведенных затрат, которые рассчитываются по формуле (10).

Приведенные затраты являются системным критерием эффективности – чем меньше величина приведенных затрат, тем выше эффективность капитальных вложений.

Вместе с тем, в зависимости от степени участия государства в строительстве и приоритетности критериев, решение о проектном варианте ТНУ определяется по принципу, что и насколько важно для проекта: экономика, энергетика, экология и качественные показатели (эстетика, конъюнктура). Взаимоувязанное решение можно обосновать комбинированием методов функционально-стоимостного анализа и экспертной оценки с учетом важности этих критериев для заинтересованных сторон, степени допустимого ухудшения их показателей для получения максимального системного эффекта. Одновременно учитывается реальность продажи квот на углеродные выбросы по схеме «зеленых инвестиций» с использованием полученных средств для приобретения оборудования ТНУ как возможность снижения капиталоемкости проектного решения.

Ниже до разработки целевой методики, принимая за основу интересы государства в строительстве энергоэффективных зданий (экономии первичного топлива) и заинтересованность жилищных товариществ в минимуме ежегодных эксплуатационных расходов на эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения, в качестве подсказки приводятся некоторые соображения по учете этих факторов при оценке экономической эффективности применения ТНУ.

Практика технико-экономических расчетов показывает, что интересы производителей и потребителей энергии во многом совпадают, когда установленные значения тарифов на электрическую и тепловую энергию не уменьшают прибыль энергосистемы, а жителей – не увеличивают плату за потребляемую энергию. Максимальное снижение тарифа на электрическую энергию реально при замещении тепловыми насосами тепловой энергии, которая производится на теплоисточниках, не принадлежащих энергосистеме. Можно рассчитывать, что после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС ТНУ будут рассматриваться как эффективный потребитель-регулятор для снижения проблемы прохождения минимума электрической нагрузки энергосистемы, прежде всего в отопительный период, со стимулирующим снижением тарифа на электроэнергию [3].

Для ориентирования при проектировании во влиянии тарифов на экономическую эффективность применения ТНУ на рис. 1 приведены графики, функционально связывающие тарифы на электрическую энергию

для ТНУ теплопроизводительностью 100 кВт и тепловую энергию от замещающего источника централизованного теплоснабжения при числе часов использования расчетной теплопроизводительности ТНУ, равном 7000 часов.

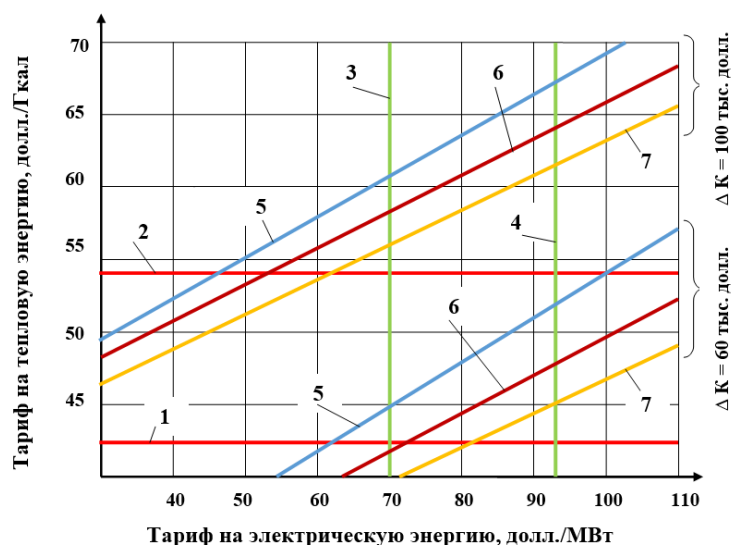


Рис. 1 – Соотношения между основными показателями ТНУ и замещающего источника централизованного теплоснабжения, при которых применение ТНУ будет экономически оправданными для жителей и энергосистемы (1 - экономически обоснованный тариф $c_{\text{цт}}$ от источников энергосистемы (42 долл./Гкал); 2 - экономически обоснованный тариф $c_{\text{цт}}$ от местных котельных (около 54 долл./Гкал); 3 - экономически обоснованный тариф энергосистемы $c_{\text{эс}}$ при круглосуточном потреблении электроэнергии (92,3 долл./МВтч); 4 - экономически обоснованный тариф $c_{\text{эс}}$ при потреблении электроэнергии с 22.00 до 17.00 в рабочие дни и круглосуточно в выходные (70 долл./Гкал); 5 - при среднегодовом коэффициенте ТНУ $\varepsilon_{\text{ср}}^{200}$ равном 3,5; 6 - при $\varepsilon_{\text{ср}}^{200}$ равном 4,0; 7 - при $\varepsilon_{\text{ср}}^{200}$ равном 4,5)

Как видно, кроме величины дополнительных затрат на строительство, экономическая обоснованность применения ТНУ зависит от соотношения тарифов на электрическую энергию от энергосистемы и тепловую от замещающего теплоисточника и среднегодового коэффициента трансформации низкопотенциальной теплоты.

Зависимости, связывающие величину дополнительных капитальных вложений на сооружение ТНУ, тарифы на электрическую и тепловую энергию, среднегодовые коэффициенты ТНУ $\varepsilon_{\text{ср}}^{\text{год}}$ и число часов использования теплопроизводительности ТНУ при равенстве приведенных затрат на сооружение ТНУ и замещающего источника централизованного теплоснабжения приведены на рис. 2.

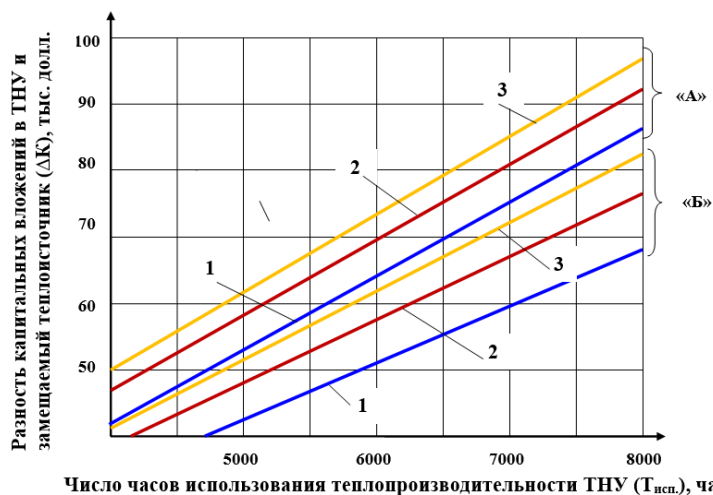


Рис. 2 – Зависимость экономически допустимой разности капитальных вложений в сооружение ТНУ (ΔK) от числа часов использования расчетной теплопроизводительности ТНУ ($T_{исп.}$) (1 - при среднегодовом коэффициенте ТНУ $\varepsilon_{ср}^{год}$ равном 3,5; 2 - при $\varepsilon_{ср}^{год}$ равном 4,0; 3 - при $\varepsilon_{ср}^{год}$ равном 4,5; А - при $c_{ит} = 50$ долл./Гкал и $c_{эс} = 70$ долл./МВтч; Б - при $c_{ит} = 50$ долл./Гкал и $c_{эс} = 90$ долл./МВтч)

Целесообразно отметить, что в ближайшие годы отношение значений тарифов на электрическую и тепловую энергию может измениться в сторону снижения, т.к. тариф на электрическую энергию будет в меньшей степени зависеть от стоимости природного газа, что очевидно повысит конкурентоспособность ТНУ в сравнении с традиционными теплоисточниками.

В настоящее время обязательными технико-экономическими показателями ТНУ, по которым должны приниматься решения о проектировании источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ как альтернатива базовому варианту являются [4, 5]:

- тепловая мощность ТНУ в составе источника отопления и горячего водоснабжения ($Q^{P}_{ТНУ}$), кВт;
- годовая выработка тепловой энергии ТНУ ($Q^{год}_{ТНУ}$), Гкал;
- потребляемая мощность электрооборудования ТНУ ($P^{P}_{ТНУ}$), кВт;
- годовое потребление электрической энергии на выработку теплоты ($W^{год}_{ТНУ}$), МВтч
- ежегодный расход первичного топлива ($V^{год}_{ТНУ}$), ту.т/год;
- величина капитальных вложений на строительство ТНУ ($K_{ТНУ}$), млн. руб. (тыс. долл.);
- ежегодные эксплуатационные расходы для работы ТНУ ($I^{год}_{ТНУ}$), млн. руб. (тыс. долл.);
- простой срок окупаемости капитальных вложений ($T_{ок}$), лет;

- удельный расход первичного топлива на 1 м² общей площади жилого здания
- ($b_{\text{общ.зд}} = V_{\text{ТНУ}}^{\text{год}} / F_{\text{общ.}}$), кг у.т/м²;
- удельный расход первичного топлива на 1 м² общей площади квартир жилого здания ($b_{\text{общ.кварт.}} = V_{\text{ТНУ}}^{\text{год}} / F_{\text{общ.}}$), кг у.т/м²;
- объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии ТНУ ($\text{CO}_2^{\text{год}}_{\text{ТНУ}}$), т/год;
- удельные капитальные вложения на сооружение ТНУ ($k_{\text{общ.кварт.}} = K_{\text{ТНУ}} / F_{\text{общ.}}$), долл./м² общей площади квартир жилого здания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий. Минэнерго РБ. Мн., 2003.
2. Данилевский Л.Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий // - Мн.: Бизнесофсет, 2011. - 375 с.
3. Жидович И.С. Системный подход к теплоснабжению энергоэффективной многоэтажной жилой застройки // Архитектура и строительство. -2015, №2, с.6-9.
4. ТКП 45-4.02-204-2010. Схемы теплоснабжения населенных пунктов. Правила разработки.
5. ТКП 241-2019 (02230). Порядок разработки технико-экономического обоснования выбора схем теплоснабжения при строительстве и реконструкции объектов.