

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И МЕТОДИКА ЕЕ РАСЧЕТА

На підставі діючих нормативних і законодавчих документів підготовлена методика оцінки техніко-економічної ефективності систем сонячного теплопостачання, що базується на використанні запропонованих безрозмірних критеріїв. Методика дозволяє проводити необхідну оцінку на початкових етапах розробки і використана для оцінки типових і експериментальних проектів систем.

На основании действующих нормативных и законодательных документов подготовлена методика оценки технико-экономической эффективности систем солнечного теплоснабжения, базирующаяся на использовании предложенных безразмерных критериев. Методика позволяет проводить необходимую оценку на начальных этапах разработки и использована для оценки типовых и экспериментальных проектов систем.

Проведение корректной оценки экономической эффективности использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии является краеугольным камнем их внедрения. До настоящего времени такой нормативный документ отсутствует, хотя необходимость его разработки предусмотрена "Государственной программой поддержки развития НВИЭ и малой тепло- и гидроэнергетики", утвержденной Постановлением Кабинета Министров Украины от 31.12.97г № 1505. Целью настоящей работы является проведение теоретического анализа и подготовка предложений к такой методике в части, касающейся систем солнечного теплоснабжения (ССТ).

В настоящее время в стране действует ряд нормативных документов и законодательных актов, которые необходимо учитывать при подготовке нового документа. Минэнерго Украины утверждена "Методика определения экономической эффективности капитальных вложений в энергетику" [1], которая предусматривает проведение оценки по четырем группам критериев: прибыль, рентабельность, период возврата капитала и приведенные затраты. Так как использование возобновляемых источников энергии, в т.ч. солнечной, в большинстве случаев является альтернативой использованию органического топлива или электроэнергии, их внедрение сопровождается дополнительными капитальными вложениями, обеспечивающими уменьшение эксплуатационных затрат. В связи с этим эффективность применения таких систем целесообразно оценивать, в первую очередь, по величинам приведенных затрат Z на реализацию того или иного варианта системы теплоснабжения, которые определяются из выражения:

$$Z = EK + V, \quad (1)$$

где E — норматив эффективности (может быть принят равным нормативу дисконтирования¹);

K — капитальные вложения;

V — ежегодные затраты.

В общем случае в состав ежегодных затрат входят стоимость ремонтов, заработная плата и отчисления от нее, общецеховые расходы и отчисления, налоги и дру-

гие платежи, предусмотренные законодательством, амортизационные отчисления на реновацию, а также стоимость энергии (или топлива). При сравнительных расчетах на стадии ТЭО можно исключить из рассмотрения не зависящие от источника теплоты составляющие приведенных затрат (зарплата, отчисления и налоги и ряд других) и дополнительные ежегодные затраты на систему определяются как

$$V = I_a + P, \quad (2)$$

где I_a — амортизационные отчисления;

P — норма затрат на ремонт.

Условием эффективности внедрения систем солнечного теплоснабжения (ССТ), включающих горячее водоснабжение (ГВС), будет:

$$\Delta Z = Q_T \cdot c_T - e \cdot K \geq 0, \quad (3)$$

где Q_T — количество тепла, выработанное ССТ, которое может быть выражено через КПД системы η , площадь солнечных коллекторов A и годовую суммарную интенсивность падающей солнечной радиации $q_{\text{пад}}$:

$$Q_T = A \cdot \eta \cdot q_{\text{пад}} \quad (4)$$

c_T — стоимость единицы тепла дублирующего источника;

e — ежегодные издержки по системе, выраженные долей от величины капитальных затрат K :

$$e = (E + I_a + P) / K \quad (5)$$

На основе анализа нормативных источников [2] и собственных разработок [3] подготовлены данные по величине амортизационных отчислений для ССТ. Для этого в соответствии с Законом Украины "О налогообложении прибыли предприятий" полная стоимость ССТ разбивается на группы, имеющие различные нормы отчислений на реновацию и ремонт: группа 1 — здания и сооружения; группа 2 — теплообменное и теплогенерирующее оборудование (включая солнечные коллекторы), приборы КИПиА, нестандартное оборудование, группа 3 — все, не вошедшие в 1 и 2 группы.

¹ В [1] в расчетах общеэкономической эффективности рекомендуется принимать $E = 0,1$

Нормы амортизационных отчислений I_a и затрат на ремонт P определяются по формулам:

$$I_a = \sum \Phi_i \cdot a_i \quad (6)$$

$$P = \sum \Phi_i \cdot a_{Ti} \quad (7)$$

где Φ_i — i -ая составляющая часть полной стоимости ССТ;

a_i — норма амортизационных отчислений соответствующей группы;

a_{Ti} — отчисления на ремонт соответствующей группы.

В таблице 1 для основных типов ССТ приведены средние доли и нормы отчислений в общей стоимости систем, полученные по результатам анализа экономических показателей как построенных объектов, так и разработанной проектно-сметной документации.

Срок окупаемости капитальных вложений (и обратная ему величина рентабельности проекта) определяется [1] отношением величин K и ΔZ :

$$t = K / \Delta Z, \quad (8)$$

которое с учетом (4) может быть преобразовано в виде:

$$t = t_{\text{пред}} / (\eta - e \cdot t_{\text{пред}}), \quad (9)$$

где $t_{\text{пред}}$ — предельный, теоретически достижимый минимальный срок окупаемости системы, равный отношению удельных капитальных вложений к "стоимости" падающей солнечной радиации:

$$t_{\text{пред}} = K / q_{\text{пад}} \cdot \sigma_t \quad (10)$$

Очевидно, что реальные сроки окупаемости всегда больше и величина $t_{\text{пред}}$ дает нижнюю оценку значения t при данном соотношении входящих величин.

Параметр e отражает в расчете такой экономически важный комплекс факторов как текущие издержки на систему: это и условия финансирования проекта, и расходы на амортизацию и эксплуатацию и т.д. Произведение величин e и $t_{\text{пред}}$ представляет собой безразмерный комплекс, отражающий условия места строи-

Таблица 1. Ориентировочные значения отчислений на реновацию

№ пп	Тип системы	Структура капитальных затрат, их принадлежность к группе основных фондов и нормы амортизации в % к балансовой стоимости			Амортизационные отчисления %	Отчисления на ремонт %
		группа 1	группа 2			
		Здания	Оборудование	КИПиА	$I_a = \sum \Phi a_i$	$P = \sum \Phi a_{Ti}$
		$a_1 = 1,7$ $a_{T1} = 0,6$	$a_2 = 25$ $a_{T2} = 5,0$	$a_2 = 25$ $a_{T2} = 5,5$		
		Доля капитальных вложений Φ_i в общей стоимости				
1	Солнечные приставки к котельным	0,45	0,50	0,05	2,87	3,05
2	Системы ГВС	0,50	0,40	0,10	2,95	3,85
3	Термосифонные установки ГВС	0,15	0,85	-	3,23	4,34
4	С тепловыми насосами и сезонным аккумулярованием	0,50	0,46	0,04	2,74	0,75

тельства, стоимостные показатели системы и оборудования, включает экономические условия реализации проекта и т.д. Он представляет собой отношение годовых издержек к стоимости падающей за год (сезон) солнечной радиации и может быть назван "коэффициентом экономической эффективности системы":

$$\eta_{\text{эк}} = \frac{e \cdot K}{q_{\text{пад}} \cdot c_{\text{T}}} \quad (11)$$

Условие эффективности внедрения ССТ из выражения (3) можно переписать в виде

$$\eta_{\text{эк}} < \eta, \quad (12)$$

и ввести понятие фактора технико-экономической эффективности ССТ, равного

$$f_{\text{эк}} = 1 - \eta_{\text{эк}}/\eta, \quad (13)$$

величина которого при отсутствии экономической эффективности ССТ близка к 0 и увеличивается, приближаясь к 1, по мере ее роста.

Выражение (12) объединяет для технико-экономического анализа технические показатели системы, выражающиеся в виде КПД, с комплексом величин, влияющих на экономические показатели проекта, а выражение (13) позволяет дать численную оценку полученным результатам.

Включение в ССТ теплового насоса, широко распространенное в настоящее время, приводит к необходимости введения в расчет величины его коэффициента преобразования φ и стоимости электроэнергии $c_{\text{э}}$. При этом количество теплоты, выработанной солнечно-

теплонасосной установкой (СТНУ), можно с учетом (4) найти из выражения

$$Q_{\text{стну}} = \varphi / (\varphi - 1) \cdot A \cdot \eta \cdot q_{\text{пад}} \quad (14)$$

Экономическая эффективность СТНУ по критерию приведенных затрат может быть определена аналогично выражению (3).

$$\Delta Z = Q_{\text{стну}} \cdot c_{\text{T}} - e \cdot K - Q_{\text{стну}} \cdot c_{\text{э}} / \varphi \geq 0. \quad (15)$$

Условие эффективности внедрения СТНУ из выражения (15) с учетом (9) и (10) можно записать в виде:

$$r \cdot \eta_{\text{эк}} < \eta, \quad (16)$$

где r — безразмерный коэффициент, учитывающий отношение тарифов на тепловую и электрическую энергию и величину коэффициента преобразования теплового насоса:

$$r = \frac{1 - \frac{1}{\varphi}}{1 - \frac{1}{\varphi} \frac{c_{\text{э}}}{c_{\text{T}}}} \quad (17)$$

Из выражения (17) следует необходимость выполнения условия

$$\varphi > c_{\text{э}}/c_{\text{T}} \quad (18)$$

При этом, чем меньше величина r , тем легче выполняется условие (16).

Фактор технико-экономической эффективности СТНУ определится из выражения

Таблица 2. Итоговые сравнительные экономические характеристики ССТ

№ пп	Тип системы	Единицы измерения	Стоимость единицы, тыс.дол. США	Годовая выработка на единицу, МВт·ч/год	Стоимость выработанной энергии, дол/МВт·ч	Количество замещаемого топлива, т.у.т/ед	Срок окупаемости лет
1	Солнечные приставки к котельным	МВт	60,0-70,0	550	8,5-10,0	90-130	6-8
2	Системы горячего водоснабжения	м ³ /сут	1,5-3,0	8,0-10,0	9,5-12,0	1,5-2,5	9-11
3	Термосифонные установки горячего водоснабжения	м ³ /сут	1,5-2,5	7,5-9,5	9,5-12,5	1,3-2,0	10-12

$$f_{\text{эк}} = 1 - r \cdot \eta_{\text{эк}} / \eta, \quad (19)$$

а срок окупаемости СТНУ определяется из (9) с учетом (17)

$$t_{\text{стну}} = \frac{t_{\text{пред}}}{r \cdot \eta_{\text{стну}} - \eta_{\text{эк}}}. \quad (20)$$

Можно перейти к обобщенной безразмерной записи величины срока окупаемости для любого типа ССТ, причем если СТНУ предназначена для работы в системе электротеплоснабжения, то $s_{\text{э}} = s_{\text{т}}$ и $r = 1$

$$\frac{t}{t_{\text{пред}}} = \frac{1}{\hat{\eta} - \eta_{\text{эк}}}, \quad (21)$$

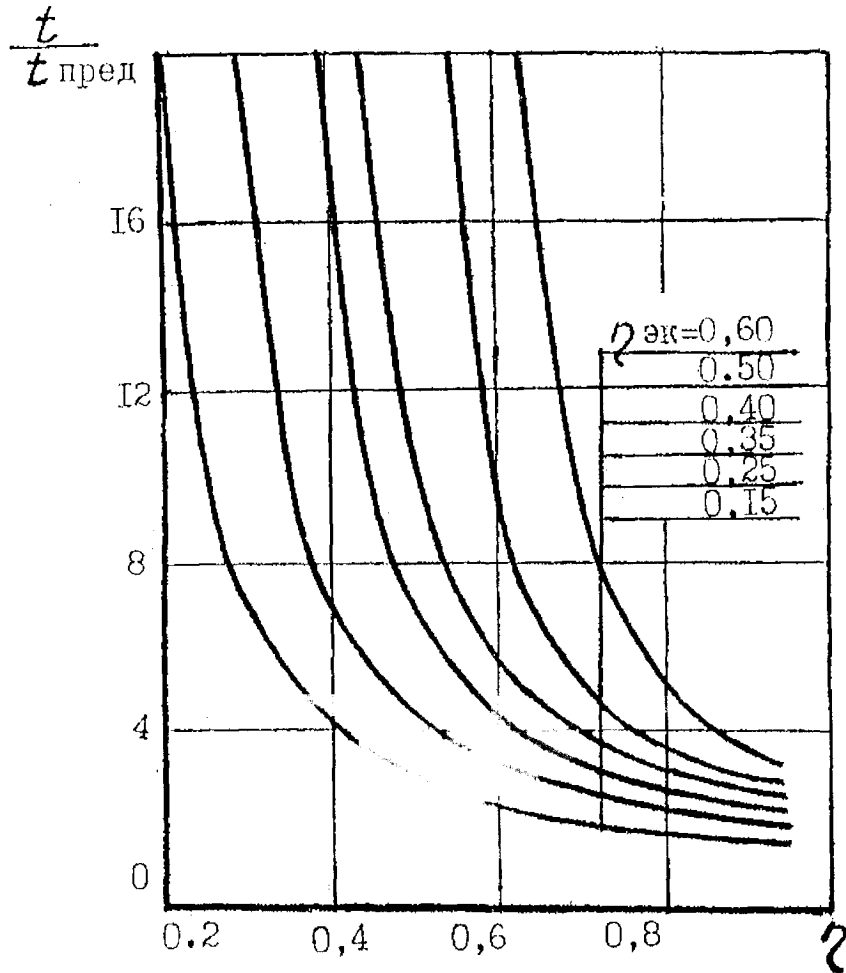
где $\hat{\eta} = \begin{cases} \eta & \text{— для ССТ} \\ r\eta & \text{— для СТНУ} \end{cases}$

Графики уравнения (21) приведены на рисунке. Они позволяют, зная выражения для КПД ССТ и СТНУ [4], провести предварительную оценку эффективности их устройства на начальной стадии разработки.

Используя данную методологию, выполнены расчеты экономической эффективности ряда экспериментальных (включая результаты натурных испытаний) и типовых проектов ССТ различного назначения. На основании полученных данных в табл. 2 даны итоговые сравнительные экономические характеристики ССТ, используемые для расчетов и включенные в программные документы.

Как следует из таблицы, сроки возврата вложенных в ССТ средств, определенные только по экономии замещаемого топлива (теплоты), достаточно велики, а в некоторых случаях они могут вообще не вернуться, что делает проблематичным (без учета экологических составляющих эффекта и мер экономической поддержки) широкое использование солнечной энергии на Украине.

Такое положение характерно для всех стран мира, по-



этому везде, где ССТ широко применяются, их внедрение сопровождается государственной поддержкой через меры экономического стимулирования в различных формах: инвестиционные субсидии (Франция, Германия), льготное налогообложение (Дания, США, Швеция, Япония), льготные кредиты и гранты. С целью повышения конкурентоспособности возобновляемых источников энергии практически во всех экономически развитых странах (кроме США и Японии) введены налоги на использование органического топлива, т.н. экологические налоги. Очевидно, для расширения объемов внедрения и в Украине необходимо принять меры экономического стимулирования, которые предусмотрены Законом Украины "О энергосбережении".

1. *Определение экономической эффективности капиталовложений в энергетику. — Методика. Общие экономические положения. — Киев: Минэнерго Украины, 1995. — 48 с.*
2. *Нормы амортизационных отчислений по основным фондам. — М., Стройиздат. — 1974. — 7с.*
3. *Рабинович М.Д. Економічні показники систем теплопостачання з нетрадиційними джерелами енергії та методика їх розрахунку // Економіка України. — 1997. — N10. — С. 24-29.*
4. *Рабинович М.Д., Ферт А.Р. Проектирование систем солнечного теплоснабжения // Системы солнечного тепло-хладоснабжения. Сб. науч. тр. — М.: Стройиздат, 1990. — С. 143-192.*