

Х. О. Дерейко, Н. І. Козяр, З. С. Одноріг  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра екології та збалансованого природокористування

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЗА МЕТОДОЛОГІЄЮ ОЦІНЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

© Дерейко Х. О., Козяр Н. І., Одноріг З. С., 2015

Проналізовано дослідження з оцінювання екологічного впливу сонячних колекторів за методологією оцінювання життєвого циклу та визначено екологічний вплив установки із використанням сонячної енергії для потреб комбінату харчування Національного університету “Львівська політехніка”. Оцінено екологічний вплив окремих етапів життєвого циклу сонячних колекторів та проаналізовано чутливість результатів. Доведено ефективність впровадження установки відновлюваних джерел енергії у Львівській політехніці порівняно з використанням традиційної енергетики.

**Ключові слова:** сонячна енергетика, сонячний колектор, оцінка життєвого циклу, оцінка екологічного впливу.

This paper presents the review of the existing studies on the assessment of the environmental impact of solar collectors based on the methodology of life cycle assessment and the analysis of environmental impact of the solar energy unit for the use of the food production facility of Lviv Polytechnic National University has been carried out. The assessment of environmental impact of certain stages of solar collectors life cycle and the results sensitivity analysis has been undertaken. The efficiency of the implementation of a renewable energy unit in Lviv Polytechnic National University as compared to the use of traditional power industry has been justified.

**Key words:** solar energy, solar collector, life cycle assessment, environmental impact assessment.

**Постановка проблеми.** Сьогодні в період економічної та екологічної криз на Україні питання енергозбереження як ніколи актуальні.

Більшість вищих навчальних закладів України займають доволі значні території. За площею ВНЗ може займати навіть не один міський квартал. На території студентського містечка зазвичай розташовано кілька навчальних і лабораторних корпусів, гуртожитків та адміністративних і допоміжних будівель. По суті, територія ВНЗ – це місто в місті.

Зрозуміло, що для функціонування такого великого комплексу будівель потрібно багато ресурсів, і насамперед енергетичних. Саме тому проблеми енергозбереження є одними з найважливіших проблем, що гостро стоять перед ВНЗ у сучасних економічних умовах. Адже суми, які має сплачувати заклад за спожиті теплову енергію, електрику, воду, обчислюються у мільйонах гривень щорічно.

Гострота проблеми енергозабезпечення для ВНЗ пов'язана з двома обставинами: 1) недостатнім бюджетним фінансуванням витрат (насамперед витрат на комунальні послуги, серед яких найвагомішими є витрати на енергопостачання) та 2) низькою енергоефективністю ВНЗ [3].

Впровадження екологічних стратегій у Національному університеті “Львівська політехніка” є необхідним для сталого розвитку. Сьогодні у Львівській політехніці здійснюють організаційні та технічні заходи з енергозбереження, зокрема встановлюють науково-виробничу установку поновлюваних джерел енергії для приготування гарячої води для потреб студентського комбінату харчування.

Створення нових екологічних стратегій, підвищення екологічної свідомості як студентів, так і співробітників університету – це їх внесок до сталого розвитку України.

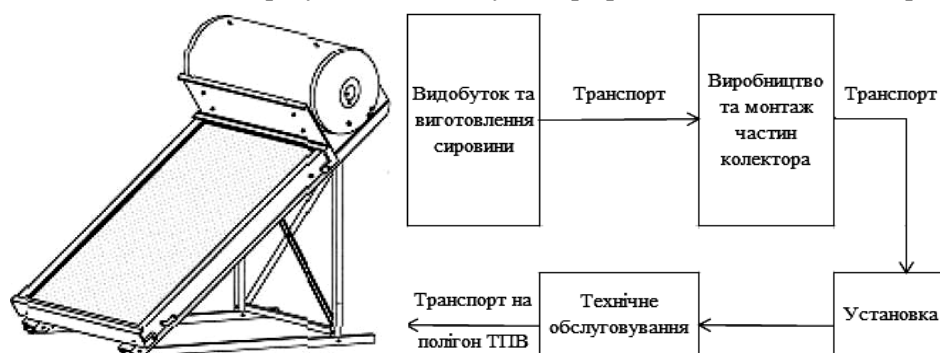
**Метою роботи** було дослідження екологічного впливу застосування вакуумного сонячного колектора за допомогою методології ОЖЦ. Результати цього аналізу екологічного впливу дають змогу оцінити ефективність впровадження установки поновлюваних джерел енергії для потреб Львівської політехніки та знайти шляхи можливого зменшення цього екологічного впливу.

Було проаналізовано літературні дані з оцінювання екологічного впливу сонячних колекторів за методологією ОЖЦ, а також екологічний вплив установки із використання сонячної енергії для потреб комбінату харчування Львівської політехніки.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У літературних джерелах [2, 4] наведено результати енергетичного та екологічного аналізу життєвого циклу сонячного колектора для приготування гарячої води для побутових потреб. У цих дослідженнях відповідно до методології ОЖЦ функціональна одиниця містить: поглинальний колектор, резервуар для води (ємність 180 л) і опору для кріплення на даху. Було досліджено такі фази життєвого циклу сонячного колектора:

- виробництво і постачання енергії та сировини для виробництва колектора, резервуара та опор;
- процес виробництва установки;
- монтаж;
- експлуатація та технічне обслуговування;
- утилізація;
- транспортування.

На рис. 1 показано синтез результатів аналізу екопрофілю сонячного колектора.



Вхідні потоки протягом усього ОЖЦ					
Оцинкована сталь	112,6	кг	Сталь	1	кг
Теплоносій	37,5	кг	Поліетилен високої густини	0,9	кг
Нержавійна сталь	29,1	кг	Поліетилен низької густини	0,8	кг
Мідь	13,6	кг	Магній	0,72	кг
Скло	10,5	кг	Електроди	0,3	кг
Жорсткий поліуретан	9	кг	Латунь	0,14	кг
Алюміній	4	кг	Гнучкий поліуретан	0,03	кг
Картон	3	кг	ПВХ	0,03	кг
Епоксидний пил	1,1	кг			

Основне споживання енергії		
Невідновлювані ресурси		
Вугілля	кг	193,7
Природний газ	нм <sup>3</sup>	42,8
Кокс	кг	1,5
Деревина	кг	7,6
Буре вугілля	кг	39,2
Нафта	кг	88,8
Уран	кг	0,001
Відновлювані ресурси	МДж	673,8
Енергія палива	ГДж	10
Енергія сировини	ГДж	1,5
Загальна первинна енергія	ГДж	11,5

Рис. 1. Синтез результатів аналізу еко-профілю сонячного колектора [4]

<b>Основні викиди в атмосферу</b>		
CO <sub>2</sub>	кг	657
CO	кг	4,5
SO <sub>2</sub>	кг	3,6
CH <sub>4</sub>	кг	2,2
NO <sub>x</sub>	кг	1,8
пил	кг	0,6
Неметанові леткі органічні сполуки	кг	0,3
Mn	кг	0,3
Cr (заг)	г	10,7
Ni	г	5,1
<b>Основний потенціал впливу</b>		
Потенціал глобального потепління	кг екв CO <sub>2</sub>	721
Потенціал закислення	кг екв SO <sub>2</sub>	4,9

<b>Водні забрудники</b>		
ХПК	кг	18,1
Fe	г	49,8
Mg	г	16,4
K	г	7,8
NH <sub>3</sub>	г	4,8
P	г	1,4
Cr	г	1,1
Pb	г	0,5
Na	г	0,4
Ni	г	0,4
<b>Обсяг відходів</b>		
Звичайні відходи	кг	59,5
Специфічні відходи	кг	12,1

Рис. 1. (Продовження). Синтез результатів аналізу еко-профілю сонячного колектора [4]

Аналіз показав, що споживання загальної первинної енергії становить близько 11,5 ГДж, яке в основному пов'язане з виробництвом поглинального колектора (32,2 %) та бака для води (38,7 %). Також значним є внесок в енергетичний баланс технічного обслуговування (11,6 %), виробництва опори (9,6 %) та транспортування сировини (3,0 %). Впливають на довкілля переважно викиди в атмосферу.

#### **Аналіз чутливості вхідних матеріалів**

Втілена енергія вхідних матеріалів представляє близько 80 % від загального споживання.

Таблиця 1

#### **Відсоток енергії, втіленої матеріалами, у загальному енергетичному балансі сонячного колектора**

Матеріал	Енергетичний відсоток (%)
Оцинкована сталь	37,2
Теплоносій	12,6
Мідь	9,8
Сталь	9,3
Жорсткий поліуретан	7,6
Алюміній	5,0
Картон	2,0
Магній	1,6
Епоксидний пил	1,4
Скло	1,3
Поліетилен (високої густини)	0,6
Поліетилен (низької густини)	0,6
Латунь	0,1
Гнучкий поліуретан	0,03
ПВХ	0,02

### Оцинкована сталь

Оцинкована сталь є основним компонентом функціональної одиниці, якому належить значний відсоток вмісту енергії, що приблизно становить 37 % від загального енергетичного балансу. Оцинкована сталь містить близько 38 МДж втіленої енергії і 2,4 кг CO<sub>2</sub>. Залежно від процесу виробництва сталі показники енерговмісту та викидів CO<sub>2</sub> можуть значно змінюватись.

### Теплоносій (вода+ пропіленгліколь)

З метою уникнення проблем заморожування в холодну пору року для функціонування колектора використано близько 12,5 кг теплоносія, що складається з суміші води і пропіленгліколю.

Склад рідкої суміші може змінюватися від 20 % (використовуваний в теплих районах) до 50 % гліколю (у районах з низькою температурою в зимовий сезон). На рис. 2 зображено, як змінюється енерговміст теплоносія (відсоток втіленої енергії) і обсяги викидів CO<sub>2</sub> залежно від складу використаного теплоносія.

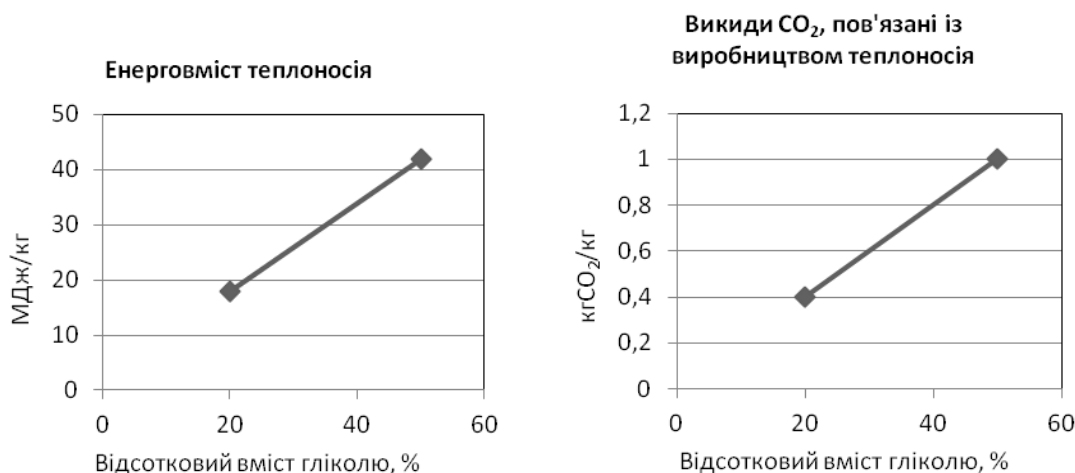


Рис. 2. Енерговміст і викиди CO<sub>2</sub> залежно від процентного вмісту гліколю у теплоносії [4]

### Алюміній

Внаслідок високої питомої витрати, пов'язаної з виробництвом, алюміній відчутно впливає на загальний енергетичний баланс вхідних матеріалів. Алюміній отримують з оксидів алюмінію за допомогою електролітичних процесів, які, своєю чергою, вимагають залучення великої кількості електроенергії. Крім того, у виробничому процесі використовують значну кількість бокситів (4кг бокситу на 1 кг алюмінію), привезених з-за кордону із подальшим великим впливом транспорту.

Використання рециклізованого алюмінію значно знижує показники впливів. Спостерігається велика різниця споживання енергії для виробництва первинного алюмінію (184 МДж/кг) і вторинного алюмінію (17 МДж/кг).

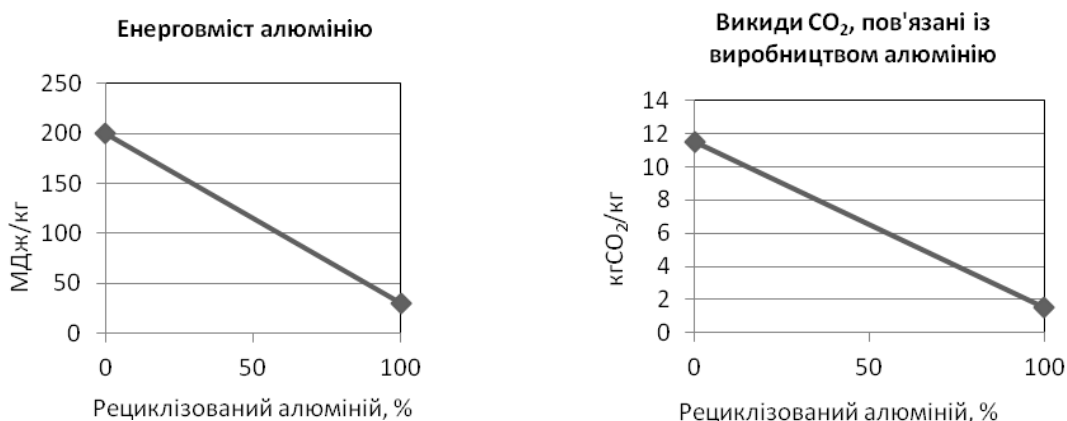


Рис. 3. Енерговміст і викиди CO<sub>2</sub> залежно від процентного вмісту рециклізованого алюмінію [4]

Алюмінієвий лист використовується для обмотування внутрішньої рамки сонячного колектора. Споживання енергії таким алюмінієвим листом становить 11 МДж/кг.

На рис. 3 зображено графік зміни енерговмісту і викидів CO<sub>2</sub>, залежно від того, скільки буде використовуватись рециклізованого алюмінію для виготовлення сонячного колектора.

#### **Мідь**

У нашому дослідженні мідь використовується для виготовлення поглинальної пластини і циркуляційної трубки сонячного колектора. Показники впливів, пов'язаних з виробництвом міді, дуже відрізняються залежно від виду виробничого процесу (плавлення, електроліз, повторне використання). Значення впливів коливаються в межах 23 % для енерговмісту та 29 % для викидів CO<sub>2</sub>.

Мідні частини, що використовуються у сонячному колекторі, мають такі показники: енерговміст мідних частин становить 1 ГДж (з похибкою  $\pm 0,230$  ГДж ) та обсяги викидів у розмірі 649 кг CO<sub>2</sub> (з похибкою  $\pm 18$  кг CO<sub>2</sub>).

У результаті аналізу чутливості вмісту вхідних матеріалів можна зробити висновок, що впливи, пов'язані з вхідними матеріалами, можуть істотно вплинути на екопрофіль функціональної одиниці. Глобальне споживання енергії може змінюватися приблизно на 20 % від його номінального значення (11,0 ГДж). Обсяги викидів CO<sub>2</sub> можуть змінюватися приблизно на 17 % від номінального значення (700 кг CO<sub>2</sub>). Оцинкована сталь є домінуючим матеріалом, зміна впливу якого є найбільшою. Він відповідає за 40 % від загальних змін споживання енергії і 50 % змін, що пов'язані з викидами CO<sub>2</sub>. Вміст поліуретану, магнію та картону незначно впливають на екологічний профіль установки (діапазон варіацій менше 5 %). І, навпаки, велика мінливість екопрофіль спостерігається при зміні вмісту алюмінію, міді та теплоносія (коливання від 10 % до 20 %) [2].

#### **Аналіз чутливості фаз ОЖЦ**

На рис. 4 подано відсотковий вміст усіх складових життєвого циклу системи в перерахунку на енерговміст від загального енергетичного балансу системи і викиди CO<sub>2</sub>.

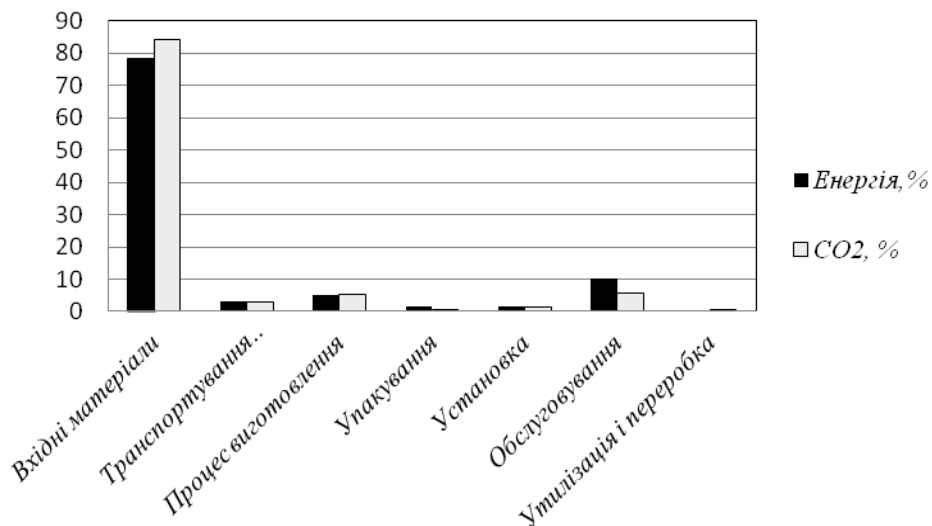


Рис. 4. Відсоток впливів фаз ОЖЦ установки сонячної енергетики на загальний енергетичний баланс і викиди CO<sub>2</sub>

Аналізуючи рис. 4, можна зробити такі висновки:

– вхідні матеріали є домінуючою складовою загального енергетичного балансу і викидів CO<sub>2</sub> (в середньому 80 %);

– фаза обслуговування значно впливає на енергетичний баланс (близько 10 %), який переважно пов'язаний із заміною запасних частин;

– вплив фази обслуговування на баланс CO<sub>2</sub> є низьким (5 %). Це пояснюється використанням такого типу теплоносія (пропіленгліколю), що значно впливає на енергетичний баланс (у фазі виготовлення сировини) і незначно – на баланс CO<sub>2</sub>;

– незначними є впливи на стадіях виготовлення, пакування та установки сонячного колектора;  
– утилізація та переробка складових установки є незначними процесами в енергетичному балансі та балансі CO<sub>2</sub>.

#### ***Транспортування матеріалів***

На транспортування матеріалів припадає приблизно 3 % від загального впливу на довкілля. Умови аналізу передбачають перевезення мас на відстані винятково дизельними вантажівками. За функціональну одиницю було взято “т\*км”, тобто перевезення 1 тонни вантажу на 1 км відстані. За результатами проведених досліджень, вплив на загальний енергетичний баланс і баланс CO<sub>2</sub> коливається в межах від 2,5 % до 5 %. Значне зростання впливу пов’язане з міжрегіональними перевезеннями.

#### ***Екопрофіль використання електроенергії для цієї установки***

Виробничий процес переважно складається з таких операцій, як різання, згинання, зварювання та монтаж частин сонячного колектора. Електрика є єдиним джерелом енергії для безпосередньо використовуваних в процесі виробництва операцій. Споживання енергії може змінюватись в межах від 540 до 610 МДж, а обсяги викидів CO<sub>2</sub> – від 22 до 40 кг CO<sub>2</sub>. Екологічний вплив виробничого процесу в результаті використання електроенергії коливається в межах 5–6 %, а обсяги викидів змінюються від 3 до 7 %.

#### ***Аналіз чутливості екопрофілю на етапі монтажу установки***

Вплив етапу монтажу установки на екопрофіль колектора є незначним. Відсотковий вміст втіленої енергії на етапі монтажу установки становить 1–2 % від загального енергетичного балансу і 1–3 % від викидів CO<sub>2</sub>.

#### ***Аналіз чутливості екопрофілю на етапі обслуговування***

Процеси обслуговування становлять близько 10 % від загального енергетичного балансу. Такий показник спричинений заміною деяких колекторних частин, таких як магнієвий анод і електричний опір (піддається корозії), ущільненням прокладок і теплоносія.

Пропіленгліколь є основним компонентом, що відповідає за екологічний вплив на етапі обслуговування. Високі температури під час літнього сезону можуть привести до випаровування рідини. Крім того, протягом тривалого періоду експлуатації теплові властивості рідини можуть змінюватись. Залежно від відсоткового вмісту пропіленгліколю, який підлягає заміні, і кількості таких замінів, фаза обслуговування становить від 5 до 10 % від загального енергетичного балансу і від 4 до 8 % викидів CO<sub>2</sub>.

#### ***Аналіз основних результатів***

Враховуючи зміни екопрофілю сонячного колектора залежно від складу вихідних матеріалів, було підраховано, що:

– глобальне споживання первинної енергії може змінюватись від 8,9 до 13,0 ГДж, з діапазоном зміни близько 20 % від визначеного значення 11,0 ГДж;

– викиди CO<sub>2</sub> можуть змінюватись від 581 до 815 кг CO<sub>2</sub> з варіацією в діапазоні близько 17 % від визначеного значення 700 кг CO<sub>2</sub>.

Щодо внеску кожного етапу життєвого циклу сонячного колектора до загального споживання енергії та викидів CO<sub>2</sub>, отримано такі результати:

– вплив транспорту на загальний енергетичний баланс та баланс CO<sub>2</sub> коливається від 2,5 % до 5 %; значний вплив пов’язаний з міжрегіональними перевезеннями;

– вплив процесу виробництва на загальне споживання енергії є незначним (від 5 % до 6 %), тоді як викиди CO<sub>2</sub> коливаються від 3 % до 7 % від балансу CO<sub>2</sub>;

– вплив процесу установки (монтажу) сонячного колектора на загальний енергетичний баланс коливається від 1 % до 2 %. Щодо балансу CO<sub>2</sub>, коливання можливе у межах від 1 % до 3 %;

– на етапі обслуговування здійснюється доволі значний вплив, що у загальному енергетичному балансі варіює від 5 % до 10 %. У балансі вуглекислого газу у результаті змін в

процесі обслуговування варіації можливі від 4 % до 8 %. Зазначено, що навіть часткова заміна теплоносія характеризується значним впливом на енергетичний баланс та баланс CO<sub>2</sub>.

#### ***Дослідження щодо оцінювання життєвого циклу установки із застосуванням сонячної енергії Львівської політехніки***

Окрім аналізу екологічного впливу сонячного колектора, автори статті дослідили життєвий цикл установки із застосуванням сонячної енергії для приготування гарячої води для потреб студентського комбінату харчування Львівської політехніки. Аналіз було проведено із використанням для ОЖЦ програми SimaPro 7.

У результаті проведеного дослідження було зроблено такі висновки:

– екологічний вплив інфраструктури науково-виробничої установки Львівської політехніки є набагато більшим порівняно з етапом експлуатації установки, хоча цей вплив інфраструктури установки здійснюється лише 1 раз протягом усього терміну експлуатації. З кожним роком функціонування установки екологічний вплив інфраструктури пропорційно зменшує свій відсотковий вміст у загальному балансі впливів;

– хоча для функціонування науково-виробничої установки необхідна електроенергія, але вплив цієї установки на основі застосування сонячної енергії, беззаперечно, суттєво зменшується, ніж у випадку використання для потреб студентської їдальні енергії традиційних видів. Використання електроенергії із традиційних видів палива, яка необхідна для функціонування установки поновлюваних джерел енергії, має найбільший вплив за всіма категоріями збитків. Необхідно зауважити, що для функціонування установки необхідно більш як утричі менше електроенергії для продукування теплової енергії зі сонячної;

– великі показники збитків для людського здоров'я пов'язані із самими технологічними процесами виробництва електроенергії. Збитки для ресурсного потенціалу зумовлені використанням великих обсягів кам'яного вугілля як сировини для продукування електроенергії;

– використання альтернативних джерел енергії з екологічного погляду є гідною заміною традиційній енергетиці. Альтернативна енергетика дасть змогу знизити негативні екологічні впливи до мінімуму, що, своєю чергою, є значним внеском до процесу збалансованого розвитку.

*1. Role of Alternative Energy Sources: Solar Thermal Technology Assessment DOE/NETL-2012/1532 August 28, 2012 NETL Contact: Timothy J. Skone, P. E. Senior Environmental Engineer, Office of Strategic Energy Analysis and Planning, National Energy Technology Laboratory, www.netl.doe.gov.*  
*2. Fulvio Ardente, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura, Valerio Lo Brano/ Life Cycle Analysis of solar thermal collector (Second part: Sensitivity Analysis of Results)/ International Energy Agency. September 2003.*  
*3. Сафіуліна К. Р., Колієнко А. Г., Тормосов Р. Ю. Енергозбереження в університетських містечках: посібник для студентів вищих закладів освіти. – К.: ТОВ “Поліграф плюс”, 2010. – 328 с.*  
*4. Fulvio Ardente, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura, Valerio Lo Bran. Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitive analysis, energy and environmental balances. Renewable Energy 30 (2005) 109-130.*