

УДК 504.064.2

СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ УКРАИНЫ ПРИ СЕЗОННОМ ГВС

Ю.Ю. Климова¹, препод., В.В. Макаров², к.т.н., А.Д. Баландович², маг.

¹*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности*

²*Севастопольский национальный технический университет*

Выполнена интегральная оценка состояния атмосферного воздуха рекреационных территорий Украины при сжигании углеводородного топлива при обеспечении сезонного горячего водоснабжения. Установлена математическая связь использования автономных солнечных установок с количеством замещаемого топлива. Обоснована целесообразность использования одноконтурных систем солнечного горячего водоснабжения как приставок к котельным.

Введение

Проблема снижения техногенной нагрузки и охраны воздушной среды является особенно значимой для рекреационных территорий Украины в летний период, где атмосферный воздух является не только одним из компонентов окружающей природной среды, но и важным оздоравливающим фактором.

Так, например, для Крымского рекреационного региона, где сконцентрировано около 30 % рекреационных ресурсов Украины характерно высокое содержание в воздухе гидроаэроионов, озона и морских солей, фитонцидов курортной флоры, что оказывает десенсибилизирующее, противовоспалительное и антисептическое действие и используется при терапевтическом лечении хронических заболеваний органов дыхания [1].

Основные компоненты загрязнения атмосферного воздуха выбрасываются в атмосферу одиночными источниками выбросов при сжигании в котельных углеводородного топлива для обеспечения горячего водоснабжения (ГВС) рекреационных объектов в неотапительный период, то есть в период высокого сезона.

Атмосферный воздух загрязняется комплексом веществ, находящихся в газовой и аэрозольной фазах. В исследованиях [2] выявлена корреляционная зависимость между повышенной концентрацией окислов азота и обострением хронических легочных заболеваний в месяцы май, июнь, июль и сентябрь.

В этой связи целесообразно рассмотреть возможность снижения техногенной нагрузки на атмосферный воздух рекреационных территорий Украины при сезонном ГВС. Рассматривается Севастопольский регион, где располагается более 200 санаторно-курортных объектов, функционируют 64 гостиницы и гостевых дома, 4 автокемпинга и 4 мотеля, 9 яхт-клубов, ряд туристских стоянок, сдаются внаем апартаменты и частные виллы [3].

Коммунальная инфраструктура большинства туристическо-рекреационных регионов Украины характеризуется значительным количеством автономных котельных малой мощности с низким КПД и отсутствием пылегазоочистных установок. При сезонном ГВС используется низкосортное топливо, что связано, в первую очередь, с вы-

сокой ценой качественного топлива. В этих условиях замещение углеводородных энергоресурсов возобновляемыми источниками энергии является весьма актуальным.

В практике использования солнечной энергии для преобразования в тепловую нашли широкое применение плоские солнечные коллекторы (СК), а также, в последние годы вакуумно-трубчатые СК. Из них формируется так называемое гелиополе. Гелиополе и инфраструктура к нему (опорные конструкции, насосы, датчики, трубопроводы и др.) образуют солнечную установку (гелиоустановку).

Автономные солнечные установки для систем ГВС находят широкое применение в основном для частных домов, коттеджей и т.п. В Украине действует стандарт [4], предусматривающий принципиальные схемы систем солнечного ГВС, схемы расположения СК на плоскостях, которые наклонены к горизонту под углом. При этом не рассматривается связь использования солнечных установок с количеством замещаемого углеводородного топлива и соответствующего снижения выбросов вредных веществ в атмосферный воздух. В [4] отсутствуют рекомендации оптимального размещения гелиополя в зависимости от климатических условий.

Постановка цели и задачи научного исследования

Цель научного исследования – оценить техногенную нагрузку на атмосферный воздух рекреационных территорий Украины при эксплуатации автономных котельных для систем ГВС, исследовать эффективность работы одноконтурных систем солнечного ГВС в неотапливаемый период.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить экологическую оценку состояния атмосферного воздуха рекреационных территорий Украины при сжигании углеводородного топлива при обеспечении сезонного ГВС;
- исследовать эффективность работы сезонных систем солнечного ГВС на примере климатических условий Севастопольского рекреационного региона;
- обосновать целесообразность использования СК как приставок к котельным в качестве мероприятия по улучшению экологической безопасности воздушной среды рекреационных территорий.

Результаты исследований и их анализ

В работе использовались среднестатистические данные по климатологии [5], а также был применен расчетно-аналитический метод с использованием уравнений теплового баланса и теплопередачи.

В соответствии с данными Госкомстата Украины на территории страны в 2009 году функционировало 29592 рекреационных объекта.

На основании анализа установлено, что потребление условного топлива рекреационными объектами Украины в течение сезона составляет 2,5 млн т.

Годовые валовые выбросы j -го вещества условного топлива определялись в соответствии с [6]:

$$B_j = 10^{-3} \cdot B_y \cdot E_j, \quad (1)$$

где B_y – количество потребляемого условного топлива в год, т;

E_j – удельный выброс j -го вещества на 1 т сжигаемого условного топлива, кг/т.

В свою очередь E_j представляет

$$E_j = k_j \cdot Q_n^y, \quad (2)$$

где k_j – показатель эмиссии j -го загрязняющего вещества при сжигании 1 кг условного топлива, г/ГДж;

Q_n^y – нижняя рабочая теплота сгорания условного топлива, $Q_n^y = 29,303$ МДж/кг.

Показатели эмиссии определялись в соответствии с [6]. При этом для условного топлива содержание элементов принято: сера – 2,35, углерод – 3,5, кислород – 4,99, азот – 0,92, зола – 25,2, влага – 10, летучие вещества – 25,92 процентов. Рассчитанные данные стандартных выбросов при сжигании условного топлива в количестве 2,5 млн т приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатели эмиссии и годовые валовые выбросы некоторых загрязняющих веществ, тыс. т

Загрязняющее вещество	Твердые вещества	SO ₂	NO _x	CO ₂	CO
Показатель эмиссии, k_j , г/ГДж	9998	2784	193	93409	11,4
Годовые валовые выбросы, B_j , т	732,3	203,9	14,1	6842,2	0,835

Выход в атмосферу тяжелых металлов связан с присутствием в минеральной части топлива их соединений. К тяжелым металлам, соединения которых наиболее вредны для окружающей среды, относятся: арсен (As), кадмий (Cd), хром (Cr), медь (Cu), ртуть (Hg), никель (Ni), свинец (Pb), селен (Se), цинк (Zn). В частицах летучей золы большинство этих элементов встречаются в виде оксидов и хлоридов.

Во время сжигания условного топлива показатель эмиссии тяжелого металла $k_{т.м.}$, г/ГДж, который является специфическим, определяемым по [6]:

$$k_{т.м.} = \frac{c_{т.м.}}{Q_n^y} [a_{\text{вых}} f_{зб}], \quad (3)$$

где $c_{т.м.}$ – массовое содержание тяжелого металла в топливе, мкг/кг;

$f_{зб}$ – коэффициент обогащения тяжелого металла.

Расчетные данные по выбросам металлов в атмосферу представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели эмиссии и годовые валовые выбросы металлов в атмосферу, тыс. т

Тяжелый металл	As	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Показатель эмиссии, $k_{т.м.}$, г/ГДж	0,54	1,28	0,79	0,0038	0,7	0,38	,092
Годовые валовые выбросы, B_j , т	3,95	93,7	5,87	0,278	51,2	27,8	79,9

Для интегральной оценки состояния воздушного бассейна рекреационных территорий Украины использован индекс суммарного загрязнения атмосферы от условного одиночного источника (J_m):

$$J_m = \sum_{i=1}^m \left(\sum \bar{C}_j \cdot A_j \right)^{k_j}, \quad (4)$$

где $\sum \bar{C}_j$ – усредненная концентрация в воздухе j -го вещества при сжигании условного топлива в рассматриваемый период;

A_j – коэффициент опасности j -го вещества, обратный ПДК этого вещества;

k_j – коэффициент, зависящий от класса опасности веществ: $c_j = 1,5; 1,3; 1,0$ и $0,85$ соответственно для 1, 2, 3 и 4-го классов опасности;

m – количество загрязняющих веществ, принимаемых в расчете. Обычно m принимают не более пяти. В данном случае $m = 3$, это твердые вещества, SO_2 и NO_x .

Расчет усредненной за рассматриваемый период концентрации j -го вещества в воздушном бассейне рекреационных территорий Украины выполнялся в соответствии с [7]. При этом распределенные источники выбросов приведены условно к одному источнику выброса, с усредненной его высотой $H_{ср.} = 30$ м. Принималось допущение, что потребление топлива по месяцам в летнем периоде производилось равномерно. Для условного одиночного источника средняя за год концентрацию j -го вещества определяют, используя [7], по уравнению

$$c_j = 4,531 \cdot 10^{-2} \cdot M_j \cdot F, \quad (5)$$

где $M_j = 0,75 \cdot 10^6 \cdot B_j$, г/с; $F = 2$ для летучей золы и сажи; $F = 1$ для остальных веществ.

Рассчитанный суммарный индекс загрязнения атмосферы рекреационных территорий Украины от одиночных источников составил $J_m = 3,04$ (без учета влияния автомобильного транспорта).

Снижение технологической нагрузки на атмосферный воздух в неотапительном периоде (апрель - сентябрь) при обеспечении ГВС можно обеспечить путем использования солнечной энергии посредством создания гелиоустановок, служащих приставками к котельным агрегатам. В основе гелиоприставки используются солнечные коллекторы (СК).

Ниже рассматривается эффективность СК (плоских и вакуумно-трубчатых) по месяцам в зависимости от их угла наклона к горизонту.

Для одного квадратного метра гелиополя солнечного ГВС суммарное количество теплоты Q , ГДж, выработанное в течение сезона,

$$Q = 10^{-3} h \sum (z, n, i) g_i, \quad (6)$$

где g_i – среднедневной уровень радиации в расчетном месяце;

n – число дней в месяце;

z – расчетное количество месяцев работы гелиоустановки в течение сезона.

В соответствии с уравнением (6) существенную роль в количестве производимой гелиоустановкой теплоты играет среднемесячный коэффициент полезного действия (КПД) СК. В связи с этим был выполнен анализ изменения КПД СК плоского и вакуумно-трубчатого коллектора от их пространственного расположения. В этом случае котельный агрегат является дублирующим источником. Анализ выполнен для климатических условий Севастопольского региона.

При этом учитывалось, что СК направлен на юг, угол наклона его к горизонту будет меняться в пределах 30° , 45° , 60° . Сравнение проводилось с КПД СК, лежащим на поверхности кровли горизонтально. Отметим, что для ориентации СК в пространстве в со-

ставе гелиоустановки требуются опорные конструкции, затраты на которые составляют 10...15 % от общей суммы затрат.

При анализе принимались технические параметры плоского и вакуумно-трубчатого СК: плоского ($F' = 0.95$; $\alpha = 0,9$; $\beta = 0,86$; $U_L = 4.3 \text{ Вт/м}^2$) и вакуумно-трубчатого ($F' = 0.95$; $\alpha = 0,9$; $\beta = 0,86$; $U_L = 2,0 \text{ Вт/м}^2$). Температура в баке аккумулятора, согласно СНиП 2.04.01 - 85, должна составлять 55...60 °С.

Расчетные изменения КПД гелиоустановки сезонного действия по месяцам представлены на рис. 1.

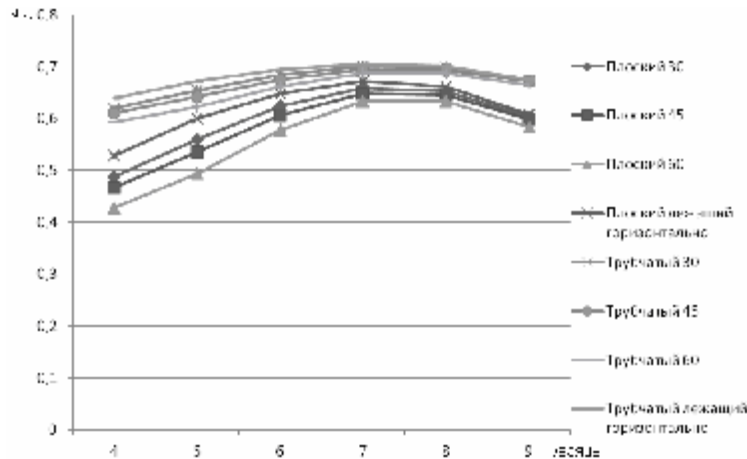


Рис. 1. График изменения КПД плоского и вакуумно-трубчатого СК по месяцам с различным углом наклона коллектора к горизонту для условий Севастопольского региона

Из рис. 1 видно, что образуется обратно пропорциональная зависимость КПД СК от угла наклона коллектора к горизонту. Если увеличивать угол наклона коллектора к горизонту, то КПД СК будет уменьшаться. Отсюда можно сделать вывод, что для климатических условий Севастопольского региона наиболее эффективными являются солнечные коллекторы, лежащие горизонтально. Таким образом, опорные конструкции не следует строить, и капитальные затраты при строительстве сезонных гелиоустановок можно сократить в пределах 10...15 %.

Далее рассчитывался процент замещаемого топлива по месяцам при наличии дублирующего источника энергии. При этом расчетным месяцем поверхности гелиополя по г. Севастополю принимается июль. То есть принималось допущение, что в июле месяце дублирующий источник энергии не включен. Таким образом, в июле гелиоустановка на 100 % замещала сжигание углеводородного топлива. Количество полезной теплоты, вырабатываемое 1 м² гелиополя в течение июля, составило

$$Q_{\text{июль}} = h_{\text{июль}} \cdot \sum_{i=1}^n q_{\text{июль}} \text{ кВт}\cdot\text{ч.} \tag{7}$$

Процент замещаемого топлива для других месяцев

$$f_i = \frac{Q_j}{Q_{\text{июль}}} = \frac{h_j \sum_{i=1}^n q_i}{q_{\text{июль}} \sum_{i=1}^n q_{\text{июль}}} \cdot 100. \tag{8}$$

Расчетные значения процента замещаемого топлива по месяцам (апрель – сентябрь) при различных углах наклона гелиополя к горизонту представлены на рис. 2, 3.

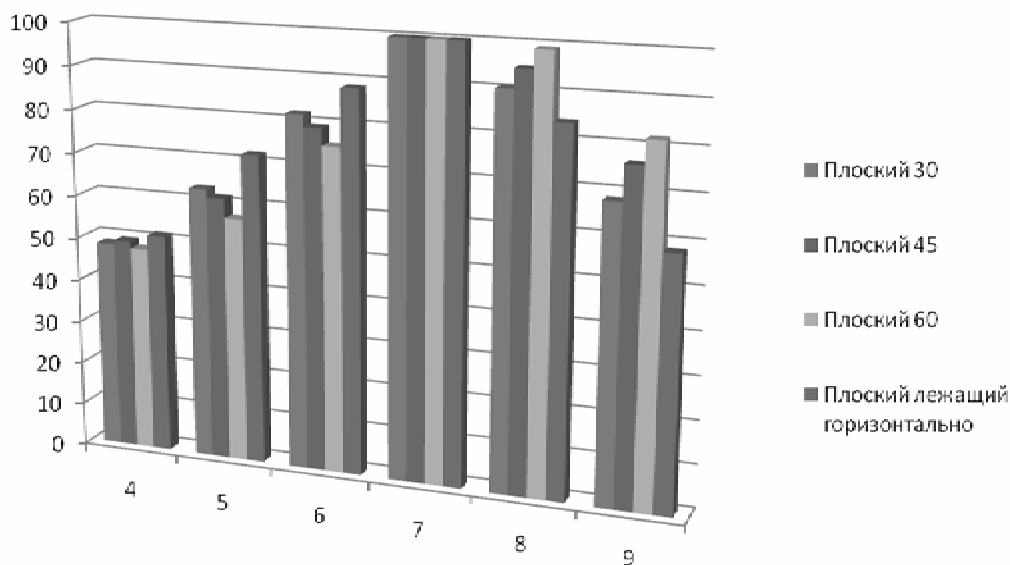


Рис. 2. Гистограмма замещаемого топлива, %, по месяцам с различными углами наклона коллекторов к горизонту для плоского солнечного коллектора при наличии дублирующего источника

Расчеты показали, что процент замещения углеродного топлива солнечной энергией в течение сезона составляет: для вакуумно-трубчатых СК – 78 %, для плоских 73 %.

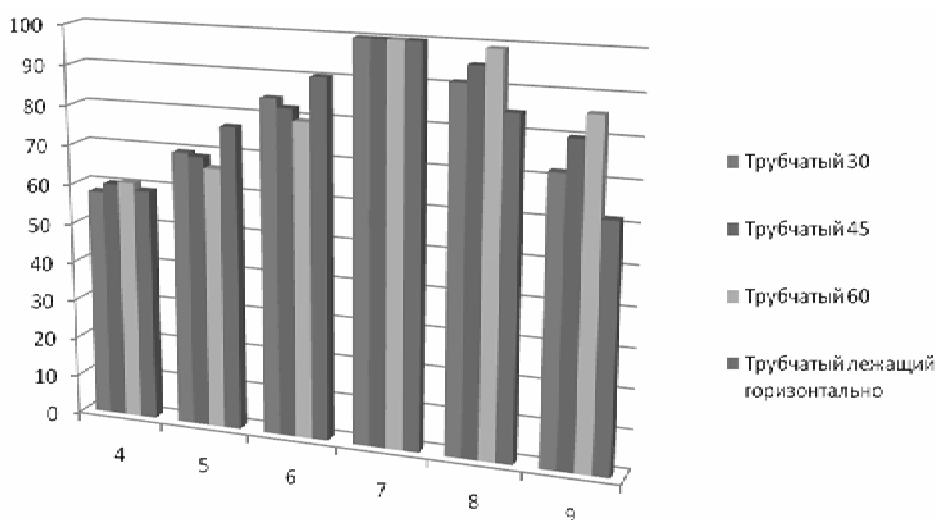


Рис. 3. Гистограмма замещаемого топлива, %, по месяцам с различными углами наклона коллекторов к горизонту для вакуумно-трубчатого солнечного коллектора при наличии дублирующего источника

При обеспечении ГВС рекреационных объектов традиционным способом, как указывалось выше, сжигается не менее 2,5 млн т условного топлива. В реальных условиях используют котельные агрегаты, работающие на твердом (уголь), на жидком (мазут), на газообразном (природный газ) топливах, в ряде случаев используются электронагреватели. В нашем примере котельный агрегат рассматривается как дублирующий источник, который, в свою очередь, имеет свой КПД. В соответствии с [4]: для котла, работающего на жидком топливе, $\eta_{ж} = 0,82$; для газового котла $\eta_{г} = 0,95$; для котла, работающего на угле, $\eta_{у} = 0,65$.

Для электронагревателя принималось условие, что количество используемой электрической энергии производилось на ТЭС при использовании природного газа. В этом случае общий КПД системы - ТЭС, ЛЭП, электронагревателя - будет составлять $\eta_3 = 0,3 \cdot 0,931 = 0,279$, где 0,3 - КПД ТЭС; 0,931 - произведение КПД ЛЭП и электронагревателя.

Тогда количество замещаемого топлива (кг/год) G_3 для рассматриваемых дублирующих источников можно определить так:

$$G_3 = 3,6 \cdot 10^{-3} \sum_{jn} h_k^j \cdot q_i(h_{д.и.} \cdot Q_y^H), \quad (9)$$

где n – числа дней в расчетном месяце;

j – число месяцев в рассматриваемом сезоне;

$\eta_{д.и.}$ – КПД дублирующего источника энергии;

Q_n^y – низшая теплота сгорания топлива дублирующего источника энергии, МДж/кг.

Принимаем в соответствии с [6], что низшая теплота сгорания донецкого угля марки А $Q_n^A = 24,3$ МДж/кг; мазута марки М-40 $Q_n^M = 40$ МДж/кг; природного газа $Q_n^Г = 47,5$ МДж/кг. При расчете условного топлива величину, полученную по уравнению (9), необходимо разделить на 29,3 МДж/кг.

С использованием уравнения (9) выполнен расчет количества замещаемого углеводородного топлива гелиоустановками при обеспечении ГВС рекреационных объектов в летний (сезонный) период. В этом случае количество замещаемого топлива для вакуумно-трубчатых СК составит 780 тыс. т у. т., при этом суммарный индекс загрязнения атмосферы от одиночных источников в рекреационных территориях Украины снизится до $J_m = 0,81$.

Выводы

1. Выполнена экологическая оценка состояния атмосферного воздуха рекреационных территорий Украины от выбросов загрязняющих веществ одиночных источников при сжигании углеводородного топлива при обеспечении сезонного ГВС. Получен индекс суммарного загрязнения атмосферы рекреационных территорий Украины ($J_m = 3,04$), который соответствует уровню слабозагрязненной атмосферы и ниже среднего индекса по Украине ($J_m = 8,1$). При его расчете не учитывалось влияние выбросов автотранспорта и предприятий, расположенных вблизи рекреационных объектов.

2. Исследована эффективность работы одноконтурных сезонных систем солнечного ГВС на примере климатических условий Севастопольского региона. Установлено, что угол СК к горизонту можно принять равным нулю, что позволит снизить затраты на строительство опорных конструкций для СК на 15 %.

3. Эксплуатация систем ГВС (с дублирующим источником) в неотапительный период позволит замещать 780 тыс. т у. т. и существенно снизить нагрузку на ОС.

4. Полученные результаты имеют научно-практическое и социальное значение и могут быть использованы при определении приоритетов, в разработке стратегии снижения загрязнения воздушной среды рекреационных территорий Украины.

ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ РЕКРЕАЦІЙНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ ПРИ СЕЗОННОМУ ГВП

Ю.Ю. Климова, В.В. Макаров, А.Д. Баландович

Виконана інтегральна оцінка стану атмосферного повітря рекреаційних територій України при спалюванні вуглеводневого палива під час забезпечення сезонного гарячого водопостачання.

Визначений математичний зв'язок використання автономних сонячних установок з кількістю заміщуваного палива. Обґрунтована доцільність використання одноконтурних систем сонячного гарячого водопостачання як приставок до котельних.

TECHNOGENIC LOADING REDUCTION on the ATMOSPHERIC AIR of the RECREATIONAL TERRITORIES in the UKRAINIAN during the SEASONAL HWS

Yu. Klimova, V. Makarov, A. Balandovich

The integral estimation of the atmospheric air state of the recreational territories of the Ukraine at the hydrocarbon firing during the seasonal hot water-supply was carried out. The mathematical connection of the autonomous solar stations application with the replaceable fuel amount was determined. The application reasonability of the one-loop hot water supply systems as the mounting attachment to the boiler rooms was validated.

Список использованных источников

1. Маньшина Н.В. Курортология для всех. За здоровьем на курорт / Н.В. Маньшина [и др.]. – М.: Вече, 2007. – 592 с.
2. Чучалин А.Г. Хронические обструктивные болезни легких / А.Г. Чучалин [и др.]. – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 1999. – 512 с.
3. Ресурсный потенциал, современное состояние и проблемы развития туристско-рекреационного комплекса г. Севастополь. USAID/UKRAINE [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://linc.com.ua/>.
4. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. Затв. Мінрегіонбуд України, наказ від 29.01.2010 р. – № 33.
5. Справочник по климату СССР. Украинская ССР. – Ч. 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние / Под ред. В.И. Гришко, Л.И. Мисюры. – Л.: Гидрометиздат, 1966. – Вып. 10. – 124 с.
6. Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – К.: КВІЦ, 2002. – 43 с.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 68 с.

Надійшла до редакції 24.07.2013 р.