

УДК 502.3:621.311.23

## ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**Маслеева О.В., Воеводин А.Г., Пачурин Г.В.**

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru*

Возобновляемые источники энергии оказывают значительно меньшую нагрузку на природную среду, практически не имея вредных выбросов в атмосферу и гидросферу. Их воздействие на окружающую среду по масштабу носит локальный характер. Основными источниками антропогенного теплового загрязнения являются предприятия тепловой энергетики. В процессе эксплуатации объектов малой энергетики происходит физическое (шум, вибрация, электромагнитное и тепловое излучение) и химическое загрязнение окружающей природной среды. Тепловое загрязнение характеризуется увеличением температуры выше естественного уровня. Техногенные изменения температурного режима могут ухудшать условия жизни и работы людей, а также усиливать коррозию материалов и повреждение тепло- и газопроводов, канализации и т.п. В работе приведены результаты исследования теплового загрязнения альтернативными источниками энергии окружающей среды. Показано, что минимальное тепловое загрязнение имеют мини-ГЭС, ветровые установки обладают невысоким тепловым загрязнением, солнечные установки имеют самый высокий уровень теплового загрязнения за счет низкого КПД. Однако эксплуатация солнечных энергоустановок не окажет отрицательного влияния на тепловой режим атмосферного воздуха.

**Ключевые слова:** энергетика, тепловое загрязнение окружающей среды, ветровые энергоустановки, солнечные энергоустановки, мини-ГЭС

## ALTERNATIVE SOURCES OF THERMAL EFFECTS ON THE ENVIRONMENT

**Masleeva O.V., Voevodin A.G., Pachurin G.V.**

*FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev»,  
Nizhny Novgorod, e-mail: PachurinGV@mail.ru*

Renewable energy sources have much less stress on the environment, with virtually no harmful emissions into the atmosphere and hydrosphere. Their impact on the environment on the scale of a local nature. The main sources of anthropogenic heat pollution are thermal power enterprises. During the operation of small power there is a physical (noise, vibration, electromagnetic and thermal radiation) and chemical pollution of the environment. Thermal pollution is characterized by an increase in temperature above the natural level. Man-made changes in temperature can worsen the conditions of life and work of people, as well as enhance the corrosion of materials and damage to the heat and gas pipelines, sewerage, etc. The paper presents the results of a study of thermal pollution alternative energy sources on the environment. It is shown that the minimum thermal pollution are mini-hydro, wind turbines have a low thermal pollution, solar plants have the highest level of thermal pollution due to the low efficiency. However, the exploitation of solar power will not adversely affect the thermal regime of air.

**Keywords:** energy, thermal pollution, wind power plants, solar power plants, mini-hydro power plants

Задачами Государственной программы «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы в России являются снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду на основе повышения экологической эффективности экономики.

По инициативе ООН в 2008 г. разработана концепция по «зеленой» экономике, которая будет обеспечивать повышение благосостояния людей, избегая возрастания риска для окружающей среды. «Зеленая» экономика соответствует принципам устойчивого развития. Приоритетными темами «зеленой» экономики являются: возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, оценка воздействия на окружающую среду.

Возобновляемые источники энергии оказывают значительно меньшую на-

грузку на природную среду, практически не имея вредных выбросов в атмосферу и гидросферу. Их воздействие на окружающую среду по масштабу носит локальный характер. Физические загрязнения, такие как шум, были рассмотрены в работе [7].

В данной работе приведены результаты исследования теплового загрязнения альтернативными источниками энергии окружающей среды.

Как известно, основными источниками антропогенного теплового загрязнения являются предприятия тепловой энергетики. Это приводит к изменению климата в городах, теплового режима гидросферы и верхних слоев литосферы. В работе [4] были исследованы мини-ТЭЦ с различными видами двигателей.

### Предмет и методика исследования

Тепловыми источниками воздействия на окружающую среду в данной работе считаются альтернативные источники энергии.

Энергия солнца, ветра, движения воды расходуется на производство электроэнергии и потери в энергоустановке, которые и составляют тепловое загрязнение.

Для проведения исследований были выбраны три различных типа энергоустановок на ВИЭ:

- ветрогенератор «Муссон» с установленной мощностью 30 кВт [9];
- мини-ГЭС ИНСЭТ Пр 30 с установленной мощностью 30 кВт [1];
- солнечная ЭУ с суммарной установленной мощностью 30 кВт, состоящая из 120 солнечных модулей Saana 250 LM3 MBW единичной мощностью 0,25 кВт каждый [6];

Технические характеристики исследуемых энергоустановок на ВИЭ приведены в табл. 1.

Расчеты были выполнены для г. Нижний Новгород.

Исходными данными для расчета являлись.

Годовые суммы солнечной радиации составляют 3667 МДж/м<sup>2</sup> год [3].

Средняя скорость ветра в зависимости от месяца года на высоте 10 м приведена в табл. 2 [3]. Средняя скорость ветра за год – 4 м/с.

Реальная мощность ветроустановки имеет кубическую зависимость от скорости ветра [8] и определяется по формуле:

$$P = N_{\text{ном}} \cdot \sum_{i=1}^{12} \left( \left( \frac{V_i}{V_{\text{ном}}} \right)^3 \cdot \frac{t_i}{365} \right) \cdot K_{\text{в}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ном}}$  – номинальная мощность, кВт;  $V_i$  – фактическая скорость ветра, м/с;  $V_{\text{ном}}$  – номинальная скорость ветра для получения номинальной мощности, м/с;  $t_i$  – количество дней с фактической скоростью ветра, день;  $K_{\text{в}}$  – коэффициент влияния высоты на скорость ветра.

$$K_{\text{в}} = \frac{\ln 18}{\ln 10}, \quad (2)$$

где 18 – высота ветроустановки, м; 10 – высота замера скорости ветра, м.

Принимая в расчетах

$$N_{\text{ном}} = 30 \text{ кВт},$$

фактическая скорость ветра и количество дней с фактической скоростью ветра – по табл. 2  $K_{\text{в}} = 1,255$ .

Результаты расчета сведены в табл. 3 и показаны на рисунке.

Таблица 1

Технические характеристики энергоустановок на ВИЭ

Тип энергоустановки	Марка	Характеристики
Ветровая ЭУ	«Муссон»	Мощность 30 кВт Расчетная скорость ветра 13 м/с Начальная рабочая скорость ветра 3 м/с Ветроколесо диаметр 10,5 м Высота 18 м
Мини-ГЭС	ИНСЭТ Пр 30	Мощность 30 кВт
Солнечная ЭУ	Saana 250 LM3 MBW	Суммарная мощность 30 кВт (120 модулей по 0,25 кВт) Размеры модуля: 1623 x 986 x 35 мм Общая площадь 192 м <sup>2</sup>

Таблица 2

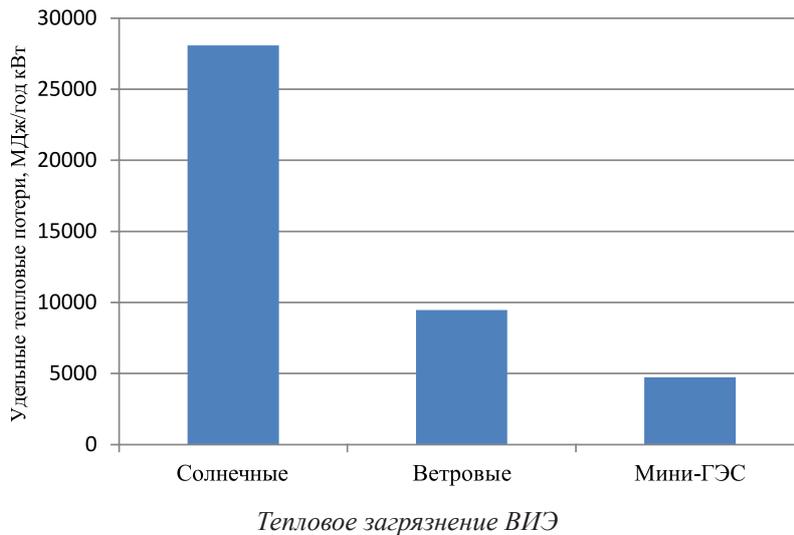
Средняя скорость ветра в зависимости от месяца года

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средняя скорость ветра, м/с	4,5	4,1	4,4	4,2	3,9	3,5	3,1	3,2	3,7	4,5	4,6	4,7

Таблица 3

Тепловое загрязнение ВИЭ

	КПД энергоустановок, %	Фактическая мощность, кВт	Тепловые потери, МДж/год	Удельные тепловые потери, МДж/год кВт
Солнечные	12	22	617842	28084
Ветровые	70	1,153	10912	9464
Мини-ГЭС	85	30	141912	4730



Проведенные исследования показали, что: – минимальное тепловое загрязнение имеют мини-ГЭС за счет высокого КПД, – ветровые установки обладают невысоким тепловым загрязнением за счет малых скоростей ветра в г. Н. Новгород (4 м/с) по сравнению с номинальной скоростью (13 м/с), что приводит к низкой реальной мощности (1,153 кВт), а также при эксплуатации на низкой мощности их КПД может существенно снизиться (до 20...30%),

– солнечные установки имеют самый высокий уровень теплового загрязнения за счет низкого КПД.

Для солнечной энергоустановки был выполнен расчет изменения температуры воздуха по мере удаления от поверхности солнечной батареи.

Исходными данными для расчета являются:

$t_b = 25^\circ\text{C}$  температура воздуха окружающей среды (летом);

$t_{ct} = 65^\circ\text{C}$  температура пластины поверхности солнечной батареи.

При расчете использовали формулы для определения высоты теплового пограничного слоя горизонтальной пластины для поверхности теплообмена, обращенной вверх при свободном движении воздуха.

Согласно [2] средний коэффициент теплоотдачи на поверхности горизонтальной пластины можно рассчитать по формулам для аналогичных вертикальных поверхностей:

$$\alpha_{\text{гор}} = 1,3\alpha_{\text{верт}} \quad (3)$$

Согласно критериальной формуле М.А. Михеева [9] значение числа Нуссель-

та (Nu) для вертикальной пластины может быть определено:

$$\text{Nu} = C \cdot \text{Ra}^n = 194, \quad (4)$$

где Ra – число Рэлея

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} = 368 \cdot 10^7, \quad (5)$$

где Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля,

$$\begin{aligned} \text{Gr} &= \frac{g \cdot (t_{ct} - t_b) \cdot l^3}{T_b \cdot \nu^2} = \\ &= \frac{9,8 \cdot (65 - 25) \cdot 0,986^3}{298 \cdot (15,5 \cdot 10^{-6})^2} = 525 \cdot 10^7, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $l = 0,986$  м наименьший линейный размер пластины;  $\nu = 15,5 \cdot 10^{-6}$  коэффициент кинематической вязкости воздуха при значении  $t_b$ ; Pr = 0,7 число Прандтля для температуры воздуха  $t_b$ ,

$$T_b = 273 + t_b = 298 \text{ К.}$$

Для  $\text{Ra} > 2 \cdot 10^7$  режим течения считается турбулентным, и значения коэффициентов принимаются равными

$$C = 0,135;$$

$$n = 0,33.$$

Тогда значение числа Нуссельта:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}. \quad (7)$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией для горизонтальной поверхности определяли:

$$\alpha_{\text{гор}} = \frac{1,3 \cdot \text{Nu} \cdot \lambda}{l} = \frac{1,3 \cdot 194 \cdot 0,026}{0,986} = 6,65, \quad (8)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха,  $\lambda = 0,026$  Вт/м·К при температуре  $t_b$ .

Тепловой поток определяли по формуле:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}) = 6,65 \cdot 1,6 \cdot (65 - 25) = 429 \text{ Вт} = 0,429 \text{ кВт}, (9)$$

где  $F$  – площадь пластины,  $F = 1,6 \text{ м}^2$ .

Согласно [10] избыточная температура воздуха на оси конвективного потока над тепловым источником определяется из полуэмпирического выражения:

$$\Delta t^3 = \frac{\sigma \cdot (1 + \sigma)^2 \cdot T_{\text{в}} \cdot Q_{\text{к}}^2}{6 \cdot \pi^2 \cdot C_{\text{к}}^4 \cdot g \cdot c_{\text{пв}}^2 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot z^5}, (10)$$

$$\Delta t = t_z - t_{\text{в}}, (11)$$

где  $t_z$  – температура на высоте  $z$  пограничного теплового слоя для  $t_z = t_{\text{в}}$  при максимальном значении высоты слоя  $z = h$ ,  $\Delta t = 0$ .

Для корректного решения уравнения (8) примем  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{пв}} = 1,0 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$ ;  $\rho_{\text{в}} = 1,19 \text{ кг/м}^3$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\sigma = 0,8$  – эмпирический коэффициент;  $C_{\text{к}} = 0,082$ ;  $Q_{\text{к}} = 0,429 \text{ кВт}$  тепловой поток.

После алгебраических преобразований имеем, что при полном отсутствии ветра (внешнего движения воздуха вдоль пластины) температура воздуха уменьшится до величины  $25^\circ\text{C}$  на расстоянии  $h = 5,4 \text{ м}$ . Однако такое условие бывает крайне редко.

Принимаем скорость ветра  $w_z = 1 \text{ м/с}$  (считаем это минимальным предельным значением для определения значения высоты теплового пограничного слоя  $h$ ). Согласно [10] осевая скорость воздуха определяется из выражения:

$$w_z^3 = \frac{3 \cdot (1 + \sigma) \cdot g \cdot Q_{\text{к}}}{4 \cdot \pi \cdot C_{\text{к}}^2 \cdot \sigma \cdot C_{\text{пв}}^2 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot T_{\text{в}} \cdot z}. (12)$$

Расчет показывает, что при скорости ветра  $1 \text{ м/с}$  температура воздуха уменьшится до величины  $25^\circ\text{C}$  на расстоянии  $0,10 \text{ м}$ .

### Выводы

Проведенные исследования показали, что:

- минимальное тепловое загрязнение имеют мини-ГЭС за счет высокого КПД;
- ветровые установки обладают невысоким тепловым загрязнением за счет малых скоростей ветра в г. Н. Новгород ( $4 \text{ м/с}$ ) по сравнению с номинальной скоростью ( $13 \text{ м/с}$ ), что приводит к низкой реальной мощности ( $1,153 \text{ кВт}$ ), а также при эксплуатации на низкой мощности их КПД может существенно снижаться (до  $20 \dots 30\%$ );
- солнечные установки имеют самый высокий уровень теплового загрязнения за счет низкого КПД, однако их эксплуатация

не окажет отрицательного влияния на тепловой режим атмосферного воздуха.

### Список литературы

1. Гидроагрегат Пр30 с пропеллерной турбиной [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://www.inset.ru/r\\_offers/Pr-30.htm](http://www.inset.ru/r_offers/Pr-30.htm) (дата обращения: 22.01.15).
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сухомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоатомиздат, 1981. 416 с.
3. Климат Нижнего Новгорода / под ред. Ц.А. Швер, С.В. Рязановой. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 168 с.
4. Маслеева О.В., Воеводин А.Г., Пачурин Г.В. Тепловое загрязнение окружающей среды объектами малой энергетики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 5 (часть 5). – С. 26–31.
5. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.- Л.: ГЭИ, 1956. – 344 с.
6. Монокристаллические модули Saana 245-260 LM3 MBW [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.multiwood.ru/pv/S245-260LM3MBW/> (дата обращения: 22.01.15).
7. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В.. Акустическое воздействие ветроэнергетических установок на окружающую среду // Экология и промышленность России. – 2013. – № 9. – С. 8–11.
8. Твайдейл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.
9. Техническое описание ветрогенераторов семейства Муссон [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus\\_59.html](http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus_59.html) (дата обращения: 22.01.15).
10. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стройиздат, 1978. – 144 с.

### References

1. Hidroagregat Pr30 s propellernej turbinoj [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa [http://www.inset.ru/r\\_offers/Pr-30.htm](http://www.inset.ru/r_offers/Pr-30.htm) (data obrashhenija: 22.01.15).
2. Isachenko V.P., Osipova V.A., Suhomel A.S. Teploperedacha. M.: Jenergoatomizdat, 1981. 416 p.
3. Klimat Nizhnego Novgoroda / pod red. C.A. Shver, S.V. Rjazanovoj. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 168 p.
4. Masleeva O.V., Voevodin A.G., Pachurin G.V. Teplovoe zagraznenie okruzhajushhej sredy obektami maloj jenergetiki // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2014. no. 5 (chast' 5). pp. 26–31.
5. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi. M.- L.: GJel, 1956. 344 p.
6. Monokristallicheskie moduli Saana 245-260 LM3 MBW [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa <http://www.multiwood.ru/pv/S245-260LM3MBW/> (data obrashhenija: 22.01.15).
7. Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V.. Akusticheskoe vozdejstvie vetrojenergeticheskikh ustanovok na okruzhajushhujuju sredju // Jekologija i promyshlennost' Rossii. 2013. no. 9. pp. 8–11.
8. Tvajdejdl Dzh., Uejjr A. Vozobnovljaemye istochniki jenergii: per. s angl. M.: Jenergoatomizdat. 1990. 392 p.
9. Tehnicheskoe opisanie vetrogeneratorov semejstva Musson [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa [http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus\\_59.html](http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus_59.html) (data obrashhenija: 22.01.15).
10. Shepelev I.A. Ajerodinamika vozdushnyh potokov v pomeshhenii. M.: Strojizdat, 1978. 144 p.