

EDN: OSXNJD

УДК 620.92

**А. А. ОЛЕКСЮК, Н. В. ДОЛГОВ, А. А. ПОЛКОВНИКОВ**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

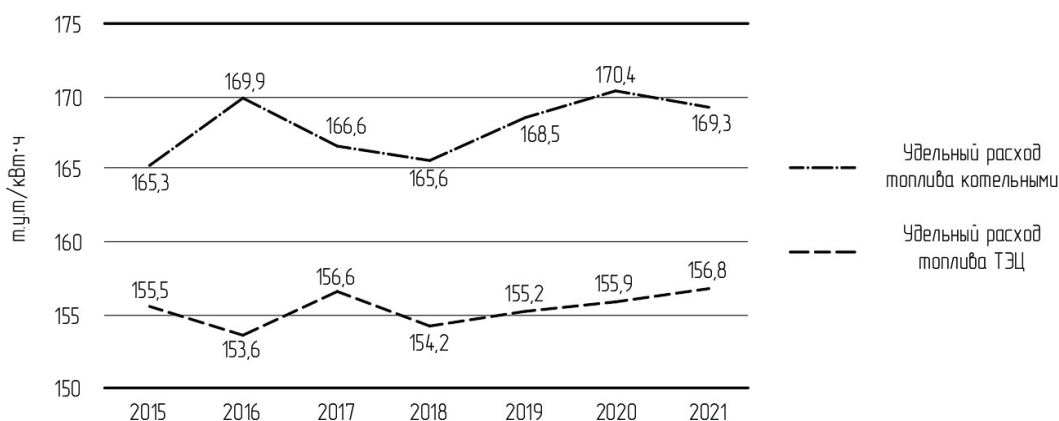
## АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА

**Аннотация.** Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Возрастающие с каждым годом производство и потребление тепловой энергии требуют все больших и больших объемов углеводородного топлива. Одним из решений данной проблемы является применение альтернативных источников энергии, в частности, солнечной энергии для сокращения потребления тепловой энергии, получаемой за счет сжигания ископаемого топлива. В данной статье проведен анализ теплового потенциала солнечного излучения в качестве источника тепловой энергии для гелиотермальных установок на территории Донбасса. Рассмотрены факторы, влияющие на теплосъем солнечных коллекторов, в частности, местные климатологические особенности, время суток и время года, угол наклона и ориентация поглощающей поверхности.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, солнечная энергия, солнечное излучение, горячее водоснабжение, централизованное теплоснабжение.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Возрастающие с каждым годом производство и потребление тепловой энергии требуют все больших и больших объемов углеводородного топлива (рис. 1), запасы которого не безграничны [1].



**Рисунок 1** – Показатели удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии.



## ЦЕЛЬ

Сокращение потребления тепловой энергии, получаемой за счет сжигания ископаемого топлива, путем применения альтернативных источников энергии, в частности, солнечной энергии.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В долгосрочной перспективе, Солнце представляет собой наиболее стабильный и доступный источник энергии для человечества. Современные технологии позволяют использовать солнечную энергию для ежедневного получения тепла, однако, её потенциал для повседневного применения ещё не полностью раскрыт.

С помощью солнечной энергии можно покрыть до 60 % годового потребления энергии на горячее водоснабжение. Солнечные установки, покрывающие часть нагрузки на отопление, позволяют еще больше снизить потребление топлива. С их помощью можно сэкономить до 35 % годовых расходов теплоты на отопление и горячее водоснабжение [2].

Солнечная энергия представляет собой практически неисчерпаемый ресурс, годовая выработка которого эквивалентна  $1,3 \cdot 10^{14}$  тоннам условного топлива. Мощность, достигающая поверхности Земли, оценивается в 20 млрд кВт ( $20 \cdot 10^{12}$  Вт, или 2 000 ГВт). На расстоянии 1 а.е. от Солнца интенсивность излучения составляет  $1\,367 \text{ Вт/м}^2$ . Этот показатель, известный как солнечная постоянная, в реальности меняется в течение года, достигая максимума в январе, когда Земля проходит перигелий своей орбиты [3].

При использовании солнечной энергии важно понимать, какая часть солнечного излучения может быть действительно использована. В результате воздействия атмосферы из  $1\,367 \text{ Вт/м}^2$  интенсивности излучения поверхности Земли достигает максимум около  $1\,000 \text{ Вт/м}^2$ . Атмосфера по-разному действует на весь спектр излучения. Облака отражают определенную часть излучения, а другая часть поглощается ими. Значительное количество излучения рассеивается в плотных слоях атмосферы или облаках, что приводит к образованию рассеянного излучения. Большая часть излучения в конечном итоге достигает поверхности Земли. Падающее на Землю излучение также частично отражается и частично поглощается ею. Отражение прямого излучения от земной поверхности также способствует созданию рассеянного излучения (рис. 2) [2].

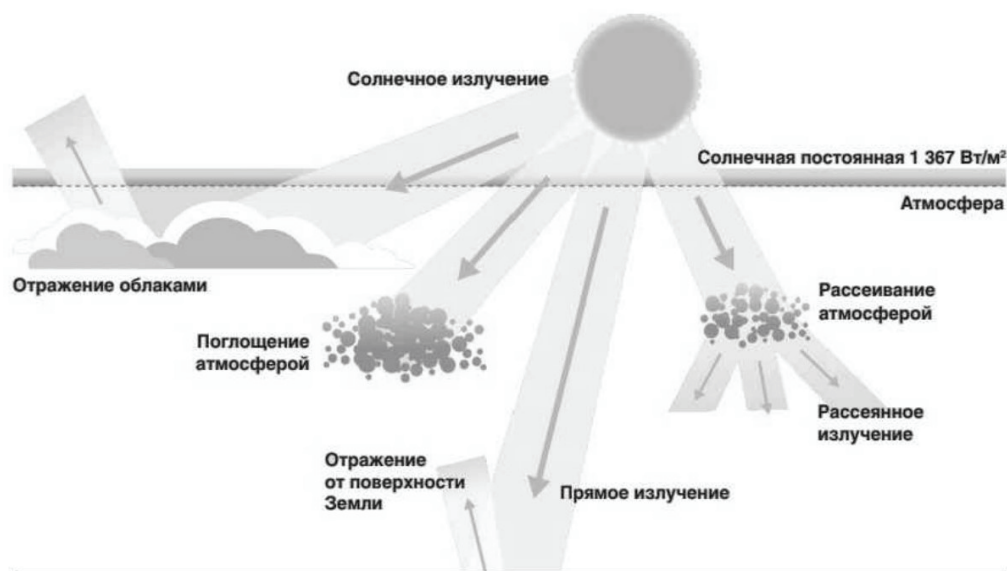


Рисунок 2 – Влияние атмосферы на солнечное излучение.

Сумма прямого и рассеянного солнечного излучения называется суммарным солнечным излучением или инсоляцией.

С точки зрения использования солнечной энергии важным фактором является мощность излучения, измеряемая на определенной поверхности (табл. 1) [4]. Для определения фактического

**Таблица 1** – Месячное суммарное солнечное излучение на горизонтальную плоскость для г. Донецка

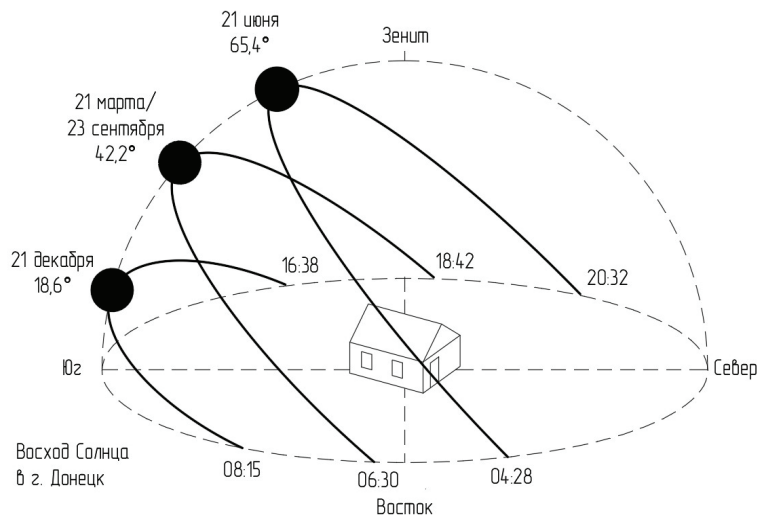
Единица измерения	Месяц												Σ
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
МДж/м <sup>2</sup>	107	168	297	425	589	628	660	559	413	249	99	70	4264
кВт·ч/м <sup>2</sup>	29,7	46,7	82,5	118,1	163,6	174,4	183,3	155,3	114,7	69,2	27,5	19,4	1 184,4

количества солнечной радиации, преобразуемой в гелиотермальную энергию, также необходимо учесть продолжительность облучения данной поверхности Солнцем (табл. 2) [5].

**Таблица 2** – Количество солнечных дней для г. Донецка

Кол-во дней	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ясно	4	5	9	12	13	16	16	20	19	15	8	4
облачно	19	18	15	13	15	12	12	9	10	11	16	19
пасмурно	7	7	5	5	2	2	3	1	2	3	6	7

Ось Земли наклонена на 23,5° по отношению к оси ее орбиты вращения вокруг Солнца. С марта по сентябрь Солнце в большей степени освещает Северное полушарие, а с сентября по март – Южное, следствием чего является изменение продолжительности дня летом и зимой. Продолжительность дня определяется также широтой местности, то есть чем дальше на Север, тем длиннее (летом) или короче (зимой) дни [2]. Город Донецк имеет координаты 48° с.ш. С учетом угла наклона оси Земли это означает, что 21 июня Солнце находится в полдень под углом 65,4° к горизонту и продолжительность светового дня составляет 16 часов 4 минуты. В полдень 21 декабря угол составляет всего 18,6°, а продолжительность светового дня сокращается до 8 часов 23 минут (рис. 3) [6].



**Рисунок 3** – Солнечная орбита в течение года.

Приведенные в нормативной литературе значения суммарной энергии излучения относятся к горизонтальной поверхности. Наклон поглощающей поверхности солнечного коллектора изменяет угол падения солнечных лучей и интенсивность облучения, а следовательно, и количество поглощенной энергии [2].

В общем случае, угол наклона солнечного коллектора должен быть таким, чтобы солнечные лучи падали на него под прямым углом. Это позволяет максимально эффективно использовать солнечную энергию и снизить потери тепла через излучение. Когда угол наклона меньше оптимального, солнечный коллектор будет поглощать меньше солнечной радиации из-за отклонения лучей от перпендикуляра к поверхности, и, как результат, эффективность сбора энергии снижается. При угле

наклона, превышающем оптимальный, солнечный коллектор начинает терять меньше энергии из-за излучения, но при этом он начинает собирать меньше прямой солнечной радиации, так как солнечные лучи скользят по его поверхности. Это также приводит к снижению эффективности сбора энергии.

Таким образом, для достижения максимальной эффективности солнечного коллектора необходимо подобрать оптимальный угол его наклона, учитывая географическое положение и время года [7]:

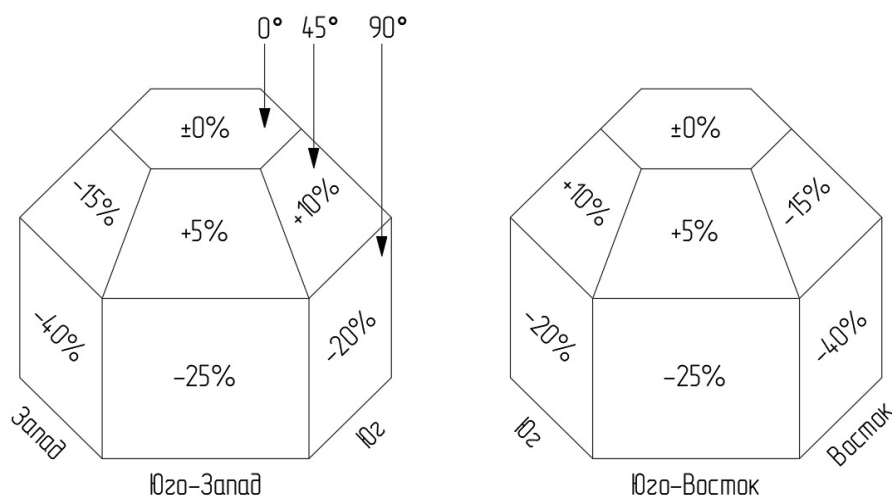
- для круглогодичных солнечных установок оптимальный угол наклона равен географической широте местности;
- для солнечных установок, работающих в неотапительный период, оптимальный угол наклона принимается на 15° меньше значения географической широты местности;
- для солнечных установок, работающих в отопительный период, оптимальный угол наклона принимается на 15° больше значения географической широты местности.

Усредненные значения суточного суммарного солнечного излучения на наклонную плоскость в зависимости от режима работы солнечной установки для г. Донецка приведено в таблице 3 [8].

**Таблица 3** – Усредненные значения суточного суммарного солнечного излучения, кВт·ч/м<sup>2</sup>, на наклонную плоскость для г. Донецка

Угол	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
33°	1,80	2,75	3,50	4,31	5,43	5,30	5,49	5,33	4,26	2,94	1,82	1,49
48°	1,95	2,90	3,52	4,14	5,03	4,80	5,03	5,05	4,23	3,06	1,96	1,63
63°	2,00	2,90	3,37	3,78	4,41	4,14	4,36	4,53	3,99	3,02	2,00	1,69

Другой важный аспект, который нужно учесть при расчете объема поглощаемой солнечной радиации, – это ориентация поверхности поглощения. В северном полушарии наиболее эффективной будет ориентация поверхности на юг. Рисунок 4 иллюстрирует влияние ориентации и угла наклона поверхности поглощения на величину падающего излучения.



**Рисунок 4** – Влияние угла наклона и ориентации поглощающей поверхности на значение суммарного солнечного излучения.

Сравнение с горизонтальным расположением поглощающей поверхности показывает увеличение или уменьшение показателей инсоляции. В промежутке между направлениями на юго-восток и юго-запад с углами наклона от 25 до 70°, можно выделить область, где производительность гелиоустановки будет оптимальной. Существенные отклонения, например в случае установок на вертикальных поверхностях, могут быть компенсированы за счет увеличения площади коллектора [2].

## ВЫВОД

Анализ потенциальных ресурсов солнечной радиации на Донбассе (значение годовой суммарной радиации на горизонтальную поверхность в г. Донецке составляет 1 184,4 кВт·ч/м<sup>2</sup>) позволяют сделать вывод о значительном потенциале возможного использования солнечной радиации для нужд систем теплоснабжения. Использование этого потенциала позволит существенно сэкономить традиционные виды топлива и электроэнергию путем их частичного замещения указанным источником энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году / Министерство экономического развития Российской Федерации. – 127 с. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy\\_efficiency\\_2022.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf) (дата обращения: 11.09.2023). – Текст : электронный.
2. Книга о «Солнце». Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения / ООО «Виссман». – Киев : «Злато-Граф», 2010. – 195 с. – URL: [https://geo-comfort.ru/images/PDF/Teplovie%20nasosy/Solnishko/Kniga\\_o\\_solnce.pdf](https://geo-comfort.ru/images/PDF/Teplovie%20nasosy/Solnishko/Kniga_o_solnce.pdf) (дата обращения: 11.09.2023). – Текст : электронный.
3. Матрунчик, А. С. Использование солнечной энергии в системах горячего водоснабжения / А. С. Матрунчик, А. И. Бурков. – Текст : электронный // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 237–247. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-solnechnoy-energii-v-sistemah-goryachego-vodosnabzheniya> (дата обращения: 11.09.2023).
4. Таблица инсоляции для расчета ФЭС. – Текст : электронный // solbat.su : [сайт]. – 2001–2015. – URL: <http://www.solbat.su/meteorology/insolation> (дата обращения: 11.09.2023).
5. Weather Archive. – Текст : электронный // weatherarchive.ru : [сайт]. – URL: <https://www.weatherarchive.ru/> (дата обращения: 11.09.2023).
6. SunCalc – солнечный калькулятор. – Текст : электронный // suncalc.org : [сайт]. – 2015–2023. – URL: <https://www.suncalc.org> (дата обращения: 11.09.2023).
7. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р. Р. Авезов, М. А. Барский-Зорин, И. М. Васильева [и др.] ; под редакцией Э. В. Сарнацкого и С. А. Чистовича. – Москва : Стройиздат, 1990. – 328 с. – Текст : непосредственный.
8. Солнечная радиация для некоторых городов. – Текст : электронный // Гиперион : [сайт]. – 2023. – URL: [https://giperion.biz/stati/solnechnaya\\_radiaciya\\_dlya\\_nekotoryh\\_gorodov/](https://giperion.biz/stati/solnechnaya_radiaciya_dlya_nekotoryh_gorodov/) (дата обращения: 11.09.2023).

Получена 02.10.2023

Принята 27.10.2023

## А. О. ОЛЕКСЮК, М. В. ДОЛГОВ, О. А. ПОЛКОВНИКОВ АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ДОНБАСУ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Проблема раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з найгостріших в енергетиці. Виробництво і споживання теплової енергії, що зростають з кожним роком, вимагають дедалі більших і більших обсягів вуглеводневого палива. Одним із розв'язань цієї проблеми є застосування альтернативних джерел енергії, зокрема, сонячної енергії для скорочення споживання теплової енергії, одержуваної за рахунок спалювання викопного палива. У цій статті проведено аналіз теплового потенціалу сонячного випромінювання як джерела теплової енергії для геліотермальних установок на території Донбасу. Розглянуто фактори, що впливають на теплотнімання сонячних колекторів, зокрема, місцеві кліматологічні особливості, час доби та пору року, кут нахилу та орієнтація поглинаючої поверхні.

**Ключові слова:** альтернативні джерела енергії, сонячна енергія, сонячне випромінювання, гаряче водопостачання, централізоване тепlopостачання.

ANATOLIY OLEKSIUK, NIKOLAI DOLGOV, ALEXEY POLKOVNIKOV  
ANALYSING THE THERMAL POTENTIAL OF SOLAR RADIATION FOR USE IN  
HEAT SUPPLY SYSTEMS ON THE TERRITORY OF DONBAS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The problem of rational use of fuel and energy resources is one of the most acute in the energy sector. Increasing year by year production and consumption of thermal energy require more and more hydrocarbon fuel. One of the solutions to this problem is the use of alternative energy sources, in particular, solar energy to reduce the consumption of thermal energy obtained by burning fossil fuels. This article analyses the thermal potential of solar radiation as a source of thermal energy for solar thermal plants in the territory of Donbass. The factors influencing the heat input of solar collectors are considered, in particular, local climatological peculiarities, time of day and time of year, angle of inclination and orientation of the absorbing surface.

**Keywords:** alternative energy sources, solar energy, solar radiation, hot water supply, district heating.

**Олексюк Анатолий Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения, использование трехконтурных теплообменников.

**Долгов Николай Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Полковников Алексей Андреевич** – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Олексюк Анатолій Олексійович** – доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання, використання триконтурних теплообмінників.

**Долгов Микола Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

**Полковников Олексій Андрійович** – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплогазопостачання та вентиляції.

**Oleksyuk Anatoliy** – Ph. D. (Eng.), Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: heat saving in systems of a heat supply, use of three circuit heat exchangers.

**Dolgov Nikolai** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

**Polkovnikov Aleksey** – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.