

УДК 691.32

DOI: 10.34824/VKNPIRAN.2021.5.1.003

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА РАЗЛИЧНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

©Алиев Саламбек Алимбекович (а), Саламанова Мадина Шахидовна (b),  
Муртазаева Разета Сайд-Альвиевна (с) Исмаилова Зулихан Хасановна (d)

- (a) Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; институт строительства, архитектуры и дизайна, доц., к.т.н., asa-fenix@mail.ru
- (b) Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; институт строительства, архитектуры и дизайна, доц., к.т.н.  
Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория металлов, сплавов и композиционных материалов, с.н.с., доц., к.т.н., madina\_salamanova@mail.ru
- (c) Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; институт строительства, архитектуры и дизайна, аспирант, gazet.murtazaeva@gmail.com
- (d) Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный

**Аннотация.** В работе приводятся технологические подходы решения проблем удорожания энергозатрат, для этого рекомендуется использовать существующий практический опыт гелиотехнологии и внедрять его в производстве бетонных и железобетонных изделий, конструкций на стадии термообработки с применением низкопотенциального (до 100°C) теплового воздействия.

**Ключевые слова:** гелиотермообработка, солнечная радиация, прогрев бетона, зеленые технологии, гелиоформа, светопрозрачное покрытие

## SPECIFIC FEATURES OF DISTRIBUTION OF SOLAR RADIATION ON VARIOUS ORIENTED SURFACES DURING HEAT TREATMENT

© Aliev Salambek Alimbekovich (a), Salamanova Madina Shahidovna (b), Murtazaeva Razeta Said-Alvievna (c) Ismailova Zulikhan Khasanovna (d)

- (a) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; Institute of Construction, Architecture and Design, Assoc., Ph.D., asa-fenix@mail.ru.

- (b) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; Institute of Construction, Architecture and Design, Assoc., Ph.D. Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; laboratory of metals, alloys and composite materials, senior researcher, associate professor, candidate of technical sciences, madina\_salamanova@mail.ru
- (c) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; Institute of Construction, Architecture and Design, PhD student, razet.murtazaeva@gmail.com
- (d) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny

**Abstract.** The paper presents technological approaches to solving the problems of increasing the cost of energy consumption, for this it is recommended to use the existing practical experience of solar technology and introduce it in the production of concrete and reinforced concrete products, structures at the stage of heat treatment with the use of low-potential (up to 100 ° C) thermal effects.

**Key words:** solar thermal treatment, solar radiation, concrete heating, green technologies, helioform, translucent coating

В связи с ростом стоимости, трудностями добычи и транспортирования традиционных органических видов топлива, особый интерес представляет использование в различных сферах народного хозяйства нашей страны возобновляемых экологически "чистых" источников энергии, к которым следует отнести солнечную радиацию.

Географическое расположение южных регионов стран СНГ на широте между параллелями 38° и 60° и, в частности, Средняя Азия, Казахстан, Закавказье, Северный Кавказ, Нижнее Поволжье, юг Украины и т.д. позволяет воспринимать максимальное количество энергии солнца; что составляет примерно 2200 – 2700 часов в году, с мощностью поступления от 1300 до 1900 кВт·ч [1, 2, 3].

Начиная с конца двадцатого века ученые всего мира стремятся найти полноценное применение этому неисчерпаемому ресурсу, а разработка и внедрение энергосберегающих «зеленых» технологий с применением солнечной радиации взамен дорогих и затратных теплоносителей становится актуальной задачей.

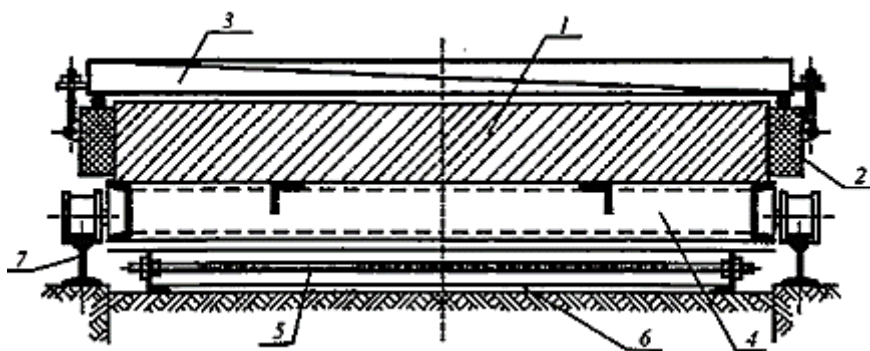
Строительная отрасль сталкивается с проблемами удорожания продукции, для получения которой требуется огромные энергозатраты, поэтому необходимо всецело использовать существующий практический опыт гелиотехнологии и внедрять его в производстве бетонных и железобетонных изделий, конструкций на стадии термообработки с применением низкопотенциального (до 100°C) теплового воздействия.

Как показывают расчеты и данные натурных исследований, числовой показатель удельного потребления тепловой энергии на заводах и полигонах по производству сборного железобетона составляет 600 – 700 кВт·ч/м<sup>3</sup>. При этом энергоемкость производства в южных районах РФ, где ежегодно производится более 35 млн. м<sup>3</sup> железобетона – около 25% от общего выпуска сборного железобетона, что не только не

ниже средних значений по стране, но и превышает их, достигая  $900 - 1000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ . Это эквивалентно сжиганию  $110 - 120 \text{ кг}$  условного топлива для получения около  $780 \text{ кг}$  пара [4, 5].

Учитывая приведенные доводы, можно констатировать, что на протяжении осенне-летне-весеннего периода значительную часть бетонной и железобетонной продукции целесообразно изготавливать в условиях полигона, с возможностью непосредственного прямого использования солнечной радиации для прогрева изделий и конструкций.

Ведущие научно-исследовательские организации прошлого столетия НИИЖБ, ВНИПИТеплопроект, Минстрой Узбекской ССР, а также ЦМИПКС при МИСИ им. В. В. Куйбышева усиленно занимались разработкой технологий ускоренного твердения изделий и конструкций в условиях полигона с применением солнечной радиации. Сущность гелиотехнологии скрыта в том, что изделие, находящееся в форме для теплового прогрева, выполняет роль гелиоприемника, и именно бетонный композит, твердеющий в процессе гидратации клинкерных минералов и является источником выделения теплоты, к тому же он еще служит поглощающим и аккумулирующим звеном элемента; гелиоформа, либо металлическая, либо деревянная – корпус, а крышка со специально проектируемыми свето- и теплотехническими характеристиками - прозрачное покрытие данной конструкции. Реализация предложенной технологии стала возможной благодаря использованию солнцем воспринимающих и теплоаккумулирующих покрытий (СВИТАП) (рисунок 1), которые и лежат в основе всевозможных гелиоприемников, используемых для ускорения твердения бетонных изделий толщиной до  $400 \text{ мм}$  в условиях жаркого климата [1-4].



**Рис. 1.** Схема гелиоформы круглогодичного действия, применяемой в щелевой камере [3]:  
1 – твердеющее бетонное или железобетонное изделие; 2 – бортовые элементы с теплоизоляцией; 3 – светопрозрачное покрытие; 4 – силовой поддон; 5 – теплоэлектронагреватель; 6 – теплоотражатель; 7- рельсы движения формы

В связи с вышеизложенным, для эффективного использования предложенной технологии в любом регионе мира необходимо прежде всего знать особенности поступления солнечной радиации на различно ориентированные бетонные поверхности и возможность достижения бетоном требуемой прочности в суточном возрасте.

По данным многочисленных авторов [5,6,7] расчет радиационного режима распределения по горизонтальной поверхности изучен и обоснован достаточно подробно для многих южных районов страны. Полученные результаты показали, что компоненты

радиационного баланса вертикальных поверхностей вполне возможно вычислять через составляющие радиационного баланса горизонтальных [поверхностей]. Различные значения часовых и очных сумм прямой и рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, представлены в Справочнике по климату СССР [8].

Приход прямой солнечной радиации к вертикальной поверхности вычисляется по данным актинометрических измерений потока на перпендикулярную к лучам поверхность при известных склонении, высоте и азимуте солнца.

Высота и азимут солнца определяются соотношениями:

$$\sin h_{\oplus} = \sin \alpha + \sin \delta + \cos \alpha + \cos \delta \cos \tau; \quad (1)$$

$$\cos A_{\oplus} = \frac{\sin h_{\oplus} \sin \alpha - \sin \delta}{\cos h_{\oplus} \cos \alpha}; \quad (2)$$

$$\sin A_{\oplus} = \frac{\cos \delta \cdot \sin \tau}{\cos h_{\oplus}}; \quad (3)$$

где  $h_{\oplus}$  – угловая высота стояния солнца;

$A_0$  – азимут солнца;

$\alpha$  – географическая широта;

$\delta$  – склонение солнца;

$\tau$  – часовой угол в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня;  $\tau$  считается положительным при отсчете в направлении часовой стрелки.

Солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность ( $\alpha=0$ ), определяется следующим уравнением:

$$S_r = S_{\pi} \cdot \sin h_0 \quad (4)$$

Для вертикальных поверхностей ( $\alpha = \frac{\pi}{2}$ )

$$S_b = S_{\pi} \cdot \cosh_0 \cdot \cos (A_0 - A), \quad (5)$$

где  $S_{\pi}$  – поток прямой радиации у земной поверхности на перпендикулярную поверхность лучам;

$A$  – азимут поверхности.

Для вертикальных поверхностей, обращенных к югу ( $A=0$ )

$$S_{\epsilon}^{ю} = S_{\pi} \cdot \cosh_0 \cdot \cos A_0, \quad (6)$$

Для поверхностей, обращенных к западу или востоку ( $A = + \frac{\pi}{2}$ )

$$S_{\epsilon}^{з-в} = S_{\pi} \cdot \cosh_0 \cdot \sin A_0, \quad (7)$$

Для северных поверхностей уравнение будет иметь вид:

$$S_6^c = S_{\Pi} \cdot \cos A_0, \quad (8)$$

Радиация, поступающая на вертикальные поверхности, ориентированные по промежуточным румбам:

$$S_6^{c\theta-c\gamma} = +0,707 S_{\Pi} \cdot (\cosh_0 \cdot \sin A_0 - \cosh_0 \cdot \cos A_0), \quad (9)$$

$$S_6^{\gamma\theta-\gamma\gamma} = +0,707 S_{\Pi} \cdot (\cosh_0 \cdot \sin A_0 + \cosh_0 \cdot \cos A_0), \quad (10)$$

Для упрощения расчетов часовых сумм прямой радиации можно пользоваться соотношениями между суммами радиации, поступающими на вертикальную ( $\sum S_B$ ) и горизонтальную ( $\sum S_G$ ) поверхности:

$$K = \sum S_B / \sum S_G, \quad (11)$$

Величины коэффициентов «К» для любого момента времени при заданных значениях высоты солнца  $h_0$ , азимутов нормали к поверхности А и солнца получены из соотношения:

$$K = \sum S_B / \sum S_G = \cos (A_0 - A) / \operatorname{tg} h_0, \quad (12)$$

Несколько сложнее обстоит дело с расчетом рассеянной радиации, поступающей на вертикальную поверхность.

До последнего времени, при решении ряда практических задач, ограничивались в основном учетом прямой солнечной радиации. Такое отношение сложилось на основе имеющихся в климатических справочниках данных о прямой и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, согласно которым рассеянная радиация для горизонтальной поверхности не имеет существенного значения по сравнению с действием прямых солнечных потоков.

Расположение вертикальных поверхностей по отношению к солнцу, небосводу, подстилающей поверхности существенно изменяют соотношение поступления прямой и рассеянной радиации. На вертикальную поверхность одновременно с прямой радиацией поступает рассеянная ( $D_B$ ) и отраженная ( $R_B$ ) от земной поверхности и окружающих предметов радиация. Уравнение для общего прихода коротковолновой радиации ( $Q_B$ ) можно записать в виде:

$$Q_B = S_B + D_B + R_B, \quad (13)$$

Для точных расчетов потоков рассеянной радиации на вертикальные поверхности необходимо экспериментальное изучение основных закономерностей углового

распределения интенсивности рассеянной радиации по небосводу и распределения интенсивности отраженной радиации. Однако, данные по угловому распределению рассеянной радиации отрывочны и неадекватны [9, 10].

Определение прихода рассеянной радиации к вертикальным поверхностям осложнено по ряду причин. Если предположить, что рассеянная радиация изотропна (интенсивность радиации не зависит от направления излучения), а многие авторы это допускают, легко получить простые формулы, выражающие потоки рассеянной радиации, где она принимается равной половине ее значения на горизонтальную поверхность. Расчеты, выполненные для оценки точности изотропного приближения [8], свидетельствуют о том, что отклонение от изотропных значений выходят далеко за пределы погрешностей измерения рассеянной радиации.

В случае же наличия сплошной облачности допущение изотропности оправдано. В данном случае азимутальная зависимость практически не существенна.

Практический интерес представляет справочный материал, приведенный в работе А.И. Кругловой [7, 8]. Допуская пропорциональность между световым и энергетическим потоками рассеянной радиации, получены часовые и суточные суммы прямой и рассеянной радиации, поступающей на вертикальные поверхности восьми ориентации на среднюю дату каждого месяца для территории СССР в диапазоне 38 – 64° с.ш.

Именно эти данные были использованы для имитации радиационного режима вертикальных поверхностей на стенде. Причиной такого подхода является то, что, вследствие изложенных выше объективных факторов, мы не располагаем данными о рассеянной составляющей радиационного баланса вертикальных поверхностей при действительных условиях облачности. Такой подход вызван еще и тем, что во многих районах страны, приемлемых для гелиотехнологии, повторяемость облачного состояния неба летом составляет 20 – 30 %. При таких условиях уменьшение действительной суммарной радиации по сравнению с радиацией при безоблачном небе не превышает 5 – 10 % [6, 7, 8].

Таким образом, использование энергии солнечной радиации для тепловлажностной обработки различно ориентированных бетонных и железобетонных конструкций должен обеспечить требуемые физико-механические показатели, и, прежде всего, суточную распалубочную прочность бетона, учитывая особенности поступления солнечной энергии на эти поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аминов Э.Х. О методике учета поступления суммарной радиации на элементы зданий в Узбекистане // Архитектура и Строительство Узбекистана, 1983. № 2. С. 29-31.
2. Заседателев И.Б., Малинский Е.Н. и др. Эффективность использования солнечной энергии для ускорения твердения бетона // Архитектура и Строительство Узбекистана, 1983. № 3. С. 3-7.
3. Заседателев И.Б., Малинский Е.И. и др. Использование солнечной энергии для тепловой обработки железобетонных изделий // Бетон и железобетон. 1983. 8Р 9. С. 2-3.

4. Заседателев И.Б., Малинский Е.Н. и др. Тепловыделение цемента при твердении бетона в гелиоформах // Бетон и железобетон. 1983. № 11. С. 16-18.
5. Заседателев И.Б., Малинский Е.Н. и др. Роль экзотермии цемента при комбинированной гелиотермообработке бетона // Архитектура и Строительство Узбекистана. 1986. Р 8. С. 34-36.
6. Заседателев И.Б., Ткачев А.В., Малороев М.М., Муртазаев С.-А.Ю. Увеличение периода сезонной эксплуатации гелиополигонов. Сб. «СПЕЦИАЛЬНЫЕ БЕТОНЫ И СООРУЖЕНИЯ» // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 1985. 3 с.
7. Заседателев И.Б., Шифрин С.А. Энергетические основы ускоренного твердения бетона при использовании солнечной энергии. // Материалы совещания по проблеме: "Использование солнечной энергии в Технологии бетона". Ашхабад. 1982. С. 3-20.
8. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. 216 с.
9. Круглова А.И. Климат и ограждавшие конструкции. Н.: Стройиздат, 1970. 168 с.
10. Круглова А.И. Рассеянная солнечная радиация на вертикальные поверхности ограждающих конструкций различной ориентации. // Практические задачи строительной теплофизики крупнопанельных зданий. М.: Стройиздат, 1966. С. 5-10.
11. Муртазаев С.А.Ю. Особенности расчета теплового баланса гелиоформ // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. 2005. № 5. С. 204-210.
12. Справочник по климату СССР, ч. I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние, вып. 1-34. Д.: Гидрометеиздат, 1968.

#### REFERENCES

1. Aminov E.Kh. On the method of accounting for the total radiation intake to the elements of buildings in Uzbekistan // Architecture and Construction of Uzbekistan, 1983. № 2. Pp. 29-31.
2. Zasedatelev I.B., Malinsky E.N. and others. Efficiency of using solar energy to accelerate the hardening of concrete // Architecture and Construction of Uzbekistan, 1983. № 3. Pp. 3-7.
3. Zasedatelev I.B., Malinsky E.I. and other Use of solar energy for heat treatment of reinforced concrete products // Concrete and reinforced concrete. 1983.8P 9.Pp. 2-3.
4. Zasedatelev I.B., Malinsky E.N. et al. Heat release of cement during concrete hardening in helioforms // Concrete and reinforced concrete. 1983. № 11. Pp. 16-18.
5. Zasedatelev I.B., Malinsky E.N. et al. The role of cement exotherm in combined heliothermal treatment of concrete // Architecture and Construction of Uzbekistan. 1986. R 8.Pp. 34-36.
6. Zasedatelev I.B., Tkachev A.V., Maloroev M.M., Murtazaev S.-A.Yu. Increase in the period of seasonal exploitation of heliopolygons. Sat. "SPECIAL CONCRETE AND STRUCTURES" // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 1985. 3 p.

7. Zasedatelev I.B., Shifrin S.A. Energy bases for accelerated concrete hardening using solar energy. // Materials of the meeting on the problem: "The use of solar energy in concrete technology". Ashgabat. 1982. Pp. 3-20.
8. Kondratyev K.Ya., Pivovarova Z.I., Fedorova M.P. Radiation regime of inclined surfaces. - L.: Gidrometeoizdat, 1978. 216 p.
9. Kruglova A.I. Climate and enclosing structures. N.: Stroyizdat, 1970. 168 p.
10. Kruglova A.I. Scattered solar radiation on vertical surfaces of enclosing structures of various orientations. // Practical problems of construction thermal physics of large-panel buildings. M.: Stroyizdat, 1966. Pp. 5-10.
11. Murtazaev S.A.Yu. Features of calculating the heat balance of helioforms // Proceedings of the Grozny State Oil Technical University. Academician M.D. Millionshchikova. 2005. № 5. Pp. 204-210.
12. Handbook on the climate of the USSR, part I. Solar radiation, radiation balance and sunshine, vol. 1-34. D.: Gidrometeoizdat, 1968.