

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ С МНОГОУГЛОВЫМИ ЖАЛЮЗИЙНЫМИ ГЕЛИОСТАТАМИ

С.С. Нефедов,

ст. преподаватель каф. практической подготовки студентов БГАТУ

В.И. Епифанов,

ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

К.В. Гаркуша,

ассистент каф. энергетики БГАТУ

В статье рассмотрена методика расчета солнечной энергетической установки с концентраторной системой с многоугловыми жалюзийными гелиостатами. Предложенная методика позволяет оптимизировать параметры, повысить КПД и время работы установки.

Ключевые слова: концентраторная система, солнечный модуль, многоугольный жалюзийный гелиостат, мидель концентратора, жалюзи.

The article discusses a method for calculating a solar power plant with a concentrator system with multi-angle louvered heliostats. The proposed technique allows you to optimize the parameters, increase the efficiency and operation time of the installation.

Keywords: concentrator system, solar module, multi-angle louver heliostat, midsection of the concentrator, louvers.

Введение

Повышение эффективности преобразования солнечной энергии – задача актуальная, как в научном, так и в прикладном плане. При этом различия в подходах к решению данной задачи обуславливают широкий выбор способов ее решения: разработка новых, более эффективных, фотопреобразователей [1], развитие поглощающей поверхности фотоприемника [2], изучение собственных характеристик поглощающих систем [3], поиск решений по размещению и ориентации панелей, конструированию комбинированных фото-гелиоколлекторов [4]. Один из известных [5-9] способов снижения стоимости энергии, вырабатываемой солнечными модулями, – применение отражающих концентрирующих систем для получения оптимального времени работы установки.

Концентраторы солнечного излучения весьма чувствительны к направлению солнечных лучей относительно входной поверхности, поэтому требуют постоянной ориентации на Солнце. При этом применение следящих систем далеко не всегда целесообразно. Непросто менять ориентацию модулей, смонтированных, например, на крыше или установленных на фасадах зданий [8, 9]. Солнечные модули с несledящими концентраторами лишены этих недостатков. Особенностью их конструкции является сравнительно большая угловая апертура, позволяющая работать без постоянного слежения за Солнцем. Тем не менее, солнечные лучи периодически выходят за пределы апертуры и тогда они уже не попадают на приемник излучения, что снижает эффективность использова-

ния несledящего концентратора [9]. Одним из способов увеличения временного интервала эффективной работы солнечного модуля является расположение на входной поверхности концентратора жалюзийного гелиостата [9-11].

Целью данной работы является разработка методики расчета концентраторной системы с многоугловыми жалюзийными гелиостатами для повышения эффективности работы солнечной установки.

Основная часть

Исследуемая установка представляет собой стационарный параболоцилиндрический концентратор, конструкция которого позволяет без изменения положения концентрировать как прямое, так и рассеянное солнечное излучение [8, 9]. Приемниками солнечного излучения в данной установке могут быть фотоэлементы или гелиоколлекторы, а также модули на основе их комбинации.

Для повышения эффективности работы солнечной установки в плоскости входной поверхности стационарного параболоцилиндрического концентратора предлагается установить систему вторичных отражателей, которая представляет собой многоугольный жалюзийный гелиостат с параметрическим углом α . Предполагается, что применение предложенной системы вторичных отражателей позволит повысить выходную мощность установки за счет увеличения эффективной используемой площади концентратора.

Для определения параметров многоугольного жалюзийного гелиостата в известную методику расчета

углового жалюзийного гелиостата [12] внесены дополнения в расчет геометрической конфигурации системы вторичных отражателей, а также в расчет эффективной используемой площади и выходной мощности концентратора, учитывающие применение многоугольного жалюзийного гелиостата.

Многоугольный жалюзийный гелиостат представляет собой систему из нескольких рядов зеркальных пластин, которые расположены под углом α друг к другу (рис. 1).

Оптимальный угол между пластинами гелиостата можно определить из следующего условия:

$$\sigma = \delta - 2 \cdot \gamma + 90^\circ, \quad (1)$$

где σ – угол между осью Восток-Запад и максимальным предельным лучом поля зрения концентратора, град;

δ – угол склонения Солнца, который попадает в параметрический угол зрения β в меридиональной плоскости, град;

γ – угол наклона жалюзи от оси Восток-Запад, град.

Параметрический угол плоскости стационарного единичного концентратора β равен 60° [12]. Падающий часовой луч должен попадать в предельные границы этого угла. Следовательно, предельный угол δ равен 30° .

Из формулы (1) получим угол наклона жалюзийной пластины гелиостата к оси Восток-Запад:

$$\gamma = \frac{(\delta + 90^\circ) - \sigma}{2}. \quad (2)$$

Угол между пластинами гелиостата можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = 180^\circ - 2 \cdot \gamma. \quad (3)$$

Подставив формулу (2), получим:

$$\alpha = 90^\circ - \delta + \sigma. \quad (4)$$

Так как предельный угол $\delta = 30^\circ$, оптимальный угол раскрытия между жалюзийными пластинами гелиостата α равен 120° . Такое расположение пластин гелиостата позволяет максимизировать количество солнечных лучей, попадающих в поле зрения концентратора.

Угол наклона жалюзи Θ к плоскости входной поверхности концентратора зависит от географической широты местности φ и может изменяться в пределах от Θ_1 до Θ_2 . Угол Θ_1 соответствует положению гелиостата, когда его плоскость направлена на положение Солнца в день летнего солнцестояния (22 июня). Для географической широты г. Минска формула для расчета угла Θ_1 имеет вид:

$$\Theta_1 = 115,8^\circ - \varphi \quad (5)$$

Угол Θ_2 соответствует положению гелиостата, когда его плоскость направлена на положение Солнца в день зимнего солнцестояния (22 декабря):

$$\Theta_2 = 68,3^\circ - \varphi + \delta \quad (6)$$

Угол наклона жалюзи Θ_1 в день летнего солнцестояния определяется исходя из полуденной высоты Солнца, что позволяет уменьшить влияние жалюзи на работу параболического концентратора. Так как высотный угол эффективной работы модуля в зависимости от географической широты изменяется в пределах диапазона $\Delta\varphi$, то предельная ширина затенения жалюзи $B_{\text{зат}}$ будет равна, м:

$$B_{\text{зат}} = \text{tg} \Delta\varphi \cdot l, \quad (7)$$

где l – высота жалюзи, м.

При оптимальной геометрической конструкции многоугольных жалюзи гелиостата величина ширины

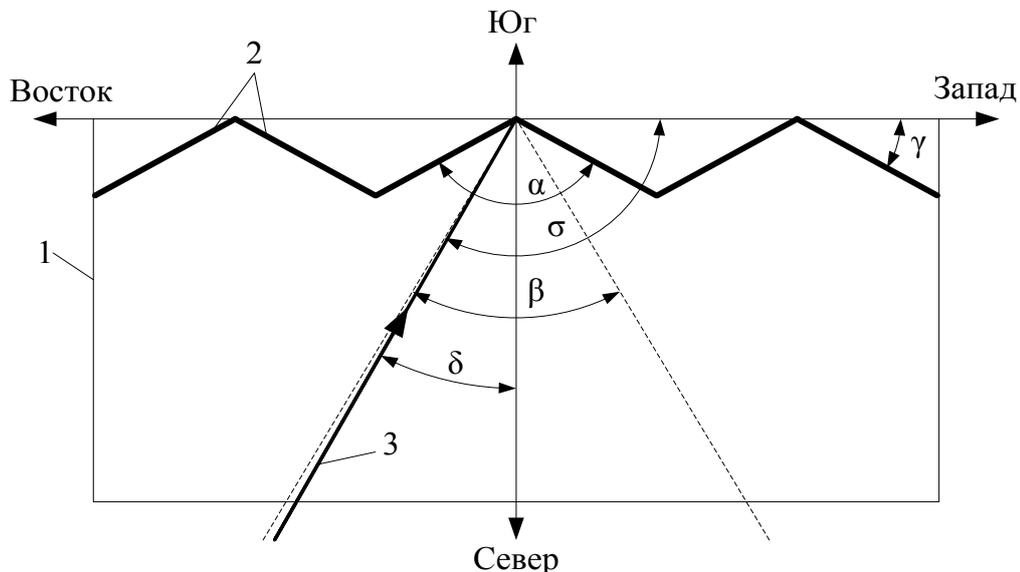


Рисунок 1. Схема многоугольного жалюзийного гелиостата: 1 – входная поверхность параболического концентратора; 2 – пластины многоугольных гелиостатов; 3 – падающий солнечный луч

затенения достаточно мала, причем большая часть излучения попадает на эффективную поверхность концентратора. Поэтому величиной потерь от затенения можно пренебречь.

Расстояние между пластинами многоугольного жалюзийного гелиостата a , м:

$$a = b(\sin 45^\circ - \lambda_{\min}), \quad (8)$$

где b – высота крыла пластины жалюзи гелиостата (рис. 2), м;

λ_{\min} – минимальный угол высоты Солнца в день

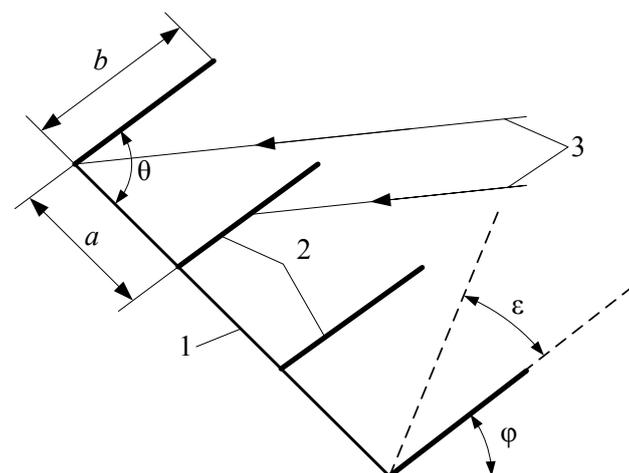


Рисунок 2. Схема прохождения минимального высотного солнечного луча: 1 – плоскость входной поверхности гелиостата; 2 – пластины многоугольных гелиостатов; 3 – падающие солнечные лучи

зимнего солнцестояния, град.

При уменьшении часового угла β увеличивается высотный угол ϵ . При этом не происходит затенения падающих солнечных лучей. Это связано с тем, что концентратор установлен под углом φ к поверхности земли и система жалюзи гелиостата образует геометрическую конструкцию в форме террасы.

При определении эффективно используемой площади концентратора с системой многоугольных жалюзийных гелиостатов необходимо рассмотреть изменение часового угла β в течение суток. В полдень, когда часовой угол $\beta = 0^\circ$, солнечные лучи проходят параллельно жалюзи гелиостата, так как они изначально настраиваются на положение Солнца в это время. Следовательно, приемник концентратора будет освещен на 100 %. Когда часовой угол β изменяется от 5 до 30°, приемник освещается не только от солнечных лучей, отраженных от зеркальной поверхности концентратора, но и от многоугольных жалюзи гелиостата, что обеспечивает попадание дополнительной солнечной инсоляции на приемник. Так как угол $\gamma = 30^\circ$, то при часовом угле $\beta = 30^\circ$ приемник концентратора будет освещен полностью. Это связано с тем, что одна половина концентратора работает в обычном режиме, а вторая половина будет отражать солнечные лучи от угловой жалюзи.

При максимальном угле $\beta = 60^\circ$ солнечные лучи падают на гелиостат параллельно одному крылу жалюзи. При этом отраженные солнечные лучи попадают в поле зрения концентратора (рис. 3).

Следовательно, при часовых углах до 60° угловые жалюзи обеспечивают дополнительную отражающую поверхность. Часовой угол β , равный 60-90°, не попадает в поле зрения концентратора.

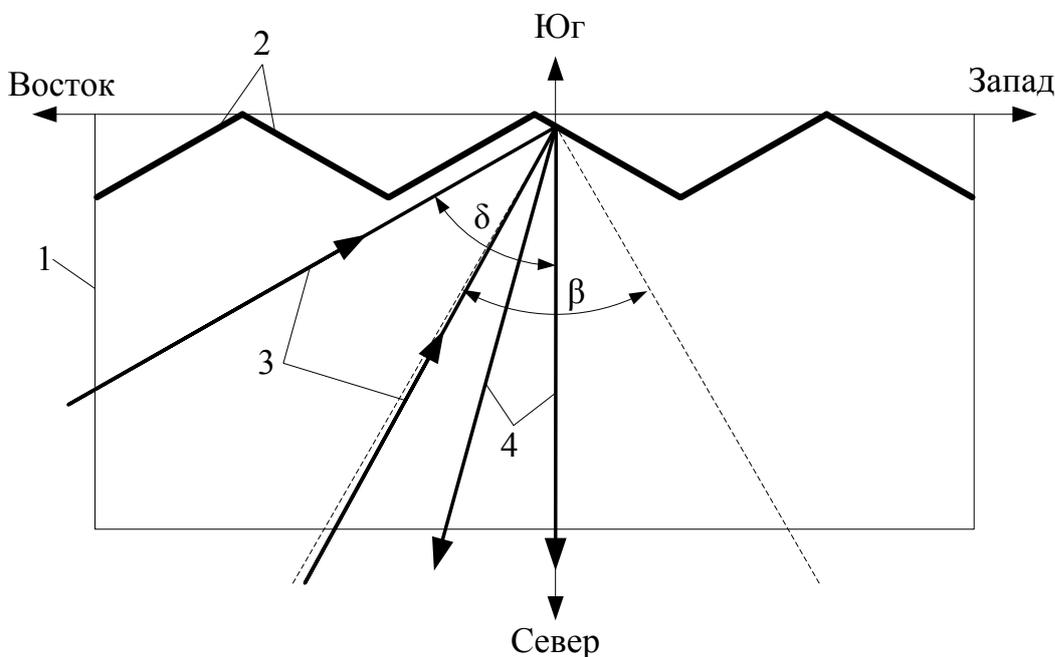


Рисунок 3. Проекция падения и отражения солнечных лучей на входную поверхность концентратора по азимуту: 1 – входная поверхность параболоцилиндрического концентратора; 2 – пластины многоугольного гелиостата; 3 – падающие солнечные лучи; 4 – отраженные солнечные лучи

С учетом того, что часовой угол β от 30° до 60° для стационарного концентратора являлся «мертвой» зоной, можно сделать вывод о том, что применение представленной конфигурации многоугловых жалюзи гелиостата обеспечивает дополнительную отражающую поверхность и позволяет увеличить поле зрения концентратора.

При увеличении поля зрения концентратора увеличивается диапазон рабочих углов по высоте до $14-19^\circ$ при использовании системы многоугловых жалюзийных гелиостатов. Если принять, что минимальный апертурный угол для географической широты г. Минска равен 23° , то все высотные углы Солнца в пределах часового угла $\beta \pm 60^\circ$ будут попадать на приемник концентратора.

Эффективную площадь концентратора S_3 можно рассчитать по следующей формуле, m^2 :

$$S_3 = n \cdot \left(L(D - L \cdot \operatorname{tg}\beta) + \frac{L^2 \cdot \operatorname{tg}\beta}{2} \right), \quad (9)$$

где n – количество рядов угловых жалюзи;

L – длина концентратора, м;

D – ширина ряда угловых жалюзи, м.

Эффективно используемая площадь концентратора $S_{\text{исп}}$ с многоугловыми жалюзийными гелиостатами после преобразований примет вид, m^2 :

$$S_{\text{исп}} = n \cdot L \cdot \left(D + \frac{3 \cdot L \cdot \operatorname{tg}(\beta - 30)}{2} \right) \quad (10)$$

Сравнивая формулу (10) с аналогичными формулами для концентраторов с известными системами вторичных отражателей или без них [8; 9; 12], можно сделать вывод о том, что применение многоугловых жалюзийных гелиостатов позволяет повысить эффективно используемую площадь концентратора.

Выходная мощность $P_{\text{вых}}$ стационарного параболического концентратора с многоугловыми жалюзийными гелиостатами, Вт:

$$P_{\text{вых}} = k \cdot H_e \cdot S_b \quad (11)$$

где k – коэффициент отражения зеркал стационарного параболического концентратора;

H_e – плотность прямой солнечной радиации, $Вт/м^2$

С учетом формулы (10), можно показать, что выходная мощность стационарной установки с параболическим концентратором и с многоугловыми жалюзийными гелиостатами, будет выше, чем для систем без вторичных отражателей на величину, Вт:

$$P_{\text{вых}} = \frac{3}{2} k \cdot H_e \cdot n \cdot L^2 \cdot \operatorname{tg}(\beta - 30) \quad (12)$$

Данное выражение позволяет оценить увеличение генерируемой мощности при применении многоугловых жалюзийных гелиостатов, а также оценить эффективность такого решения в сравнении с известными системами отражателей и без них.

Заключение

Разработана методика расчета для стационарной солнечной установки с параболическим кон-

центратором и многоугловыми жалюзийными гелиостатами. Предложенная методика позволяет определить оптимальную геометрическую конфигурацию системы вторичных отражателей солнечной установки с учетом ее расположения на широте г. Минска, а также рассчитать эффективно используемую площадь и выходную мощность концентратора с учетом применения многоуглового жалюзийного гелиостата. Показана возможность повышения эффективности установки за счет увеличения эффективно используемой площади и выходной мощности концентратора.

Применение многоугловых жалюзийных гелиостатов позволяет повысить количество солнечной инсоляции, попадающей на приемник концентратора, что увеличивает эффективно используемую площадь концентратора. Кроме того, стационарный параболический концентратор с использованием системы многоугловых жалюзийных гелиостатов позволяет увеличить время эффективной работы стационарного концентратора до 6 часов, повысить удельную генерируемую мощность по сравнению с установками с известными системами вторичных отражателей и без них, что делает эффективность фотопреобразования таких систем сопоставимой с системами, отслеживающими траекторию Солнца. Однако такая система более выгодна, за счет отсутствия потерь на системы ориентации, и более простой установки в целом. Предложенная система может найти широкое применение в энергоснабжении сельскохозяйственных потребителей Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Influence of the Substrate Type on the Surface Morphology of Thin $Cu_2ZnSnSe_4$ Films. / S.M. Baraishuk [at al] // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2018. – Vol. 12. – №. 6. – P. 1077–1081.
2. Брагинiec, А.В. Совершенствование энергосберегающей гелиоэлектрической системы горячего водоснабжения животноводческих объектов: дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / А.В. Брагинiec. – зерноград, 2017. – 203 с.
3. Изучение зависимости электротехнических характеристик полупроводниковых компонентов от освещенности в лабораторном практикуме технического ВУЗа / С.С. Нефедов [и др.] // Весці Беларус. дзярж. пед. ун-та. – Сер. 3. Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. – 2019. – № 4 (102). – С. 46-52.
4. Kuvshynov, V. Combined photo-helio-collector with flat concentrators / V. Kuvshynov, V. Safonov // Collected of scientific articles of the Sevastopol National University of nuclear energy and the industry. – 2009. – № 2. – P. 124-129.
5. Стребков, Д.С. Концентраторы солнечного излучения / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 315 с.

6. Русан, В.И. Энергетика и экологическая безопасность / В.И. Русан, Ю.С. Почанин, В.П. Нистюк. – Минск: Энергопресс, 2016. – 438 с.

7. Солнечные электростанции: концентраторы солнечного излучения: учеб. пособие для вузов / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович; под ред. Д.С. Стребкова. – 2-е изд., испр. – М.: Юрайт, 2019. – 265 с.

8. Кивалов, С.Н. Применение концентрирующих систем для фотоэлектрического преобразования солнечного излучения / С.Н. Кивалов, Р.А. Захидов // Гелиотехника. – 2001. – № 3. – С. 66-78.

9. Стребков, Д.С. Солнечные концентраторные технологии для энергообеспечения зданий / Д.С. Стребков [и др.] // Гелиотехника. – 2002. – № 3. – С. 64-68.

10. Бавин, М.Р. Исследование работы преломляющей фотоэлектрической установки / М.Р. Бавин, В.И. Виссарионов // Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем: сборник материалов II Все-

российской научно- практической конф. – М.: МЭИ, 2012. – С. 126-128.

11. Teplyakov, D.I. Linear jalousie heliostats solar powers: cosine effects and between jalousie heliostats effects / D.I. Teplyakov, E.V. Tver'yanovich // Solar technology. – 1993. – № 4. – P. 54-58.

12. Базарова, Е.Г. Повышение эффективности использования солнечной энергии в энергетических установках с концентраторами: дис. канд. техн. наук: 05.14.08 / Е.Г. Базарова. – М., 2008. – 142 с.

13. Мирончук, В.И. Повышение коэффициента полезного действия солнечных энергетических установок за счет локализации солнечной энергии / В.И. Мирончук, А.А. Вельченко // Энергетика. Известия высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 15-26.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.02.2021

Независимая навеска и система стабилизации штанги опрыскивателя «Мекосан-2500-18»

Предназначена для снижения амплитуды колебаний штанги и повышения надежности ее несущей конструкции.

Применение разработки позволяет эффективно гасить колебания штанги, возникающие вследствие движения колес опрыскивателя по неровности поверхности поля, что обеспечивает высокую равномерность распределения пестицидов по обрабатываемому объекту, а также повышение надежности несущей конструкции штанги.



Основные технические данные

Марка машины	Мекосан-2500-18
Производительность за 1 час времени, га:	
- сменного	10,9
- эксплуатационного	10,7
Система навески штанги на остов опрыскивателя	Независимая
Способ крепления рамки штанги к остову опрыскивателя	Параллелограммная навеска
Амплитуда колебаний краев штанги, м	до 0,1
Рабочая скорость движения, км/ч	9-12
Качество выполнения технологического процесса:	
- неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не более	15
- снижение неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не менее	5
Габаритные размеры опрыскивателя в транспортном положении, мм, не более	6045x2425x2215
Габаритные размеры опрыскивателя в рабочем положении (при высоте установки штанги 600 мм), мм, не более	6045x18250x2215
Дорожный просвет, мм	350
Увеличение массы опрыскивателя, кг	на 120