

Научная статья  
УДК 004.41

## Определение спектрального состава солнечного излучения при проектировании систем децентрализованного электроснабжения объектов малой мощности сельского и лесного хозяйства в природно-климатических условиях Красноярского края

Андрей Сергеевич Дебрин

Красноярский государственный аграрный университет

**Аннотация.** В статье представлены результаты определения спектрального состава солнечного излучения при проектировании систем децентрализованного электроснабжения объектов малой мощности, а именно объектов сельского и лесного хозяйства, в природно-климатических условиях Красноярского края. С помощью базы данных солнечного излучения на территории Красноярского края в оболочке Matlab можно определить процентное соотношение спектрального состава солнечного излучения. Для этого необходимо знать высоту солнца и зависимость спектра от данного показателя. Расчёт результатов и обработка данных проведены при помощи построения моделей кривых и поверхностей с использованием интерполяции в приложении Matlab, Curve Fitting Toolbox. Неоднородность спектрального состава солнечного излучения на территории Красноярского края обуславливается тем, что спектр меняется не только от широты, но и от рельефа местности. Установлено, что в центральных и южных районах края преобладает солнечное излучение с длинами волн 510–550 нм; 550–590 нм; 590–630 нм, что соответствует зелёному, жёлтому и оранжевому спектру.

**Ключевые слова:** фотоэлектрические солнечные электростанции, солнечное излучение, спектральный состав излучения, моделирование, Matlab.

**Для цитирования:** Дебрин А.С. Определение спектрального состава солнечного излучения при проектировании систем децентрализованного электроснабжения объектов малой мощности сельского и лесного хозяйства в природно-климатических условиях Красноярского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 139–142.

Original article

## Determination of the spectral composition of solar radiation in the design of decentralized power supply systems for low-power facilities in agriculture and forestry in the natural and climatic conditions of the Krasnoyarsk Territory

Andrey S. Debrin

Krasnoyarsk State Agrarian University

**Abstract.** The article presents the results of determining the spectral composition of solar radiation in the design of decentralized power supply systems for low-power facilities, namely, agricultural and forestry facilities, in the natural and climatic conditions of the Krasnoyarsk Territory. Using the database of solar radiation on the territory of the Krasnoyarsk Territory in the Matlab shell, you can determine the percentage of the spectral composition of solar radiation. To do this, you need to know the height of the sun and the dependence of the spectrum on this indicator. The calculation of the results and data processing were carried out by building models of curves and surfaces using interpolation in the Matlab application, Curve Fitting Toolbox. The inhomogeneity of the spectral composition of solar radiation on the territory of the Krasnoyarsk Territory is due to the fact that the spectrum changes not only with latitude, but also with the terrain. It has been established that solar radiation with wavelengths of 510–550 nm predominates in the central and southern regions of the region; 550–590 nm; 590–630 nm, which corresponds to the green, yellow and orange spectrum.

**Keywords:** photovoltaic solar power plants, solar radiation, spectral composition of radiation, modeling, Matlab.

**For citation:** Debrin A.S. Determination of the spectral composition of solar radiation in the design of decentralized power supply systems for low-power facilities in agriculture and forestry in the natural and climatic conditions of the Krasnoyarsk Territory. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 88(2): 139–142. (In Russ.).

Исследованиям по автономным и децентрализованным системам электроснабжения потребителей малой мощности сельских, лесных и охотничьих хозяйств, а также побочного лесопользования с применением солнечной энергии посвящён целый ряд работ российских и зарубежных авторов.

Анализ этих работ показал, что выработка электроэнергии на ФЭС во многом зависит от их географического расположения, рельефа мест-

ности, высоты солнца и спектрального состава облучения фотоэлектрических модулей (ФЭМ)

**Материал и методы.** Моделирование процессов при разработке фотоэлектрических солнечных электростанций (ФСЭС) для децентрализованного электроснабжения объектов малой мощности позволит не только описать уже имеющиеся возможности, но и выработать систему научно обоснованных рекомендаций для максимально эффективного использования

ФСЭС в удалённых районах. К основным параметрам при разработке ФСЭС необходимо отнести природно-климатические факторы, которые включают в себя: географическое расположение энергопотребителя, рельеф местности, поток солнечного излучения, угол наклона солнечных модулей (СМ) относительно горизонта, высоту солнца над горизонтом, а также спектральный состав солнечного излучения. Имея базу данных солнечного излучения на территории Красноярского края в оболочке Matlab [1], необходимо определить процентное соотношение спектрального состава солнечного излучения. Зная высоту солнца (расчёты провели предварительно), можно определить зависимость спектра от данных показателей.

Расчёт результатов и обработку данных проводили при помощи построения моделей кривых и поверхностей с использованием интерполяции в приложении Matlab, Curve Fitting Toolbox [2] (рис. 1).

В первую очередь определили процентное соотношение спектрального состава облучения на территории Красноярского края (рис. 2).

После определения процентного соотношения спектрального состава солнечного излучения определили зависимость спектров излучения от высоты солнца (рис. 3).

**Результаты исследования.** Следующим этапом исследований и обработки результатов данных является наложение отношения высоты солнца, потока солнечной радиации и спектраль-

ного состава облучения на карту Красноярского края, что позволит наглядно пользоваться полученными данными, анализировать и определять рациональные режимы работы ФСЭС.

На карту Красноярского края наложены среднегодовые данные, но при необходимости

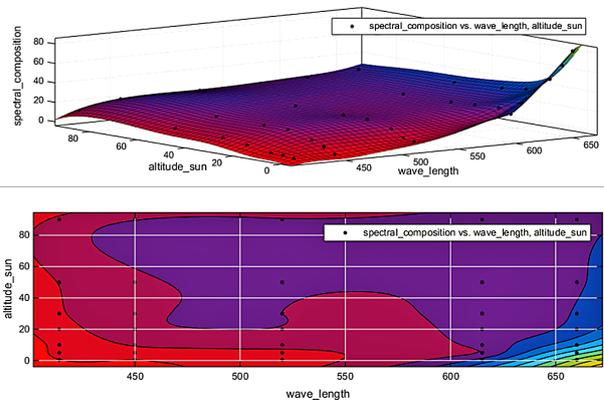


Рис. 2 – Диаграмма процентного отношения спектрального состава солнечного излучения к высоте солнца на территории Красноярского края: altitude\_sun – высота солнца в градусах; spectral\_composition – спектральный состав в %; wave\_length – длина волны

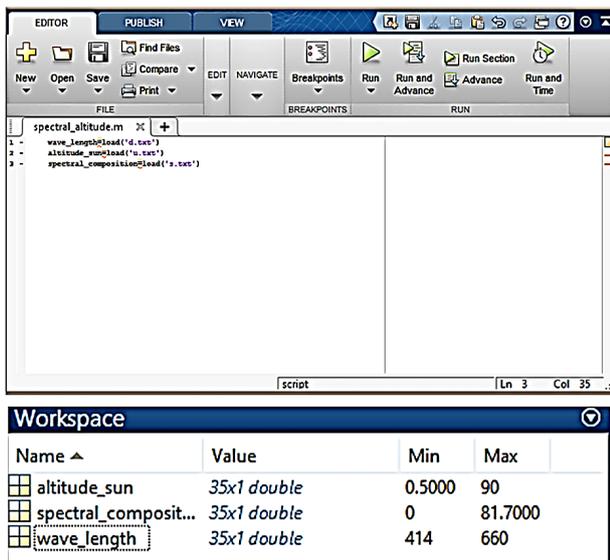


Рис. 1 – Меню программы по определению спектрального состава солнечного излучения в зависимости от высоты солнца на территории Красноярского края: altitude\_sun – высота солнца, град; spectral\_composition – спектральный состав %; wave\_length – длина волны

**Программный код:**

```
function [fitresult, gof] = createFit(wave_length,
altitude_sun, spectral_composition)
% CREATEFIT (WAVE_LENGTH,ALTITUDE_
SUN,SPECTRAL_COMPOSITION)
% Create a fit.
% Data for 'untitled fit 1' fit:
% X Input : wave_length;
% Y Input : altitude_sun;
% Z Output : spectral_composition.
% Output:
% fitresult : a fit object representing the fit.
% gof : structure with goodness-of fit info.
% See also FIT, CFIT, SFIT.
% Auto-generated by MATLAB on 20-Apr-2020
23:16:19.
%% Fit: 'untitled fit 1'.
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData(wave_
length, altitude_sun, spectral_composition);
% Set up fitype and options.
ft = 'biharmonicinterp';
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit([xData, yData], zData, ft,
'Normalize', 'on');
% Make contour plot.
figure('Name', 'untitled fit 1');
h = plot(fitresult, [xData, yData], zData, 'Style',
'Contour');
legend(h, 'untitled fit 1', 'spectral_composition vs.
wave_length, altitude_sun', 'Location', 'NorthEast');
% Label axes
xlabel('wave_length');
ylabel('altitude_sun');
grid on.
```

ту же операцию возможно провести и для сезонных данных (зима, весна, лето, осень) либо использовать среднемесячные показания.

По рисунку 4 можно определить преобладающий спектр (среднегодовое значение) солнечного излучения на территории Красноярского края.

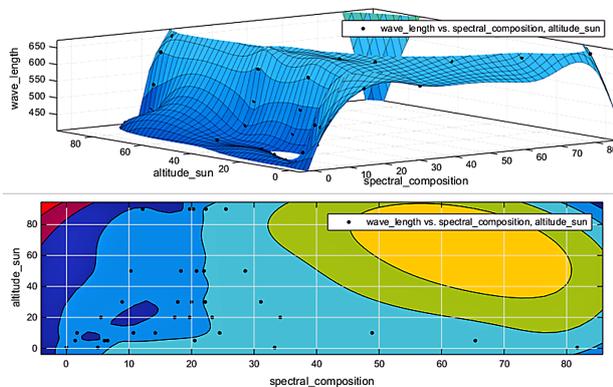


Рис. 3 – Диаграмма спектрального состава солнечного излучения в зависимости от высоты солнца на территории Красноярского края:  
altitude\_sun – высота солнца в градусах;  
spectral\_composition – спектральный состав %; wave\_length – длина волны, nm

#### Программный код:

```
function [fitresult, gof] = createFit(spectral_
composition, altitude_sun, wave_length)
% CREATEFIT(SPECTRAL_
COMPOSITION,ALTITUDE_SUN,WAVE_LENGTH)
% Create a fit.
% Data for 'untitled fit 1' fit:
% X Input : spectral_composition
% Y Input : altitude_sun
% Z Output : wave_length
% Output:
% fitresult : a fit object representing the fit.
% gof : structure with goodness-of fit info.
% See also FIT, CFIT, SFIT.
% Auto-generated by MATLAB on 20-Apr-2020
23:21:01
%% Fit: 'untitled fit 1'.
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData(spectral_
composition, altitude_sun, wave_length);
% Set up fitype and options.
ft = 'biharmonicinterp';
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit([xData, yData], zData, ft,
'Normalize', 'on');
% Make contour plot.
figure('Name', 'untitled fit 1');
h = plot(fitresult, [xData, yData], zData, 'Style',
'Contour');
legend(h, 'untitled fit 1', 'wave_length vs. spectral_
composition, altitude_sun', 'Location', 'NorthEast');
% Label axes
xlabel('spectral_composition');
ylabel('altitude_sun');
grid on
```

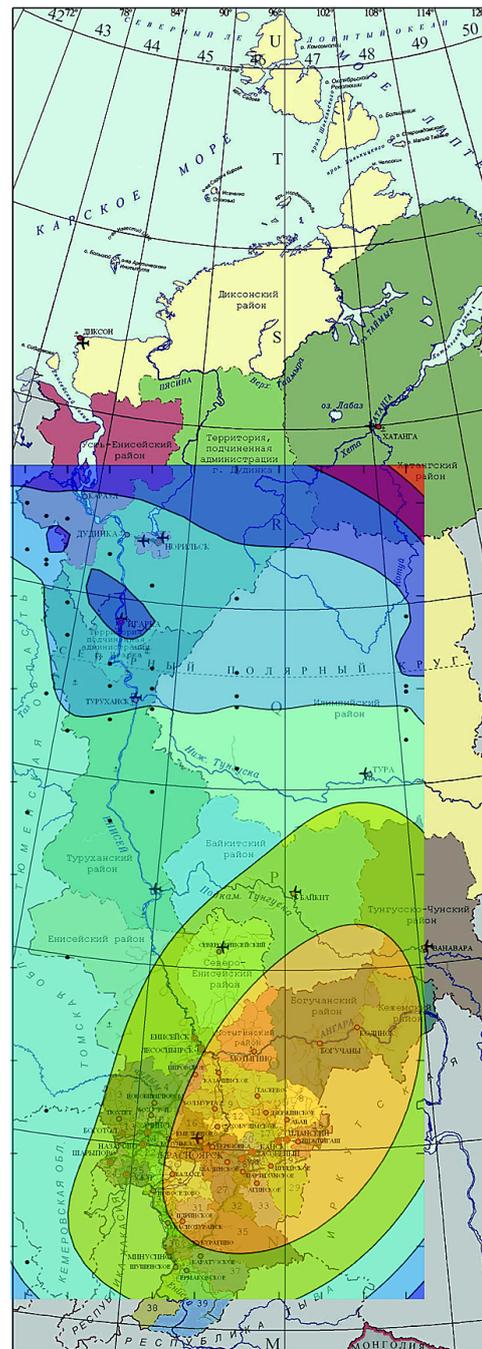


Рис. 4 – Среднегодовое отношение спектрального состава солнечного излучения на территории Красноярского края [3]

При помощи разработанного программного продукта провели оценку спектрального состава солнечного излучения на территории Красноярского края от высоты солнца над горизонтом. Полученные результаты в дальнейшем помогут определить рациональные режимы работы ФЭС для децентрализованного электроснабжения объектов малой мощности сельского и лесного хозяйства, побочного лесопользования при их проектировании, а также необходимость использования светофильтров в определённых районах края.

Неоднородность спектрального состава солнечного излучения на территории Красноярского края обуславливается тем, что спектр меняется не только от широты, но и от рельефа местности. В центральных и южных районах края преобладает солнечное излучение с длинами волн 510–550 нм; 550–590 нм; 590–630 нм, что соответствует зелёному, жёлтому и оранжевому спектру.

Цветность диаграммы программа Matlab выбирает согласно разработанным программным продуктам [4–7] и предварительно Matlab обучена на опытных данных, полученных при испытаниях на лабораторном стенде по исследованию характеристик фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и зависимостей вольт-амперных и вольт-ваттных характеристик от спектрального состава облучения. Для подтверждения результатов, выданных программой, производилась ручная сверка по случайно выбранным областям диаграммы, которая показала погрешность, не превышающую 3–5 %.

Если необходимо повысить вырабатываемую мощность, необходимо менять светофильтры согласно среднемесячным данным.

**Выводы.** Имея расчётные данные, можно определить, что выработка электроэнергии, например в с. Нижне-Усинском [8], от ФЭС без светофильтров для потребления в зимние месяцы недостаточна. Согласно диаграмме среднегодового отношения спектрального состава солнечного излучения на территории Красноярского края, в с. Нижне-Усинском преобладает зелёный и голубой спектр с длинами волн 480–510 нм, 510–550 нм солнечного излучения (среднегодовое значение). Для увеличения среднегодового значения выработки электроэнергии рекомендуется установить светофильтр зелёного цвета.

В северных районах края преобладают в основном красный и фиолетовый спектры с длинами волн  $\leq 450$  нм,  $\geq 630$  нм. Обусловлено это тем, что высота солнца невелика над горизонтом. Но из-за малого потока солнечной энергии светофильтры можно не использовать. Хотя в отдельных районах (в зависимости от рельефа местности) возможно использовать светофильтры оранжевого цвета с пропускной способностью длин волн 590–630 нм. В южных районах края рекомендуется использовать жёлтый и зелёный светофильтры с пропускной способностью длин волн 510–550 нм, 550–590 нм.

## Литература

1. Дебрин А.С., Семенов А.Ф., Бастрон А.В. Проектирование энергоэффективных ФЭС для автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Красноярского края путём использования графо-семантической базы данных энергии солнечного излучения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2020. № 3 (83). С. 216–221.
2. Debrin A.S., Semenov A.F., Bastron A.V. et al. The study of the characteristics of photovoltaic power stations and the identification of rational operating modes by changing the inclination and the spectral composition of the irradiation // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 032013.
3. Debrin A.S., Semenov A.F., Zapletina A.V. et al. Determining the factors affecting the characteristics of photovoltaic modules in the conditions of Krasnoyarsk krai // III International scientific conference: Agritech-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 548 (2020) 0320.
4. Свид. о гос. рег. для ЭВМ 2019618249. Российская Федерация. Программа по определению зависимости силы тока от облучённости и угла наклона фотоэлектрического модуля / Дебрин А.С., Семенов А.Ф., Бастрон А.В., Себин А.В.; правооблад. ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. № 2019616917; заявл. 05.06.2019; зарег. в Реестре прогр. для ЭВМ 27.06.2019.
5. Свид. о гос. рег. для ЭВМ 2019618248 Российская Федерация. Программа по определению зависимости напряжения от облучённости и угла наклона фотоэлектрического модуля / Дебрин А.С., Семенов А.Ф., Бастрон А.В., Себин А.В.; правооблад. ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. № 2019616911; заявл. 05.06.2019., зарег. в Реестре прогр. для ЭВМ 27.06.2019.
6. Свид. о гос. рег. для ЭВМ 2019610980. Российская Федерация. Графоаналитическая обработка результатов натурального эксперимента по определению зависимости вольт-амперных характеристик фотоэлектрического модуля от облучённости и угла его наклона / Дебрин А.С., Семенов А.Ф., Бастрон А.В., Сутугина К.А.; правооблад. ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. № 2019610005; заявл. 09.01.2019., зарег. в Реестре прогр. для ЭВМ 18.01.2019.
7. Свид. о гос. рег. для ЭВМ 2019610369. Российская Федерация. Графоаналитическая обработка результатов натурального эксперимента по определению зависимости вырабатываемой мощности от облучённости и угла наклона фотоэлектрического модуля / Дебрин А.С., Бастрон А.В., Семенов А.Ф., Сутугина К.А.; правооблад. ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. № 2018665181; заявл. 26.12.2018, зарег. в Реестре прогр. для ЭВМ 10.01.2019.
8. Использование солнечных фотоэлектрических станций для автономных систем электроснабжения крестьянско-фермерских хозяйств / А.В. Чебодаев, А.В. Бастрон, В.Н. Урсегов, А.С. Дебрин [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: матер. XIV Междунар. научн.-практич. интернет-конф. (2016 г.). Орёл: Орловский государственный университет, 2016. С. 204–210.

**Андрей Сергеевич Дебрин**, аспирант. ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». Россия, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, debrin.as@yandex.ru

**Andrey S. Debrin**, postgraduate. Krasnoyarsk State Agrarian University. 90, Prospect Mira, Krasnoyarsk, 660049, Russia, debrin.as@yandex.ru