

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2022)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/WRIX7218>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/UMHE8677>**\*Б. А. Нурсеитов**

Қызылординский государственный университет имени Коркыт-Ата,  
Республика Казахстан, г. Қызылорда

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK**

*Солнечная энергия является одной из чистых видов энергии которая имеется у человечества на данное время. Рациональное и эффективное применение ее на благо развития нашей цивилизации является основной задачей. Существующие теоретические методы для определения величины потока солнечной радиации разнообразны. Ядром для разработки имитационной модели в данной статье основана на методике, предложенной Liu, Jordan и ASHRAE. В результате сочетания этих методов получилась имитационная модель для прогнозирования солнечной радиации на поверхность проектируемых солнечных установок. В качестве среды для модели применена пакет расширения Simulink на основе Matlab. Шаблон модели также можно использовать на других платформах подобно Java или Python для дальнейшей реализации. Разработанная модель может быть использовано для экспериментирования в целях анализа, оценки и определения суммарного солнечного радиации по часам для ясных дней, поскольку именно в эти дни процессы, происходящие в солнечных установках, имеют наибольшую эффективность. Кроме того, данную модель можно использовать как звено для моделирования солнечных электростанции. Результаты моделирования солнечной радиации были проверены с базой данных Power Data Access Viewer NASA.*

*Ключевые слова: солнечная радиация, солнечная инсоляция, расчет гелиоустановок, имитационное моделирование, Simulink, Matlab.*

### **Введение**

На практике радиационные измерения проводятся с помощью пиранометра измеряющие плотности потока суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), а также проводятся измерения плотности потока прямой радиации с помощью пиргелиометра. Эти измерительные приборы устанавливаются на отдельных объектах в определенных

регионах. Из-за высокой стоимости этих устройств их установка на многих объектах нецелесообразна. Таким образом, существует необходимость в моделировании солнечного радиации с учетом принципов солнечной астрономии и геометрии. Эти модели впоследствии могут быть использованы для прогнозирования солнечной радиации в местах, где не установлено устройство для измерения солнечной энергии.

### Материалы и методы

Солнечная радиация распространяется в виде прямого солнечного излучения, представленной прямой линией, связывающей собой Солнце и приемную площадку солнечного излучения. Вследствие наличия атмосферы и подстилающей поверхности Земли на горизонтальную приемную площадку солнечное излучение поступает уже в виде двух компонентов, а именно прямого  $G_B$  и рассеянного  $G_D$  солнечного излучения. Рисунок 1 иллюстрирует составляющую солнечного излучения на горизонтальной поверхности.

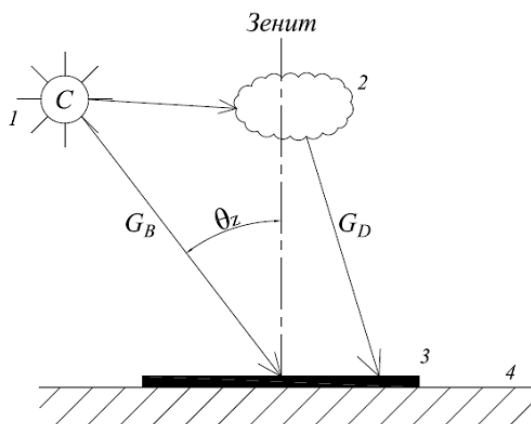


Рисунок 1 – Основные составляющие солнечного излучения на горизонтальной поверхности:

1 – Солнце; 2 – облака; 3 – приемная площадка; 4 – поверхность Земли

Поток суммарной солнечной радиации  $G_T$  может быть записано следующим образом:

$$G_T = G_B + G_D \quad (1)$$

Когда луч внеземного солнечного излучения проходит через атмосферу, многие компоненты этого луча поглощаются, ослабляются и рассеиваются небесными газами или молекулами воздуха. Ослабление этого луча из-за пыли, загрязнения воздуха, водяного пара, облаков и мутности можно смоделировать. По методике, предложенной ASHRAE [1] прямое солнечное излучение по нормали, достигающее поверхности Земли  $G_{B, norm}$  может быть выражена:

$$G_{B, norm} = A e^{\frac{-K}{\theta_z}} \quad (2)$$

где  $\theta_z$  – зенитный угол Солнца, т.е. угол между направлением на Солнце и вертикалью;  $K$  – оптическая толщина атмосферы;  $A$  – внеземной поток.

Зенитный угол Солнца определяется по выражению [2]:

$$\theta_z = \arccos[\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega] \quad (3)$$

где  $\delta$  – склонение, т.е. угловое положение Солнца в солнечной полдень относительно плоскости экватора;  $\varphi$  – широта местности, град (положительно для северного полушария);  $\omega$  – часовой угол, равный нулю в солнечной полдень, каждый час соответствует  $15^\circ$  долготы, причем значения часового угла до полудня считаются отрицательными, а после полудня – положительными.

Коэффициенты  $A$  и  $K$  вычисляются по формулам:

$$A = 1160 + 75 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (4)$$

$$K = 0.174 + 0.035 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (5)$$

где  $n$  – порядковый номер дня.

Часовой угол  $\omega$  вычисляется по формуле:

$$\omega = 15(LST - 12) \quad (6)$$

где  $LST$  – местное солнечное время;

Местное солнечное время  $LST$  определяется по формуле:

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (7)$$

где  $LT$  – местное время;  $TC$  – поправочный коэффициент по времени.

Поправочный коэффициент по времени  $TC$  определяется по формуле:

$$TC = 4(L - LSTM) + EoT \quad (8)$$

где  $LSTM$  – меридиан местного стандартного времени;

$EoT$  – уравнение времени в минутах.

Меридиан местного стандартного времени  $LSTM$  и уравнение времени  $EoT$  [3] вычисляются по формулам:

$$LSTM = 15UTC \quad (9)$$

$$EoT = 229.2(0.00075 + 0.001868 - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B) \quad (10)$$

где  $UTC$  – часовой пояс по Гринвичу;

Коэффициент  $B$  определяется по формуле:

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (11)$$

Склонение  $\delta$  можно определить по приближенной формуле Купера [4]:

$$\delta = 23.45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (12)$$

Теперь прямое солнечное излучение, на горизонтальной поверхности  $GB$ , может быть выражено через:

$$G_B = G_{B,norm} \cos \theta_z \quad (13)$$

Расчет рассеянного излучения, падающего на горизонтальный поверхность, является более сложным по сравнению с расчетом прямого солнечного излучения. Входящее излучение может рассеиваться от атмосферных частиц и водяного пара, а также отражаться облаками. Некоторое излучение отражается от поверхности обратно в небо и снова рассеивается обратно на землю. Простейшие модели рассеянного излучения предполагают, что оно поступает на участок с одинаковой интенсивностью со всех направлений, то есть небо считается изотропным. После этого рассеянное солнечное излучение может быть аппроксимировано:

$$G_D = 0.095 + 0.04 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 100)\right) G_{B, norm} \quad (14)$$

Компоненты падающего солнечного излучения на наклонной поверхности показаны на рисунке 2. В дополнение к прямым  $G_{B\beta}$  и диффузным  $G_{D\beta}$  солнечным излучением, добавляется новый компонент, называемый отраженным солнечным излучением  $G_R$  от поверхности Земли.

Эти компоненты могут быть выражены через:

$$G_{T\beta} = G_{B\beta} + G_{D\beta} + G_R \quad (15)$$

Уравнение (15) можно также представить в виде соотношения предложенной Liu, Jordan [5]

$$G_{T\beta} = G_B R_B + G_D R_D + G_T \rho R_R \quad (16)$$

где  $R_B$ ,  $R_D$  и  $R_R$  – коэффициенты,  $\rho$  – альbedo земной поверхности.  $R_B$  – отношение потока радиации, падающего по нормали на наклонную поверхность, к соответствующему потоку радиации падающего на горизонтальную поверхность.  $R_D$  – отношение между потоком рассеянной радиации на горизонтальной поверхности и рассеянной радиации на наклонной поверхности.  $R_R$  – коэффициент отраженной потока радиации на наклонной поверхности.

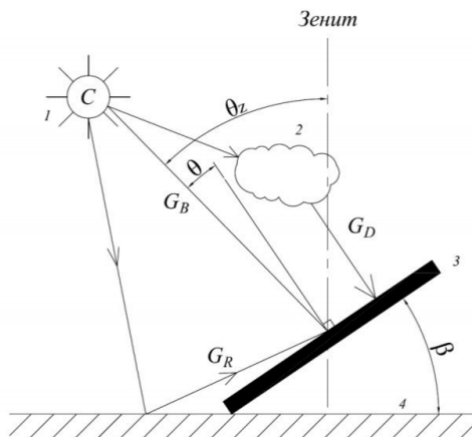


Рисунок 2 – Основные составляющие солнечного излучения на наклонной поверхности:

1 – Солнце; 2 – облака; 3 – приемная площадка; 4 – поверхность Земли

Коэффициенты  $R_B$ ,  $R_D$  и  $R_R$  определяются следующим образом:

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (17)$$

$$R_D = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (18)$$

$$R_R = \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (19)$$

где  $\beta$  – угол наклона;  $\theta$  – угол падения прямого солнечного излучения, измеряемый между направлением излучения и нормалью к поверхности. Соотношение между  $\theta$  и другими углами можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (20)$$



где  $\gamma$  – азимутальный угол плоскости, т.е. отклонение нормали к плоскости от местного меридиана (за начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается отрицательным, к западу – положительным).

Часовой угол восхода – захода Солнца рассчитывается по формуле [4]:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (21)$$

Из этого следует также, что продолжительность светового дня может быть задана соотношением

$$T_d = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (22)$$

### Результаты и обсуждение

Модель разработана в среде Simulink Matlab виде маскированной подсистемы, состоящей из 5 функциональных блоков, 2 подсистем. Результаты моделирования отображаются на 4 дисплеях и 1 осциллографе. Функциональные блоки и подсистемы обеспечивают решение уравнений (1-22).

Блок схема модели расчета солнечной радиации с окном ввода данных, дисплеем и осциллографом представлены на рисунке 3.

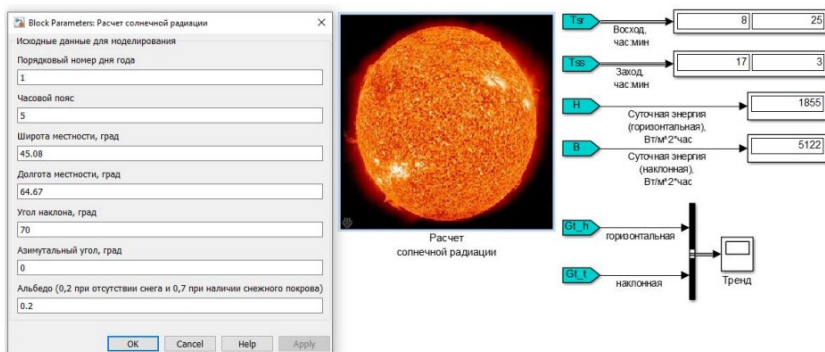


Рисунок 3 – Модель расчета солнечной радиации

Модель позволяет определять текущие значения величины приходящей солнечной радиации для любого дня года в произвольном географическом месте размещения.

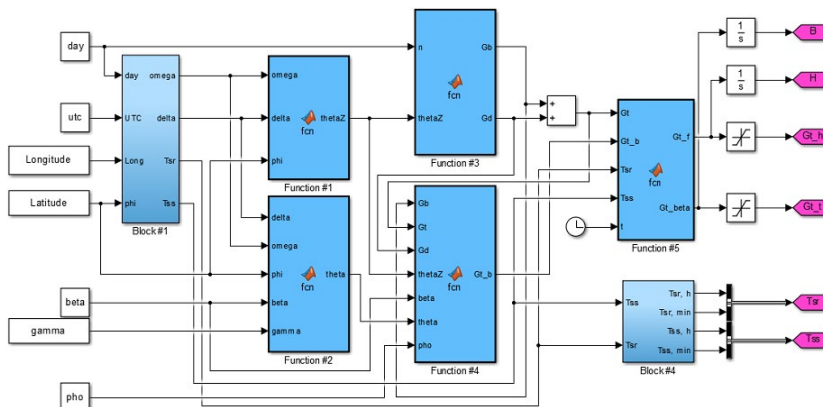


Рисунок 4 – Подсистема модели расчета солнечной радиации

В подсистеме блока №1 из рисунка 5 обеспечивают решение уравнения склонение Земли (12), продолжительность светового дня (22), часового угла (6). С помощью интегратора генерируется сигнал виде линейной функции, имитирующий модель реального времени интервалом от 0 до 24 часов.

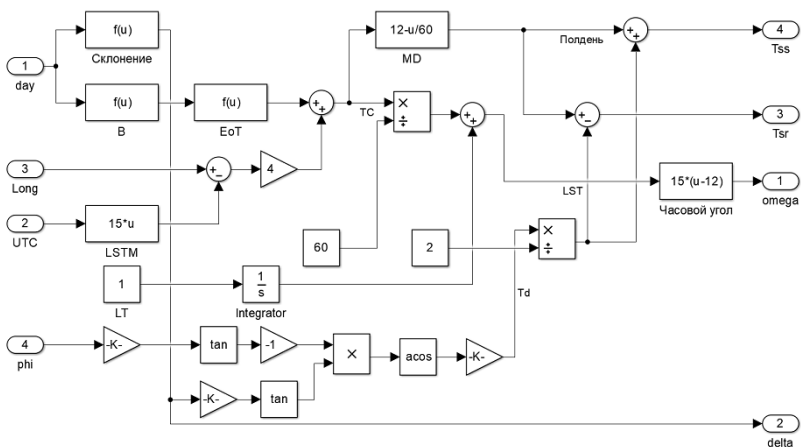
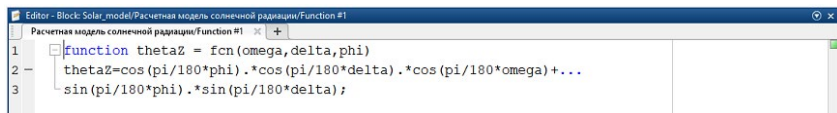


Рисунок 5 – Подсистема Блока № 1

В функциональном блоке № 1 из рисунка 6 вычисляется зенитный угол Солнца (3) с тремя параметрами.



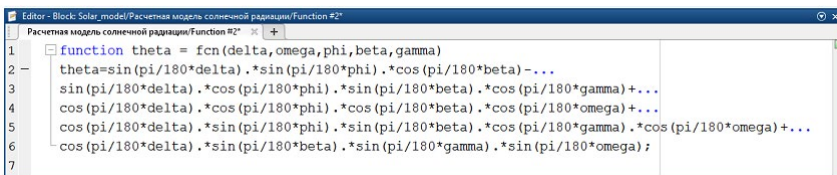
```

1 function thetaZ = fcn(omega, delta, phi)
2 thetaZ=cos(pi/180*phi) .* cos(pi/180*delta) .* cos(pi/180*omega)+...
3 sin(pi/180*phi) .* sin(pi/180*delta);

```

Рисунок 6 – Функциональный блок № 1

Аналогично в функциональном блоке №2 из рисунка 7 определяется угол между направлением излучения и нормалью к поверхности (20) с пятью параметрами.



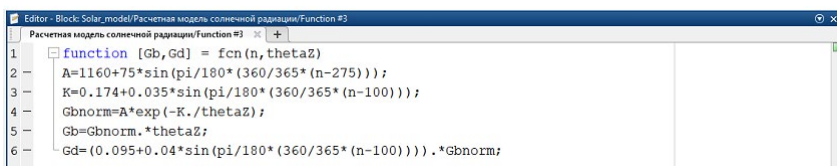
```

1 function theta = fcn(delta, omega, phi, beta, gamma)
2 theta=sin(pi/180*delta) .* sin(pi/180*phi) .* cos(pi/180*beta)-...
3 sin(pi/180*delta) .* cos(pi/180*phi) .* sin(pi/180*beta) .* cos(pi/180*gamma)+...
4 cos(pi/180*delta) .* cos(pi/180*phi) .* cos(pi/180*beta) .* cos(pi/180*gamma)+...
5 cos(pi/180*delta) .* sin(pi/180*phi) .* sin(pi/180*beta) .* cos(pi/180*gamma) .* cos(pi/180*omega)+...
6 -cos(pi/180*delta) .* sin(pi/180*beta) .* sin(pi/180*gamma) .* sin(pi/180*omega);
7

```

Рисунок 7 – Функциональный блок № 2

В функциональном блоке №3 из рисунка 8 рассчитывается прямое (13) и диффузное (14) солнечное излучение на горизонтальной поверхности. А на рисунке 9 солнечное излучение на наклонную поверхность (16).

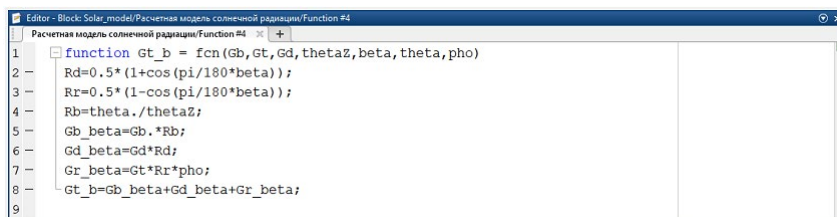


```

1 function [Gb, Gd] = fcn(n, thetaZ)
2 A=1160+75*sin(pi/180*(360/365*(n-275)));
3 K=0.174+0.035*sin(pi/180*(360/365*(n-100)));
4 Gbnorm=A*exp(-K./thetaZ);
5 Gb=Gbnorm.*thetaZ;
6 Gd=(0.095+0.04*sin(pi/180*(360/365*(n-100)))) .* Gbnorm;

```

Рисунок 8 – Функциональный блок №3



```

1 function Gt_b = fcn(Gb, Gt, Gd, thetaZ, beta, theta, pho)
2 Rd=0.5*(1+cos(pi/180*beta));
3 Rr=0.5*(1-cos(pi/180*beta));
4 Rb=theta./thetaZ;
5 Gb_beta=Gb.*Rb;
6 Gd_beta=Gd*Rd;
7 Gr_beta=Gt.*Rr.*pho;
8 Gt_b=Gb_beta+Gd_beta+Gr_beta;
9

```

Рисунок 9 – Функциональный блок №4

В последнем функциональном блоке № 5 из рисунка № 10 представлены вычисления только в пределах времени восхода и захода Солнца.

```
Editor - Block_Solar_model/Расчетная модель солнечной радиации/Function #5*
1 function [Gt_f,Gt_beta] = fcn(Gt,Gt_b,Tsr,Tss,t)
2 if Tsr<t && Tss>t
3     Gt_f=Gt;
4 else
5     Gt_f=0;
6 end
7 if Tsr<t && Tss>t
8     Gt_beta=Gt_b;
9 else
10    Gt_beta=0;
11 end
```

Рисунок 10 – Функциональный блок № 5

Из рисунка 11 следует что, пользователь модели получает в виде графика солнечной радиации на горизонтальную и наклонную поверхность для гелиоустановок.

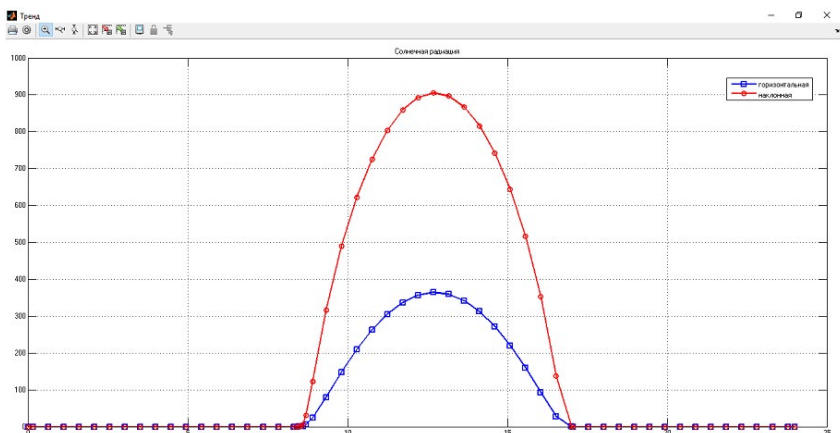


Рисунок 11 – График солнечной радиации

Для проверки модели использовались данные суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, представленные в свободном доступе на сайте NASA [6]. Проведенная серия анализов показала, что модель прихода солнечной радиации в ясный день без облачности обеспечивает правильное отображение результатов по расчету: средняя относительная погрешность модели не превышает 10 %, что вполне пригодно для выполнения инженерных расчетов.

### Выводы

Разработана имитационная модель на основе Matlab Simulink, обеспечивающая исследование потока солнечной радиации в реальных

условиях. Исходными данными моделирования являются широта и долгота местности, альbedo земной поверхности, номер дня года, азимутальный угол и угол наклона гелиоустановок, часовой пояс и местное время.

В процессе моделирования рассчитываются временные тренды интенсивности солнечной радиации. Полученные при моделировании данные, обеспечивают возможность выбора гелиоустановок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 ASHRAE Handbook, 1985 Fundamentals; American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2011.

2 **John, A. Duffie, William A. Beckman.** Solar Engineering of Thermal Processes. Fourth Edition. Hoboken, New Jersey, USA, 2013.

3 **Iqbal, M.** An Introduction to Solar Radiation, Academic, Toronto (1983).

4 **Cooper, P. I.** The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. Solar Energy, 12, 3 (1969).

5 **Liu, B. Y. H., Jordan, R. C.** Daily insolation on surfaces tilted towards the equator // ASHRAE Journal. 1961.

6 NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

7 Solar Time [Электронный ресурс]: <https://www.pveducation.org/pvc/drom/properties-of-sunlight/solar-time>

8 **Tamer Khatib,** Wilfried Elmenreich Modeling of Photovoltaic Systems Using MATLAB: Simplified Green Codes, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2016.

9 **Daryl, R. Myers.** Solar radiation Practical Modeling for Renewable Energy Applications. CRC Press. Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA 2013.

10 **Виссарионов, В. И., Дерюгина, Г. В., Кузнецова, В. А., Малинин, Н. К.** Солнечная энергетика. 2-е изд., стер. – М. : ИД МЭИ, 2011. – 276 с.

## REFERENCES

1 ASHRAE Handbook, 1985 Fundamentals; American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2011.

2 **John A. Duffie, William A. Beckman.** Solar Engineering of Thermal Processes. Fourth Edition. Hoboken, New Jersey, USA, 2013.

3 **Iqbal, M.** An Introduction to Solar Radiation, Academic, Toronto (1983).

4 **Cooper, P. I.** The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. Solar Energy, 12, 3 (1969).

5 **Liu, B. Y. H., Jordan, R. C.** Daily insolation on surfaces tilted towards the equator // ASHRAE Journal. 1961.

6 NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Electronic resource]. – <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

7 Solar Time [Electronic resource]. – <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-time>

8 **Tamer Khatib,** Wilfried Elmenreich Modeling of Photovoltaic Systems Using MATLAB: Simplified Green Codes, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2016.

9 **Daryl, R. Myers.** Solar radiation Practical Modeling for Renewable Energy Applications. CRC Press. Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA 2013.

10 **Vissarionov, V. I., Deriugina, G. V., Kuznetcova, V. A., Malinin, N. K.** Solnechnaia energetika [Solar energy]. 2-e izd., ster. – Moscow : ID MEI, 2011. – 276 p.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

\**Б. А. Нурсеитов*

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті,

Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

## **MATLAB SIMULINK БАҒДАРЛАМАСЫНДА КҮН РАДИАЦИЯСЫНЫҢ ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ**

*Күн энергиясы – бұл қазіргі уақытта адамзат үшін қол жетімді энергияның таза түрлерінің бірі. Оны өркениетіміздің дамуы үшін ұтымды және тиімді пайдалану басты мәселе болып саналады. Күн радиациясының шамасын анықтаудың қолданыстағы теориялық әдістері сан түрлі. Осы мақалада модельдеудің ядросы ретінде Liu, Jordan және ASHRAE ұсынған әдістері негізінде орындалған. Осы әдістерді қолдану нәтижесінде жобаланатын күн қондырғыларының бетіне түсетін күн радиациясын болжау үшін имитациялық модель жасалынды. Модельді орындау үшін платформа ретінде Matlab негізіндегі Simulink пакеті қолданылды. Осы шаблонды пайдаланып одан әрі іске асыру үшін Java немесе Python сияқты платформаларда да қолдануға болады. Әзірленген модельді ашық аспанда нақты күндер үшін сағат бойынша күн радиациясын талдау, бағалау және анықтау мақсатында компьютерлік тәжірибелер жасауға болады, өйткені дәл осы күндері күн қондырғыларында болатын процестер*

*ең тиімді болып табылады. Сонымен қатар, бұл модельді күн электр станцияларын модельдеу үшін сілтеме ретінде пайдалануға болады. Күн радиациясын модельдеу нәтижелері Power Data Access Viewer NASA деректер базасымен тексерілді.*

*Кілтті сөздер: күн радиациясы, күн инсоляциясы, күн қондырғыларын есептеу, модельдеу, Simulink, Matlab.*

*\*B. A. Nurseitov*

Korkyt Ata University,  
Republic of Kazakhstan, Kyzylorda.  
Material received on 28.02.22.

## **SIMULATION MODELING OF SOLAR IRRADIANCE ON MATLAB SIMULINK**

*Solar energy is one of the clean types of energy that humanity has at this time. Rational and effective use of it for the benefit of the development of our civilization is the main task. The existing theoretical methods for determining the magnitude of the solar radiation flux are diverse. The core for the simulation model development in this article is based on the methodology proposed by Liu, Jordan and ASHRAE. A combination of these methods is used to obtain a simulation model for predicting solar radiation on the surface of projected solar installations. The Simulink based on Matlab is used as the environment for the model. The model template can also be used on other platforms like Java or Python for further implementation. The developed model can be used for experimentation in order to analyze, evaluate and determine the total solar radiation by the hour for clear days, since it is on these days that the processes occurring in solar installations have the greatest efficiency. In addition, this model can be used as a link for modeling solar power plants. The results of the solar radiation simulation were verified with the NASA Power Data Access Viewer database*

*Keywords: solar radiation, solar insolation, calculation of solar installations, simulation modeling, Simulink, Matlab.*

Теруге 28.02.2022 ж. жіберілді. Басуға 18.03.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,77 Мб RAM

Шартты баспа табағы 13,12. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3883

Сдано в набор 28.02.2022 г. Подписано в печать 18.03.2022 г.

Электронное издание

3,77 Мб RAM

Усл. печ. л. 13,12. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3883

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)