

Т. К. АХМЕДЖАНОВ, М. М. ӘБДІБАТТАЕВА, Ж. Ө. ЖҰБАНДЫҚОВА

ГЕЛИОҚҰРЫЛҒЫНЫҢ ТІК ЖӘНЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯР ЖАРЫҚ МӨЛДІРЛЕТКІШ БЕТІНЕ ТҮСЕТІН ТУРА КҮН РАДИАЦИЯСЫНЫҢ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫН ЕСЕПТЕУ

Күн радиациясының қайта түзілу жүйесін жобалағанда және көбінесе гелиокондырғының жарық мөлдір бетінің жылу шығыны мен жылулық режимін есептегенде, әсіресе, жиектің салыстырмалы жақтарына түрлі бағытталған тік бетіне түсетін күн энергиясының мөлшерін дұрыс есепке алу маңызды.

Осы уақытқа дейін түрлі бағыттағы тік бетіне келетін күн радиациясы туралы мәліметтер нормативті құжаттарда жоқ. Жылу техникалық есептеулерде, әсіресе, күн энергиясы коллекторын жобалағанда тік бетіне түсетін тура және шашыранды күн энергиясы жеткілікті толық бағаланбаған [1].

Сондықтан да түрлі бағыттағы тік бетіне түсетін тура және шашыранды күн энергиясының қарқындылығын есептеу іс жүзінде зор қызығушылық білдіреді.

Күн сәулесінің жер атмосферасы арқылы өткенде келесі жағдайлардың есебінен қарқындылығы төмендейді:

- Құрғақ ауа молекуласымен сіңірілуі және шашырауы (релейлік шашырау);
- Шаңмен сіңірілу және шашырау;
- Су буымен, көміртегі тотығымен және көмір қышқыл газымен селективті сіңірілуі;
- Бұлт қабаттарымен шағылысуы және сәулеленуі.

Жер бетіндегі жазық параллельді атмосфера моделіндегі тура күн энергиясы кернеулігі [2, 3] келесі қатынаспен өрнектеледі:

$$S_{\lambda}(h, m) = S_{o, \lambda} e^{-m[\tau_h^{\infty}(\lambda) + \alpha_{\lambda} x]} T\left(\bar{q}_{H_2O} \sqrt{m}\right) T\left(\bar{q}_{CO_2} \sqrt{m}\right), \quad (1)$$

мұндағы m – атмосфера массасы; h – теңіз деңгейінен жер биіктігі; a – озонның сіңіру коэффициенті; x – атмосферадағы озонның жалпы мөлшері (см); $\tau_h^{\infty}(\lambda)$ – h деңгейінен жоғарғы шекараға дейінгі атмосфераның оптикалық қалыңдығы; $S_{o, \lambda}$ – берілген спектральды интервалдағы атмосферадан тыс тура күн энергиясының қарқындылығы;

$T\left(\bar{q}_{H_2O} \sqrt{m}\right) T\left(\bar{q}_{CO_2} \sqrt{m}\right)$ – сәйкесінше су буы мен көмір қышқыл газын өткізу қызметі.

Тура күн энергиясының интегралды ағыны келесі

қатынаспен беріледі:

$$S(h, m) = \int_0^{\infty} S_{o, \lambda} e^{-m[\tau_h^{\infty}(\lambda) + \alpha_{\lambda} x]} T\left(\bar{q}_{H_2O} \sqrt{m}\right) \Theta \Theta T\left(\bar{q}_{CO_2} \sqrt{m}\right) \cdot d_{\lambda} + f(m) \cdot \frac{S(h, m)}{S_{ид}(h, m)}, \quad (2)$$

бұнда $f(m)$ – В. Г. Кастров бойынша нақты таза және құрғақ атмосферадағы перманентті газдармен сіңірілуін ескеретін түзету [4].

(1) және (2) қатынастан көрініп тұрғандай, тура күн энергиясы ағыны ауалық масса (m) мен атмосфераның сіңіретін компонентінің мөлшеріне тәуелді, оның шамасы келесі қатынаспен күннің зенитті бұрышымен z байланысты

$$m = \sec z. \quad (3)$$

Келтірілген формулалар бойынша толық есеп тек сіңірудің қатаң анықталған қызметі жағдайында және белгілі сіңіретін компонент мөлшерінде орындалуы мүмкін.

Себебі аталған факторлардың әрқайсысы нақты жағдайда өте кең ауқымда өзгереді, есептеулер әдетте кейбір аз немесе көп негізделген атмосфера моделі үшін жүргізіледі.

Ұқсас есептеулер, әрине, шектеулі мәнге ие және түрлі ендікке және сіңіру қызметі мен сіңіргіш компоненттің таралуының күрт айқындалған ерекшеліктері басым климаттық аймақтарға түсетін күн энергиясының массалық есебі үшін қолданылмайды.

Тік түрлі бағытталған гелиоқұрылғының бетіне түсетін тура күн энергиясын есептегенде перпендикуляр бетке түсетін тура күн энергиясының кернеулігінің эксперименттік анықталған мәні бойынша тура күн энергиясын есептеу әдістемесі қолданылады [2, 3]. Бұл мәліметтер берілген жердің орташа радиациялық жағдайын, яғни жергілікті жердің ендігі мен жыл уақыты жағдайында сіңіретін компоненттің орташа таралуын ескереді.

Тік бетке түсетін тура күн энергиясының есебі келесі формула бойынша жүргізіледі:

$$S_e = S \perp \cos \theta, \quad (4)$$

мұндағы, S_e , S^{\wedge} – тік және перпендикуляр бетке түсетін тура күн энергиясының кернеулігі; $\cos \theta$

– берілген нүктеде қалыпты беті мен күн сәулесі бағыты арасындағы бұрыш.

cosq шамасы сфералық тригонометрия формуласымен сәйкес әрбір бағыттағы жарық мөлдір беті үшін жеке анықталады:

$$\cos q_o = \cos d \sin j \cos g - \sin d \cos j ; \quad (5)$$

$$\cos q_c = \sin d \cos j - \cos d \sin j \cos g ; \quad (6)$$

$$\cos q_{б,ш} = \cos d \sin g ; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \cos q_{об,ош} = \\ & = 0,707 (\cos d \sin j \cos g - \sin d \cos j + \cos d \sin g) ; \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cos q_{сб,сш} = \\ & = 0,707 (\cos d \sin g + \sin d \cos j + \cos d \sin j \cos g) ; \quad (9) \end{aligned}$$

мұндағы j – жергілікті жер ендігі; d – күннің еңісі; g – нақты түстен кейінгі уақыттан есептелетін берілген уақыттағы күннің сағаттық бұрышы.

C, CШ, O индекстері және т.б. сәйкесінше солтүстік, солтүстік шығыс және оңтүстік бағытты білдіреді. S^ шамасы актинометриялық орталықтың нақты бақылау мәліметтері бойынша анықталады.

Ертеректе қолданылатын S анықтау үшін есептік формулалар, соның ішінде ең кең таралған Кастров-Савинов формуласы келесідей түрде өрнектеледі:

$$S^{\wedge} = S_o \sin h_{\pi} / \sin h_{\pi} + C, \quad (10)$$

мұндағы h_π – берілген уақыттағы күн биіктігі; S_o – атмосфера шекарасындағы күн тұрақтылығы; C – эмпирикалық коэффициент (атмосфера мөлдірлігін сипаттайтын), тек атмосфераның қалыпты және жоғары мөлдірлігінде жақсы нәтижелер береді.

Осы аралықта белгілісі, атмосфера мөлдірлігі көптеген факторларға, соның ішінде шамасы жыл ағымында және тіпті тәулікте күрт өзгертін ауаның ылғал мөлшеріне байланысты өзгереді.

Осыған байланысты С. И. Сивков [7] қандай да бір тұрақтылық бойынша радиацияны анықтау барлық жыл ағымында мөлдірлік коэффициент шамасына үлкен қателікпен келуі керек деп есептейді. Бұдан басқа атмосфера мөлдірлігі ендік бойынша айтарлықтай өзгереді (1-кесте). 1-кестеде C коэффициенті шамасы формула бойынша есептелген, онда S^ шамасы нақты бақылау мәліметіне сәйкес келеді.

1-кесте. 1,98 кал/см²мин тең күн тұрақтылығындағы C коэффициентінің мәні

Географиялық	Жиек үстіндегі күннің тұру биіктігі				
ендік, ° с.е.	10°	20°	30°	40°	50°

40	0,367	0,383	0,382	0,394	0,407
46	0,351	0,383	0,382	0,413	0,415
50	0,290	0,383	0,373	0,391	0,401

C орташаданған шамасы бойынша есептеу көбінесе Л. Л. Дашкевичпен жасалынғандай, C коэффициентін таратудағы ерекшелікпен байланысты қатені анықтауды нәтижеге енгізді. Бұдан басқа соңғы жылдар мәліметтеріне сәйкес метеорологиялық күн тұрақтылық S_o шамасы да біршама өзгерген. Қабылдау бетіндегі күн радиациясы қарқындылығы күннің тұру биіктігі мен күн сәулесінің түсу бұрышына, атмосфераның мөлдірлігіне, ауа ылғалдылығына мөлдір қозғалыстың тазалығына тәуелді кең аумақта өзгереді.

Бұлт кезде, егер ол тұтас емес сирек болса қондырғы көлеңкеленеді де, оған тек шашыранды күн радиациясы түседі. Ал сәулеленген жағдайда күн радиациясының барлық түрі түседі. Осындай кезеңдік әлсіз түсетін күн радиациясын біртекті, бірақ бұлттылыққа пропорционалды азайған түрінде қарастыруға болады. Қондырғының сәуле қабылдайтын бетіне түсетін және сіңірілген радиацияның жалпы мөлшері dt уақытында келесі формуламен анықталады:

$$\begin{aligned} & \frac{10-n}{10} E_1 \varepsilon_1 d\tau + \frac{10-n}{10} E_2 \varepsilon_1 d\tau + \\ & + E_3 \varepsilon_1' d\tau + \frac{10-n}{10} E_4 \varepsilon_1 d\tau + \\ & + \frac{n}{10} E_4' \varepsilon_1 d\tau + E_4 \varepsilon_1'' d\tau_0 = \\ & = E_0 (\varphi, \delta, \eta_{ош}, \varepsilon, U, T_0) d\tau, \end{aligned}$$

(11) мұндағы n – баллмен бағаланатын бұлттылық,

ε₁, ε₁' , ε₁'' – қондырғының қабылдайтын бетінің

интегралды сіңіру коэффициенті (ε₁ – күндік, ε₁' –

жер, ε₁'' – атмосфералық радиация); U – су буы-

ның серпімділігі; φ – ауа ылғалдылығы; η_{ош} – жер

бетінің шағылысу коэффициенті; E₁ –

тура күн радиациясының қарқындылығы; E₂ – жер бетінен шағылысқан тура күн радиациясының қарқындылығы, E₃ – жер бетінің бірлік өзіндік сәулесі; E₄ – шашыранды радиация; E₄' – бұлтты

аспанның шашыранды күн радиациясы; E₅ – жер бетіне бағытталған интегралды атмосфералық

сәуле, Q_0 – “күн тұрақтылығы”.

Жер сәулесін жеткілікті қара деп санап, келесі формуламен есептеуге болады:

$$E_3 = C_\gamma T_0^4, \text{ ккал/м}, \quad (12)$$

мұндағы T_0 – қоршаған ауа температурасы.

Егер күн биіктігінен басқа оның басқа факторлардан тәуелділігін сақтасақ, шашыранды радиация қарқындылығының орташа мәні:

$$E_4 = 70\sqrt{\sin \beta}, \text{ ккал/м}^2\text{ч}. \quad (13)$$

Бұлтты аспанның шашыранды радиациясының қарқындылығы бұлттылықтың сипатына тәуелді. Есептеулерде эксперименттік мәліметтер [7] немесе осы мәліметтердің жуық мәндері қолданылуы мүмкін.

$$E_4' = 90n^{\frac{1}{3}} \sin \beta, \text{ ккал/м}^2\text{ч}. \quad (14)$$

Жер бетіне бағытталған интегралды атмо-сфера сәулесі үшін Ангстрем формуласы: ал

$$E_5 = C_\gamma T_0^4 (0,75 - 0,32 \times 10^{-0,069}) U E_1 = Q P^m, \quad \text{ккал/м}^2\text{ч}. \quad (15)$$

Бугер формуласы бойынша тура күн радиациясының қарқындылығы:

$$E_1 = Q_0 P^m. \quad (16)$$

мұндағы P – өзгермеген үшін атмосфера мөлдірлігі коэффициенті 0,75 тең деп қабылдануы мүмкін.

Атмосфера массасын белгілі формула бойынша есептеуге болады:

$$m = \frac{H}{H_0} \times \frac{j}{58,36'' \cos \beta}, \quad (17)$$

$$j = 21,5 \frac{H}{H_0} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right),$$

мұндағы j – рефракция, H – қысым және T_0 – өлшеу орнындағы температура. Жер деңгейінен $H=H_0=760$ мм сын. бағ. деп болжасақ, онда,

$$Q_0 = 1,9 \text{ ккал/см}^2 \text{ мин},$$

$$E_1 = 1140 - 0,75 \frac{280}{T_0 \sin \beta}. \quad (18)$$

(18)

Егер күн радиациясын қабылдайтын беті күн сәулесінің бағытына перпендикуляр орналасқан болса, онда осы бетке түсетін күн радиациясының қарқындылығы E_1 берілген бетке қалыпты вектор проекциясымен E_1 анықталады да, келесі формула

бойынша есептеледі:

$$E_{nao} = E_{\perp} \xi \kappa_{bx}^{np} \cos i + E_{\text{diff}}$$

немесе

$$E_{nao} = 1140 \times 0,75 \frac{280}{T_0 \sin \beta \xi \kappa_{bx}^{np} \cos i + E_{\text{diff}}}. \quad (19)$$

мұндағы $\cos i$ – сәуле бағыты мен қалыпты және тікелей беті аралығындағы косинус бұрыш; κ_{bx}^{np} – қалыпты түсетін сәулеге мөлдір тосқауылға кіру коэффициенті; ξ – еңіс түсетін сәулеге мөлдір тосқауылдан салыстырмалы өту коэффициенті (мөлдір тосқауыл қалыңдығында сәуле жолының ұзындығын көбейту салдарынан шыныдан өтетін сәуле мөлшерінің азаюын сипаттайды) [7].

Кез келген ендік жыл уақытысы, күні және қабылдау бетінің бағыты үшін күннің тұру биіктігінің мәні келесі формула бойынша табылады:

$$\sin \beta = \cos \delta \cos \varphi \cos \gamma + \sin \varphi \sin \delta, \quad (20)$$

мұндағы φ – жергілікті жердің географиялық ендігі, град., δ – күннің еңіс тартуы, град., γ – сағаттық бұрыш, град (түстен кейін саналатын және 15 көбейтілген сағат саны).

Әрбір айдың 21 күніне күннің еңіс тартуының δ шамасы 2-кестеде келтірілген.

2-кесте. Әрбір ай үшін күн еңістігінің шамасы

Айлар	δ	Айлар	δ	Айлар	δ
Қаңтар	-19°51	Мамыр	+20°09	Қыркүйек	+0°48
Ақпан	-10°38	Маусым	+23°27	Қазан	-10°38
Наурыз	-0°09	Шілде	+20°32	Қараша	-19°53
Сәуір	+11°47	Тамыз	+12°12	Желтоқсан	-23°27

Қабылдайтын бетке түсетін тура күн радиациясының қарқындылығын анықтайтын (19) теңдеуде жарықтың бағыттарына қатысты қондырғының түрлі бағытталуында күн сәулесінің түсу бұрышын (i) анықтау талап етіледі.

Бұл бұрыш аспан сферасындағы параллактикалық үшбұрыштан сфералық тригонометрия формуласы бойынша барлық мүмкіндіктер үшін есептеледі.

Біздің есептеулер үшін инженер И. К. Разумовпен келтірілген келесі теңдеулерді қолданамыз.

$$\cos i_o^e = (\cos \delta \cos \gamma + \sin \delta \sin \varphi) \cos \Delta + (\cos \delta \sin \varphi \cos \gamma + \sin \delta \cos \varphi) \sin \Delta,$$

(21)

$$\cos^e_{\alpha-\beta,\alpha-\beta} = (\cos \delta \cos \varphi \cos \gamma + \sin \delta \sin \varphi) \cos \Delta + 0,707(\cos \delta \cos \varphi \cos \gamma - \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \sin \gamma) \sin \Delta,$$

(22)

D – жазыққа қондырғы еңісінің бұрышы.

Бұл формулада $\cos i$ кезіндегі жоғарғы индекс

қондырғының орналасуын көрсетеді; e – еңістік. Төменгі индекстер жарық жерлер бо-йынша бағытталуды көрсетеді: α – оңтүстік, $\alpha-\beta$ – оңтүстік-батыс. $P=0,33$ және $T_0=300$ К орташа мәнінде, жаз және күз мезгілдері үшін қабылдау бетінің E_e (еңістік) және E_k (көлбеу) мәндері күн биіктігінің b қызметі түрінде жеңіл есептеуге болады. Жаз және күз мезгілдері үшін E_e және E_k мәндері 3-кестеде келтірілген. E_e – еңіс бет үшін түсетін күн сәулесі; E_k – көлбеу бет үшін түсетін күн сәулесі.

3-кесте. Жаз және күз мезгілдері үшін E_e және E_k мәндері

Күн биіктігі		1	3	5	10	20	30	60	90
Жаз	E_e	54,5	148	226	372	550	654	786	815
	E_k	0,95	7,7	419,7	64,5	188	326	681	815
Күз	E_e	57,3	158	243	398	588	699	840	870
	E_k	1,00	8,2	521,2	69,0	201	349	726	870

Кестеде келтірілгендей күннің үлкен биіктігінде күн радиациясының қарқындылығы күн биіктігіне аз тәуелді. Ал аз күн биіктігінде күн биіктігінің көп емес өзгерісі күн радиациясының өте көп азаюымен жүреді.

ӘДЕБИЕТ

1. Пивоварова З.И., Стадник В.В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 158 с.
2. Кастров В.Г. Солнечная радиация в тропосфере в случае абсолютно чистого и сухого воздуха // Труды Центр. аэрол. обсерв. Вып. 16. 1956. С. 8-9.
3. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. М.: Стройиздат, 1988. С. 207.
4. Смоляков П.Т. К вопросу об излучении и инсоляции земных неровностей // Журнал геофизики и метеорологии. Л., 1959. Т. 6. Вып. 4. С. 293-295.
5. Монин А.С. Задача об освещенности рельефа // Труды центрального института прогнозов. М.; Л.: Гидрометеоздат, 1948. Вып. 8(35). С. 19-21.
6. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 203 с.

7. Авасте О.А., Молдау Х., Шифрин К.С. Спектральное распределение прямой и рассеянной радиации // Исследования по физике атмосферы. Тарту, 1962. №3. С. 33-34.

8. Кондратьев К.Я. Лучистая энергия Солнца. Л.: Гидрометеоздат, 1954. С. 400.

Резюме

Приведены расчеты интенсивности прямой солнечной радиации, падающей на вертикальные и горизонтальные светопрозрачные поверхности гелиоустройств.

Summary

The calculations of the direct solar radiation's intensity, which falling down on translucent vertical and horizontal surfaces of the solar systems were shown.

УДК 666.97.035.51

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық
университеті

12.09.07ж. түскен