

# МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

---

---

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF AGRICULTURAL SCIENCES

ISSN 2224-526X

Volume 3, Number 27 (2015), 19 – 25

## INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR COLLECTORS FOR HOT WATER SUPPLY

N. Alibek, G. Dzhobalaeva, A. Sagymbaeva

Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan,  
Kazakh National Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

**Keywords:** solar collectors, energy balance, overall heat transfer coefficient.

**Abstract.** The article examined ways to increase the energy efficiency of solar collectors for hot water supply to the consideration of questions of embodiment in view of the temperature gradient and the coefficient of thermal energy loss.

УДК 621.31

## ЫСТЫҚ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН ҚОЛДАНЫЛАТЫН КҮН КОЛЛЕКТОРЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН ЖОҒАРЫЛАТУ

Н. Б. Әлібек, Г. Джобалаева, Ә. Қ. Сағымбаева

Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан,  
Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** күн коллекторлары, энергетикалық теңгерілім, толық жылу беру коэффициенті.

**Аннотация.** Мақалада күн коллекторларын пайдалану, құрастыру және тиімділігін арттыру мақсатында есептеулер жүргізу барысында туындайтын мәселелер мен оны шешу жолдары қарастырылды. Күн коллекторының энергетикалық теңгерілімінің негізгі теңдеулері қарастырылып, күн коллекторының температуралық градиенті және шығын коэффициенті анықталды. Сонымен қатар элемент ұзындығының толық жылу беру коэффициенті, коллектор тиімділігі мен байланыс тәуелділігі анықталып ұсынылды.

**Кіріспе.** Энергетикалық қорларды тиімді пайдаланудың бірден-бір оңтайлы жолы экологиялық таза және қайта жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалану болып отыр. Солардың ішінде күн энергиясы маңызды қорға ие. Сондықтан да күн энергиясын түрлендіруге арналған технологиялар мен техникалық құралдарды құрастырып, өндіріске енгізу маңызды тапсырмалардың бірі болып табылады.

Содықтан да қазіргі уақытта қолданылып жүрген және жаңа ГК жасауға бағытталған зерттеулер жүргізудің халық шаруашылығында маңызы зор.

**Энергетикалық теңгерілімнің негізгі теңдеулері.** Күн коллекторының жұмыс режимі келесі энергетикалық теңгерілімнің теңдеуімен анықталады.

$$A_c \{ [HR(\tau\alpha)]_b + [HR(\tau\alpha)]_d \} = Q_u + Q_L + Q_S \quad (1)$$

Мұндағы  $H$  – кез келген бағытқа бағытталған аудан бірлігіне түсетін күн сәулесі арынының тығыздығы (тура немесе шашыраңқы);  $R$  – тура немесе шашыраңқы күн сәулесі арынының тығыздығының кез келген бағытқа жазықтықта бағытталған күн коллекторының шағылысу арынының тығыздығы\*;  $(\tau\alpha)$  – тура немесе шашыраңқы күн сәулесін келтірілген жұту қабілеттілігі;  $A_c$  – коллектордың ауданы;  $Q_u$  – Күн коллекторындағы жұмысшы сұйыққа берілген жылу арыны (пайдалы жылу);  $Q_L$  – шағылысу және конвекция, сондай ақ тіректер арқылы коллектордан қоршаған ортаға жоғалатын жылу шығыны;  $Q_S$  – Күн коллекторының жинайтын жылу арыны.

Күн коллекторын жетілдіру уақыт бірлігі аралығында алынған пайдалы жылудың, сол уақыт бірлігі аралығында күн коллекторына түсетін күн сәулесі энергиясының қатынасына тең пайдалы әсер коэффициентін (ПӘК) арттыруға негізделеді

$$\eta = \frac{\int Q_u d\tau}{A_c} \Big/ \int HR d\tau \quad (2)$$

Күн коллекторларын мұқият зерттеп есептеулер өте қиын тапсырма екендігі баршаға анық. Алайда коллекторларды салыстырып талдау, өте бағалы нәтижелер береді. Бұндай талдаулар бізге негізгі айнымалыларды анықтауға, бұл айнымалылардың бір-бірімен тәуелділіген және олардың күн коллекторы жұмыс режиміне әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Күн коллекторларында орындалатын процесстердің математикалық сипатын түсіну үшін битумды күн коллекторының температуралық градиентін қарастырайық.

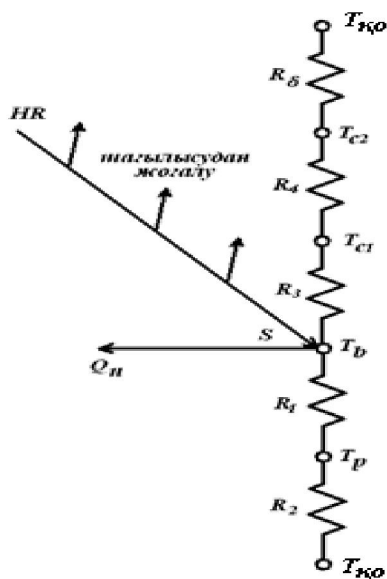
Битумды гелиоколлектордың қоршаған ортамен толық жылу алмасуы 1-суретте келтірілген.  $T_p$  температуралы битумды абсорбер  $S$  энергиялы күн радиациясын сіңірсін.

Коллектор түп негізінен жоғалатын жылу:

$$U_{ac,жж} = \lambda_{окш}/\delta_{қал} \quad (3)$$

$\lambda$  және  $\delta$  сәйкесінше оқшаулағыштың жылу өткізгіштігі мен қалыңдығы.

Көптеген гелиоколлектордың бүйір бетінен жоғалатын жылу шығынын есептеу өте қиын да күрделі екендігі анық. Бірақ та бүйір бет жылу оқшаулағыштың қалыңдығын астының жылу оқшаулағышының қалыңдығымен бірдей етіп алуды ұсынады. Сонда бүйір бетінен жоғалатын жылу мөлшері гелиоколлектордың периметріне қатысты тұрақты деп қарастыруға болады [1].

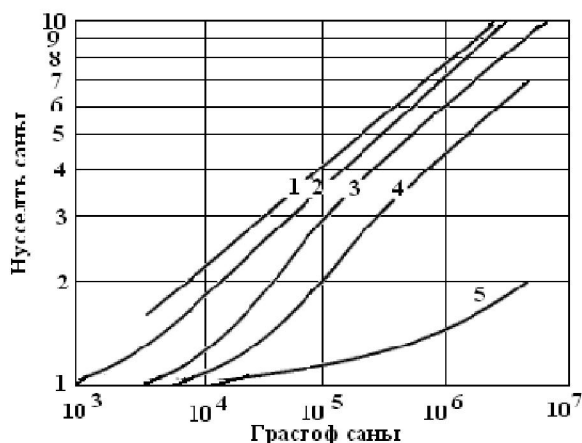


$T_{кО}$  – қоршаған орта температурасы;  
 $R_1$  – жылу оқшаулағыштың термиялық кедергісі;  
 $R_2 = 0$  қоршаған ортаға конвекциялы шағылысу кедергісі.

1-сурет – Битумды гелиоколлектордың жылулық сызбасы

Коллектор бетінен жоғалатын жылу әйнектерден шағылысудан және екі әйнек арасындағы конвекциядан тұрады. Себебі битум әйнекке толық жабысатындықтан арасында ауа қалмайды және есепті жеңілдету үшін панел мен бірінші әйнек температурасын тең деп қабылдаған дұрыс [1].

Белгілі бір көлбеу бұрышпен орналасқан екі пластина арасындағы жылу алмасу гелиоколлектордың жұмыс режиміне айтарлықтай ықпалын тигізеді. Әртүрлі жарияланған зерттеулер арасынан ең сенімді мәліметтерді жұмыстан кездестіруге болады [2]. Х. Тейбор осы мәліметтерді өңдеп, көлбеудің немесе жылу ағынының бағытының бес мәні үшін Нуссельт  $Nu$  санының Грасгоф  $Gr$  санына қатынасын график түрінде ұсынды (2-сурет) [3].



Жылу ағынының бағыттары: 1 – жоғары; 2 –  $45^\circ$  бойымен; 3 – жазық; 4 –  $45^\circ$  бойымен төмен; 5 – төмен.

2-сурет – Еркін конвекцияға арналған Нуссельт  $Nu$  санының Грасгоф  $Gr$  санына қатынасы

Нуссельт және Грасгоф сандары келесі өрнекпен табылады:

$$Nu = \frac{hL}{\lambda} \quad (4)$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2} \quad (5)$$

Мұндағы  $h$  – жылу алмасу коэффициенті;  $L$  – пластина арасының қашықтығы;  $\lambda$  – жылу өткізгіштік коэффициенті;  $g$  – еркін түсу үдеуі;  $\beta$  – ауаның көлемдік ұлғаю коэффициенті;  $\Delta T$  – пластиналар арасындағы температура айырымы;  $\nu$  – кинематикалық тұтқырлық коэффициенті.

Ауа үшін Х. Тейбор келесі ұсынымдар белгілейді:

Пластиналар  $45^\circ$  бойымен көлбеу орналасып, жылу ағыны жоғары бағытталғанда  $10^4 < Gr < 10^7$

$$Nu = 0,093(Gr)^{0,31} \quad (6)$$

Сондықтан да гелиоколлектордың бетінен әйнек арқылы жоғалатын жылу мөлшері:

$$q_{\text{ЖОКАЛУ}} = h_{\text{ПАН-Ж}_2}(T_{\text{ПАН}} - T_{\text{Ж}_2}) + \frac{\delta(T_{\text{ПАН}}^4 - T_{\text{Ж}_2}^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{ПАН}}}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{Ж}}}\right) - 1} \quad (7)$$

мұндағы  $h_{\text{ПАН-Ж}_2}$  – екі әйнек арасындағы конвективті жылу алмасу;  $\varepsilon$  – қаралық дәрежесі;  $h$  – жылу беру коэффициенті.

Немесе

$$q_{\text{ЖОКАЛУ}} = (h_{\text{ПАН-}_2} + h_{r1})(T_{\text{ПЛН}} - T_{\text{Ж}_2}) \quad (8)$$

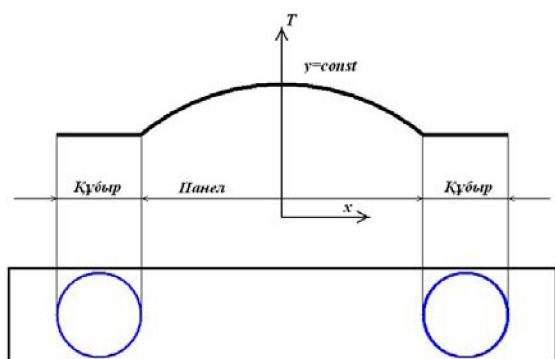
мұндағы

$$h_{r1} = \delta(T_{\text{ПАН}} + T_{\text{Ж}_2})(T_{\text{ПАН}}^2 + T_{\text{Ж}_2}^2) / \left[ \left( \frac{1}{\varepsilon_{\text{ПАН}}} \right) + \left( \frac{1}{\varepsilon_{\text{АЙН}}} \right) - 1 \right]$$

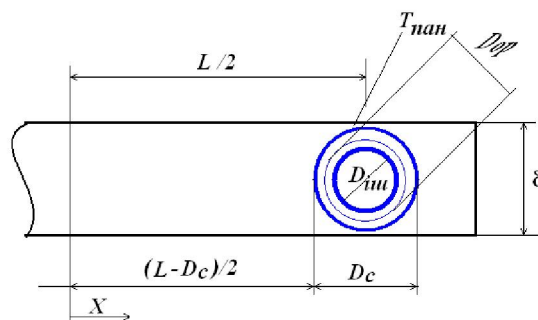
Онда термиялық кедергіні ( $R_\delta$ ) мына теңдеумен анықтаймыз:

$$R_\delta = \frac{1}{h_{\text{ПАН-с1}} + h_{r1}} \quad (9)$$

**Күн коллекторының температуралық градиенті.** Абсорбермен жұтылатын күн сәулесі энергиясы битум бойымен жылу беріліс арқылы құбыр қабырғасына беріледі. Сол себепті құбыр аралығының температурасы құбыр маңының температурасынан жоғары болады (3-сурет). Құбырдың үстіңгі беті температурасы, битумның құбырға сенімді түрде желімделуі нәтижел есінде тұрақты болады [4].



3-сурет – Жұту панеліндегі температураның таралуы



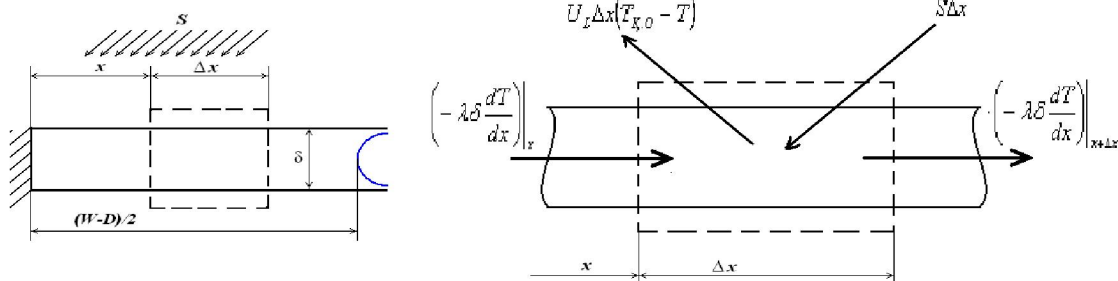
Мұндағы  $L_{\text{БИТ}}$  – құбырлар арасының ұзындығы;  $D_c$  – құбырдың сыртқы диаметрі;  $D_{\text{OP}}$  – құбырдың орташа диаметрі;  $T_{\text{ПАН}}$  – панел температурасы;  $D_{\text{шт}}$  – құбырдың ішкі диаметрі;  $\delta$  – битум қалыңдығы.  
4-сурет – Жұту панелінің өлшемдері

Бұл есептеулерді жеңілдету үшін үрдістің физикалық мәнін жоймайтындай келесі болжамдарды қабылдауға болады.

1. Жұмыс режимі дербес;
2. Битумды абсорберлі күн коллекторы қарастырылады;
3. Коллектор, жылу тасымалдағыш температурасын бүкіл құбыр бойына бірдей таралуын қамтамасыз етеді;
4. Әйнек пакет арқылы өтетін жылу арыны бір текті.

Екі құбыр арасындағы температураның таралуын, температура градиенті мен ағын бағыты уақыт бірлігінде өте аз дап қабылдап табуға болады. Жұту панелінің өлшемдері 4-суретте көрсетілген.

Жұту панелінің ені  $\Delta x$  болатын бірлік өшемін бөліп алып қарастырайық (5-сурет).



5-сурет – Элемент қабырғасына арналған энергия теңгерілімі

Бұл элементтегі энергия теңгерілімінің теңдеуі келесі түрде өрнектеледі:

$$S\Delta x + U_L \Delta x (T_{K.O} - T) + \left( -\lambda \delta \frac{dT}{dx} \right) \Big|_x - \left( -\lambda \delta \frac{dT}{dx} \right) \Big|_{x+\Delta x} = 0 \quad (10)$$

Мұндағы  $U_L$  – элемент ұзындығының толық жылу беру коэффициенті.

Теңдеудің екі жағын да  $\Delta x$  бөліп және  $\Delta x \rightarrow 0$  ұмтылатынын ескере отырып келесі теңдеуді аламыз:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_L}{\lambda\delta} \left( T - T_{\dot{K}.O} - \frac{S}{U_L} \right) \quad (11)$$

Бұл екінші реттік дифференциалдық теңдеудің шекті шарттары берілген нақты температура болып табылады.

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad T|_{x=(L-D)/2} = T_b \quad (12)$$

Құбырға битум арқылы жылу өткізгіштік арқылы берілетін бірлік өшеміндегі жылу ағыны, Фурье заңына сәйкес:

$$q_{БИТ}^1 = \left( -\lambda\delta \frac{dT}{dx} \right) \Big|_{x=(W-D)/2} = \frac{\lambda\delta m}{U_L} [S - U_L(T - T_{\dot{K}.O})] thm \frac{L_{БИТ} - D_{OP}}{2} \quad (13)$$

Мұндағы

$$\frac{\lambda\delta m}{U_L} = \frac{1}{m}$$

16 теңдеуінде құбырға бір жағынан ғана берілетін жылу ескерілген. Екі жақтан берілетін кездегі теңдеуі:

$$q_{БИТ}^1 = (L_{БИТ} - D_{OP}) [S - U_L(T - T_{\dot{K}.O})] \frac{thm \frac{L_{БИТ} - D_{OP}}{2}}{t \frac{L_{БИТ} - D_{OP}}{2}} \quad (14)$$

$$F = \frac{thm \frac{L_{БИТ} - D_{OP}}{2}}{t \frac{L_{БИТ} - D_{OP}}{2}} - \text{жылу беріліс тиімділігі.}$$

Есептеулер нәтижесінде жылу беріліс тиімділігінің элемент ұзындығының толық жылу беру коэффициентіне байланысты (1-кесте) тәуелділігі анықталды (6-сурет).

Жылу беріліс тиімділігін ескере отырып, коллектормен жұтылған бірлік ұзындығындағы пайдалы энергия сұйық ағынына қарай бағытталады. Онда (14) теңдеуді былай жазуға болады:

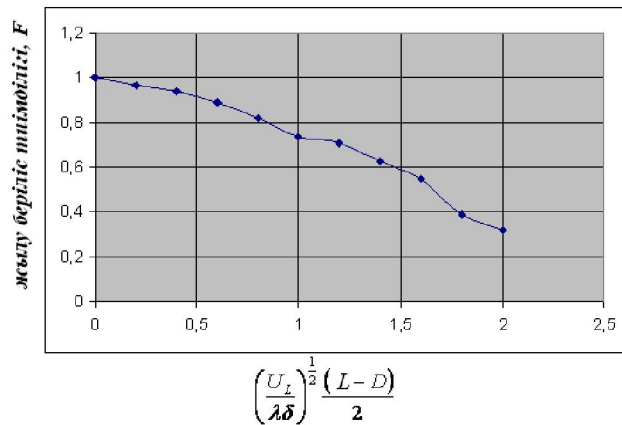
$$q_{БИТ}^1 = (L_{БИТ} - D_{OP})F + D_{OP} [S - U_L(T - T_{\dot{K}.O})] \quad (15)$$

1-кесте – Элемент ұзындығының толық жылу беру коэффициенті

$\left( \frac{U_L}{\lambda\delta} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{(L-D)}{2}$	F-жылу беріліс тиімділігі	$\left( \frac{U_L}{\lambda\delta} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{(L-D)}{2}$	F-жылу беріліс тиімділігі
0,2	0,97	1,2	0,73
0,4	0,96	1,4	0,63
0,6	0,88	1,6	0,54
0,8	0,82	1,8	0,39
1,0	0,75	2,0	0,32

Ең соңында жылулық сұйыққа беріледі. Жылулықтың сұйыққа берілуіне құбыр қабырғысының кедергісі бөгет болады. Бұл жағдайларды ескеріп пайдалы энергия мен кедергіні келесі теңдеуде байланыстырамыз:

$$q_{БИТ}^1 = \frac{T_{ПАИ} - T_{СҰЙ}}{1/h_{СҰЙ} \pi D_{III}} \quad (16)$$



6-сурет – Жылу беріс тиімділігінің элемент ұзындығының толық жылу беру коэффициентіне байланысты тәуелділігі

Келтірілген теңдеулерден (15, 16) келесі теңдеуді қорытып шығаруға болады:

$$q_{БИТ}^1 = LF^1 [S - U_L (T_{с\ddot{y}й} - T_{к.о})] \quad (17)$$

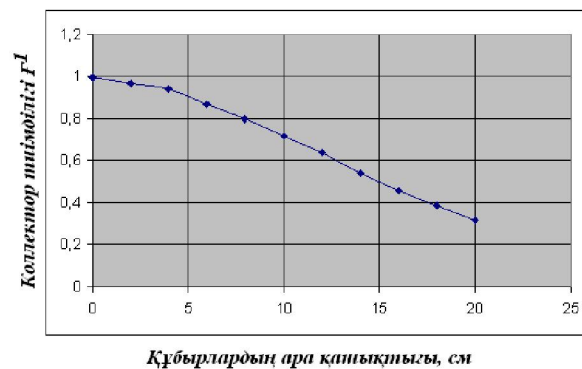
Мұндағы

$$F^1 = \frac{1/U_L}{L \left[ \frac{1}{U_L [D_{OP} + (L - D_{OP})F]} + \frac{1}{\pi D_{III} h_{с\ddot{y}й}} \right]} = \frac{1/12,5}{L \left[ \frac{1}{12,5 [0,014 + (0,16 - 0,014)1,1]} + \frac{1}{3,14 \cdot 0,014 \cdot 1000} \right]} = 0,051$$

Нәтижесінде коллектор тиімділігі мен байланыс тәуелділігі (2-кесте) анықталды (7-сурет).

2-кесте – Коллектор тиімділігі мен байланыс тәуелділігі

Құбырлар арасы адымы	$F^1$ -коллектор тиімділігі	Құбырлар арасы адымы	$F^1$ -коллектор тиімділігі
2	0,97	12	0,66
4	0,96	14	0,54
6	0,87	16	0,51
8	0,8	18	0,38
10	0,74	20	0,33



7-сурет – Коллектор тиімділігі мен құбырлар арасы адымының байланыс тәуелділік

**Қорытынды.** Күн коллекторын жетілдіру уақыт бірлігі аралығында алынған пайдалы жылу-дың, сол уақыт бірлігі аралығында күн коллекторына түсетін күн сәулесі энергиясының қатынасына тең пайдалы әсер коэффициентін (ПӘК) арттыруға негізделген есептеу жұмыстарын жүргізу барысында төмендегі нәтижелерге қол жеткіздік.

Белгілі бір көлбеу бұрышпен орналасқан екі пластина арасындағы жылу алмасу гелиоколлектордың жұмыс режиміне айтарлықтай ықпалын тигізеді.

#### ӘДЕБИЕТ

- [1] Бекман У., Клейн С., Дж. Даффи. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 76 с.
- [2] Жамалов А.Ж., Умбетов Е.С. Опыт разработки гелиоколлекторов для горячего водоснабжения // Перспективы развития солнечной энергетики в Казахстане. Ассоциация вузов РК., Институт мирового рынка, КазНТУ им. К. Сатпаева. – Алматы, 2004. – С. 133-136.
- [3] Беглиев Х.А. Разработка, создание и исследование систем горячего водоснабжения для стационарных потребителей: Автореф. дис. канд. – Ашхабад, 1988.
- [4] Ходжиев А.А. Исследование теплотехнических характеристик модуля гелиоприемника в условиях высокогорья. Автореф... – Ашхабад, 1990.

#### REFERENCES

- [1] Bekman U., Klejn S., Dzh. Daffi. Raschet sistem solnechnogo teplosnabzhenija. M.: Jenergoizdat, 1982. 76 s.
- [2] Zhamalov A.Zh., Umbetov E.S. Opyt razrabotki geliokollektorov dlja gorjacheho vodosnabzhenija, Perspektivy razvitija solnechnoj jenergetiki v Kazahstane. Associacija vuzov RK., Institut mirovogo rynka, KazNTU im. K. Satpaeva. Almaty, 2004. S. 133-136.
- [3] Begliev H.A. Razrabotka, sozdanie i issledovanie sistem gorjacheho vodosnabzhenija dlja stacionarnyh potrebitelej: Avtoref. dis. kand. Ashhabad, 1988.
- [4] Hodzhiev A.A. Issledovanie teplotehnicheskikh harakteristik modulja geliopriemnika v uslovijah vysokogor'ja. Avtoref... Ashhabad, 1990.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Н. Б. Әлібек, Г. Джобалаева, Ә. Сағымбаева**

Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан,  
Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** солнечные коллекторы, энергетический баланс, коэффициент полной теплопередачи.

**Аннотация.** В статье рассмотрены пути повышения энергетической эффективности солнечных коллекторов для горячего водоснабжения с рассмотрением вопросов конструктивного исполнения с учетом температурного градиента и коэффициента потер тепловой энергии.

*Поступила 09.06.2015г.*