DOI 10.52209/1609-1825_2024_2_473 ӘОЖ 537.32

Адамның басын салқындатуға арналған термоэлектрлік жүйені есептеу моделі

[1]***АСЫЛБЕКОВА Ляида Рамазанқызы,** докторант, laida08081996@gmail.com,*
[1]**АЛДИЯРОВ Нахыпбек Уалиевич,** *ф.-м.ғ.к., кафедра меңгерушісі, n.aldiyarov@satbayev.university,*
[1]*«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,*
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Мақала адамның басын салқындату арқылы термоэлектрлік құрылғыдағы жылуфизикалық процестерді есептеуге арналған. Бұл мәселені шешудің өзектілігі маңызды физикалық белсенділіктің, қоршаған ортаның температурасының жоғарылауының және пациенттерде патологиялық жағдайлардың дамуының салдары болып табылатын церебральды гипертермияны түзету қажеттілігімен байланысты. Зерттеу нысаны ретінде термоэлектрлік модульдер көмегімен салқындатылатын адам басының бас терісін, маңдай және самай бөліктерін қамтитын салқындатқыш бас киім конструкциясы қабылданды. Есептік модель үш мәселені шешуден тұрады: салқындатылатын бас аймағының температуралық өрісін, термоэлектрлік құрылғының құрамына кіретін термоэлектрлік модульдердің параметрлерін, термомодульдердің құрамына кіретін термоэлементтердің ыстық беттерінен жылуды алып кету жүйесінің сипаттамаларын анықтау. Математикалық модельдеу нәтижесінде термоэлектрлік модульдердің қуатына байланысты кеңістіктік және уақыттық координаттардағы термоэлектрлік құрылғының басқару нүктелеріндегі температураның өзгеру графиктері алынды және жылу модульдерінің энергетикалық параметрлері анықталды.*

Кілт сөздер: *термоэлектрлік жүйе, церебральды гипертермия, термоэлектрлік модуль, температура, есептеу моделі, сандық эксперимент.*

Кіріспе

Елеулі физикалық күш салу, қоршаған орта температурасының жоғарылауы және патологиялық жағдайлардың дамуы кезінде пациенттер мидың гипертермиясын сезінуі мүмкін, бұл ми температурасының жергілікті жоғарылауымен байланысты құбылыс [1]. Бұл жағдайда адамның төзімділігі, өнімділігі және үйлестіруі айтарлықтай төмендейді және тұтастай алғанда дененің өмірлік маңызды функцияларының бұзылуы мүмкін. Бұл құбылыс адам өміріне қауіп төндіретін жағдайларда орталық жүйке жүйесінің зақымдану қаупін арттырады және өмірге қауіп төндірмейтін жағдайларда, атап айтқанда, физикалық гипертермияда функционалдық бұзылуларды күшейтеді.

Қазіргі уақытта церебральды гипертермияны түзету үшін әртүрлі әдістер мен құралдар қолданылады, олардың әрекеті артериялық қанның артық жылуды жалпы веноздық қан ағымына әкететін ішкі ұйқы артериялары арқылы түсуінен, бас терісі аймағының қан айналымының анатомиялық ерекшеліктеріне байланысты салқындатудан тұратын конвекциялық механизмдерге негізделген, сондай-ақ мидың бетінен артық жылуды қабықшалар, бас сүйегінің жалпақ сүйектері және бастың жұмсақ тіндері арқылы сыртқы ортаға шығарудан тұратын өткізгіш механизмі. Соңғы жағдайда бас сүйегінің жалпақ сүйектері мен бастың жұмсақ тіндерінің төмен жылу өткізгіштігі жылуды кетіруді айтарлықтай қиындатқандықтан, іс жүзінде бас терісі мен ми қыртысы арасындағы температура айырмашылығын, салқындату қарқындылығын арттыратын әртүрлі жүйелер мен құрылғылар қолданылады [2].

Қазіргі уақытта ұқсас жабдықтардың ішінде [3] сипатталған жүйелер мен құрылғыларды бөліп көрсетуге болады. Олар негізінен желдеткіш қондырғыларды, сұйықпен салқындату жүйелерін және бас терісінің бетінен жылуды кетіру үшін олардың жұмыс режимдерін басқаруға арналған тиісті құрылғылары бар бу компрессиялық тоңазытқыш машиналарын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Бұл түрдегі жабдықтың кемші-

ліктері, бірінші жағдайда, бас бетін қоршаған орта температурасынан төмен салқындату мүмкін еместігі және төмен тиімділік, жұмыс кезінде пайда болатын шу, екінші жағдайда, сұйықтықты айдауға арналған компрессордың міндетті болуы, термиялық әсерлердің дәл дозасын қамтамасыз ете алмау, үшінші жағдайда, технологиялық орындаудың көлемділігі мен күрделілігі. Мұндай жағдайларда салқындату құрылғысын ми гипотермиясының аппараттық құралы ретінде суықтың негізгі элементі жоғары операциялық сенімділігімен, шағын көлемді өлшемдерімен және жоғары экологиялық тазалығымен, шуылсыздығымен және қызмет етуінің ұзақ мерзімділігімен сипатталатын стандартты термоэлектрлік модуль [4] болып табылатын жүйені пайдалану перспективті болып табылады [5].

Материалдар мен әдістер

Математикалық модельдеу объектісі ретінде бас терісін, маңдай және самай бөліктерді қамтитын салқындатқыш бас киім (шлем) болып табылатын конструкция қабылданды, оның баспен жанасу беті термоэлектрлік модуль блогы арқылы салқындатылады. Термоэлектрлік модуль қондырғысы тікелей шлемге орнатылуы және жылу теңестіру құрылғысы арқылы бастың бетімен термиялық байланыста болуы мүмкін немесе шлемнің сыртында орналасуы және салқындатылған ортаны тасымалдауға арналған қосымша техникалық құралдарға (ауа, су, басқа салқындатқыш агент) ие болуы мүмкін [6-7].

Құрылғының осындай конструкциясын қолданған кезде оның математикалық моделі үш тапсырманы шешуден тұрады: салқындатылатын бас аймағының температуралық өрісін есептеу, термоэлектрлік салқындатқыш құрылғының құрамына кіретін термоэлектрлік модульдердің параметрлерін анықтау, термомодульдердің құрамына кіретін термоэлементтердің ыстық бетінен жылуды алып кету жүйесін есептеу.

Бірінші мәселені шешу үшін 1-суретте көрсетілген жергілікті салқындатуға ұшыраған адамның бас аймағының моделі қарастырылады. Онда көрсетілген: 1 – бас терісі, 2 – тері асты қабаты, 3 – бас сүйек, 4 – ми. Модель орталық тік оське қатысты симметриялы, сондықтан оның екі өлшемді бейнесі қарастырылады. Басты жергілікті салқындату кезінде оның жоғарғы беті бойымен термоэлектрлік модуль блогының салқындату қабілетіне сәйкес келетін жылу ағыны бар деп есептеледі. Сонымен қатар, аталған аумақтардың әрқайсысының өзіндік жылуфизикалық сипаттамалары бар, олардың мәні аудан ішінде тұрақты. Салқындатуға ұшыраған бас аймағының температуралық өрісін есептеуге арналған бастапқы теңдеулер 1-суретке сәйкес әрбір аймақ үшін стационарлық емес жылу өткізгіштіктің екі өлшемді дифференциалдық теңдеулері болып табылады, сонымен қатар таңдалған аумақтардың әрқайсысында оның үстіне біркелкі бөлінген жылу көзі бар.

Теңдеулер келесі түрде болады:

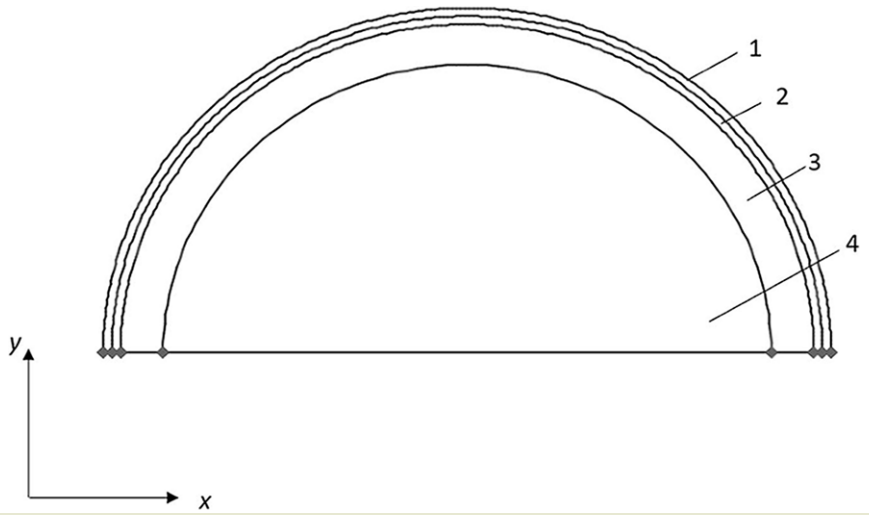
$$\lambda_i\left(\frac{d^2T_i}{dx^2}+\frac{d^2T_i}{dy^2}\right)+Q_i=\rho_i C_i\frac{dT_i}{d\tau}, \qquad (1)$$

мұндағы $i = 1...4$ және 1-суретте қабылданған белгілерге сәйкес келеді.

Бастапқы шарттар:

$T_1 = T_2 = T_3 = T_4$ = 309,6 К кезінде $\tau = 0$.

Шекаралық шарттар адамның басының таңдалған аймақтарының жанасу шекара-



1-сурет – Модельдеу үшін қолданылатын бас үлгісі

ларындағы жылу ағындарының теңдігін, сондай-ақ адам басының орталық көлденең қимасына қатысты 309,6 К температурамен бетінен жылу ағындарының болуына қатысты бастың сыртқы бетіндегі термоэлектрлік модульдердің салқындату өнімділігіне сәйкес келетін $q_{\text{ТЭМ}}$ жылу ағынының болуын анықтайды.

1-формулада айнымалылардың келесі белгілеулері қабылданған: T – температура; λ – жылу өткізгіштік коэффициенті; C – жылу сыйымдылығы; ρ – тығыздық; x, y – координаталар; Q – адам басының сәйкес бөлігінде уақыт бірлігінде көлем бірлігіне бөлінетін жылу мөлшері.

Дифференциалдық теңдеулер жүйесін (1) тиісті бастапқы және шекаралық шарттары бар соңғы элементтердің сандық әдісімен шешу стационарлық режимде екі және бір өлшемді түрде салқындатылатын бас аймағының температуралық өрісін анықтауға, сондай-ақ әр түрлі термоэлектрлік модульдердің сипаттамалары үшін, жылу алмасу жүйелері, қоршаған ортамен жылу алмасу жағдайлары үшін температураның өзгеруін уақыттың әртүрлі нүктелерінде анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жағдай үшін қажетті мәселені шешу кезінде жоғары өнімділігімен және осы тектес есептерді шешудің қысқа ұзақтығымен сипатталатын Elcut қолданбалы бағдарламалық пакеті (өндіруші – «Тор» компаниясы ЖШС, Санкт-Петербург қаласы, Ресей) [8] қолданылды.

Термоэлектрлік салқындатқыш құрылғының құрамына кіретін және адам басы бөлігінің температуралық өрісін анықтайтын термоэлектрлік салқындатқыш құрылғының салқындату өнімділігінің мәндерін талдау негізінде термоэлектрлік салқындатқыш құрылғының математикалық модельдеуінің екінші тапсырмасын құрайтын параметрлерін есептеуге болады.

Бұл жағдайда талап етілетін шамалар термоэлектрлік модульдердің құрамына кіретін термоэлементтердің геометриялық өлшемдері, қоректендіруші электр тогының шамасы, кернеу, тұтынылатын электр энергиясы, өнімділік коэффициентінің мәні, термоэлементтердің жанасулары арасындағы оңтайлы температура айырмашылығы болып табылады. Бұл параметрлер термоэлектрлік салқындатқышты есептеудің стандартты әдісін жүзеге асыратын «Thermoelectric system calculation» бағдарламасының (өндіруші – «Криотерм» ЖШС, Санкт-Петербург қаласы) көмегімен анықталды [9]. Сонымен бірге термоэлектрлік модульдердегі термоэлементтердің ыстық түйіспелерінен ауаның жылуын алу параметрлерін анықтау да осы бағдарламалық пакетте жүзеге асырылды.

Нәтижелер

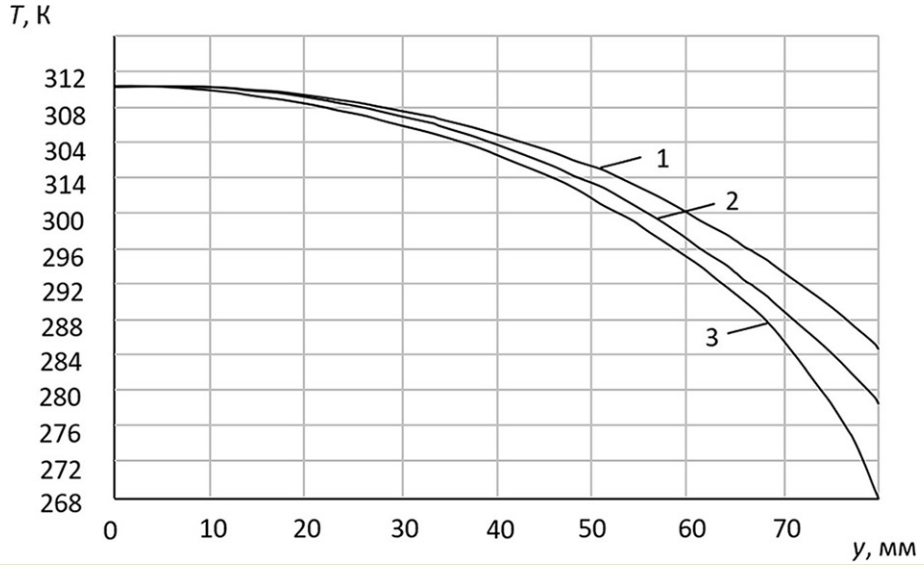
Математикалық модель негізінде сандық эксперимент жүргізілді. Ол кестеде көрсетілген бас аймақтарының бастапқы жылуфизикалық параметрлерімен орындалды [10]. Бас аймағында анықталған құрылымдардың өлшемдері келесідей: бас терісінің қалыңдығы – 2 мм, тері асты қабатының қалыңдығы – 2 мм, бас сүйегінің қалыңдығы – 10 мм, жарты шеңбердің радиусы (бас кесіндісі) – 170 мм, мидың көлденең қимасының диаметрі – 142 мм. Қоршаған орта температурасы 295 К.

Термоэлектрлік салқындатқыш құрылғылардың құрамына кіретін термоэлектрлік модульдердің қуаттары үшін әсер ету объектісі стационарлық режимге жеткенде, сәйкесінше, 60 Вт, 90 Вт, 120 Вт қуаттары үшін бастың екі өлшемді температуралық өрістері алынды. Олардың негізінде бас аймақтың жергілікті салқындату кезіндегі температура өрісінің заңдылығына сапалы талдау жасалды. Есептеу нәтижелеріне сәйкес, үш жағдайда да термоэлектрлік салқындатқыш құрылғысы термиялық әсерлеріне ұшыраған бас терісінің бетінен радиалды бағытта бас аймағының ортасына дейін температураның жоғарылауы байқалады. Бұл жағдайда температураның өзгеруі біркелкі болады, бұл бастың таңдалған аймақтарының жылуфизикалық қасиеттерінің тұрақтылығымен, сондай-ақ термоэлектрлік құрылғыдан бас терісінің сыртқы бетіне жылу ағынының тұрақтылығымен байланысты. Термоэлектрлік салқындатқыш құрылғылардың құрамына кіретін термоэлектрлік модульдердің қуатының жоғарылауымен бастың барлық аймақтарының температурасы төмендейді, температураның төмендеуі де жоғарыда аталған шектеулерге байланысты біркелкі болады.

Бастың температуралық өрісінің сандық сипаттамаларын талдау үшін кеңістіктік және уақыттық координаталардағы температураның өзгеруінің бір өлшемді графиктері неғұрлым ақпаратты болып табылады. 2-суретте сәйкесінше 60 Вт (қисық 1), 90 Вт (қисық 2) және 120 Вт (қисық 3) термоэлектрлік модульдердің қуаттары үшін бас бөлігінің орталық радиалды бағыты бойынша температураның өзгеру графиктері көрсетілген. Ұсынылған мәліметтерге сәйкес, анықтамалық орталықтан (ми аймағының орталығы) бастың температурасы төмендейді және келесі пропорцияда: термоэлектрлік модульдің 60 Вт қуаты үшін 309,6 К-ден 288 К-ге дейін, термоэлектрлік модульдің 90 Вт қуаты үшін 309,6 К-ден 279,5 К-ге дейін, термоэлектрлік модульдің 120 Вт қуаты үшін 309,6 К-ден 268 К-ге дейін. Температураның төмендеуі, жоғарыда айтылғандай, біркелкі. Бұл жағдайда температураның радиалды бағытта-

Адамның басы аймақтарының жылуфизикалық параметрлері

Бастың құрамдас бөлігі	Жылу өткізгіштік, Вт/(м·К)	Тығыздық, кг/м³	Жылу сыйымдылық, Дж/кг·К
бас терісі	0,47	1000	3680
тері асты қабаты	0,16	850	2300
бас сүйек	1,16	1500	1591
ми	0,49	1080	3850



2-сурет – Термоэлектрлік модульдердің әртүрлі қуат мәндері үшін бас бөлігінің орталық радиалды бағыты бойынша температураның өзгеруі

ғы өзгерісінің термоэлектрлік модульдердің қуатына қатынасы барлық қарастырылған үш жағдай үшін шамамен бірдей (60 Вт үшін 0,36 К/Вт, 90 Вт үшін 0,39 К/Вт, 120 Вт үшін 0,35 К/Вт).

Басты салқындатуға арналған термоэлектрлік салқындатқыш құрылғылардың динамикалық параметрлерін талдау үшін термоэлектрлік модульдердің әртүрлі қуат мәндерінде уақыт бойынша оның басқару нүктелерінің температурасының өзгеруінің тәуелділіктері алынды. Осы графиктерге сәйкес бастың барлық аймақтары үшін стационарлық режимге жету уақыты шамамен бірдей және шамамен 25-26 минутты (1600-1700 с) құрайды.

Бұл жағдай әсер ету аймағының (бастың) салыстырмалы түрде үлкен жалпы өлшемдерімен, сондай-ақ оның жоғары жылу сыйымдылығымен түсіндіріледі, ол орташа есеппен 2800-3000 Дж/К·кг құрайды (кесте). Құрылғы жұмысының бастапқы сәтінде мәжбүрлі жұмыс режимін қолдану арқылы режимге әсер ету объектісі – термоэлектрлік салқындату құрылғысы жүйесінің шығу ұзақтығын қысқартуға болады (салқындату сыйымдылығының максималды режимін қолдану). Жүйенің қажетті температура деңгейіне жетуіне кететін уақытты азайтудың тағы бір нұсқасы – құрылғыны қажетті салқындату деңгейіне жеткізу үшін процедураларды орындау алдында құрылғыны қосу және содан кейін ғана медициналық процедураны орындау. Бұл жағдайда ТЭУ қажетті жұмыс режиміне жету үшін қажетті уақыт айтарлықтай қысқарады. Жұмыс нәтижелеріне сәйкес [8] айырмашылық шамамен 1,3 есе болады.

Адамның басын салқындатумен байланысты процедуралардың талаптары мен режимдеріне сәйкес суықтың көзі ретінде Санкт-Петербург қаласындағы «Криотерм» ЖШС шығарған DRIFT-0,8 типті термоэлектрлік модульді қолдануға болады. Есептеу нәтижелеріне сәйкес оның жұмыс қуат диапазоны 50 К түйіспелер арасындағы орташа температура айырмашылығымен 20-дан 80 Вт-қа дейінгі диапазонда болатыны анықталды. Бұл жағдайда 100-ден 500 Вт-қа дейінгі қуат тұтыну кезінде қоректендіру тогы

3-11 А болады. Тоңазыту коэффициенті 0,1-ден 0,5-ке дейін өзгереді. W2E200HK3801 желдеткіш блогына негізделген (Ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Германия) мәжбүрлі ауамен салқындатқышы бар радиатор жүйесі термоэлектрлік модульдің ыстық тораптарынан жылуды кетіру жүйесі ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Қорытынды

Адамның басын салқындату үшін термоэлектрлік салқындатқыш құрылғының математикалық моделі қарастырылған. Құрылғы бастың үстіңгі бетін жабатын, бас терісінен, фронтальды және уақытша аймақтардан тұратын бас киімнен тұрады. Құрылғының математикалық моделі үш есепті шешуден тұрады: салқындатылатын бас аймағының температуралық өрісін есептеу, термоэлектрлік салқындатқыш құрылғының құрамына кіретін термоэлектрлік модульдердің параметрлерін анықтау, термомодульдердің құрамына кіретін термоэлементтердің ыстық бетінен жылуды алып кету жүйесін есептеу. Математикалық модельдеу нәтижесінде термоэлектрлік модульдердің қуатына байланысты кеңістіктік және уақыттық координаттарда термоэлектрлік модульдердің бақылау нүктелеріндегі температураның өзгеру графиктері алынды, жылу модульдерінің энергетикалық параметрлері анықталды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Nybo L. Brain temperature and exercise performance // The journal of phisiology. 2021. Vol. 97. Pp. 333-339.
2. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual // New York: Springer, 2015. 441 p.
3. Чебоксаров Д.В., Шевелев О.А., Бутров А.В., Бунтина М.А. Радиотермометрия головного мозга при краниоцеребральной гипотермии в остром периоде ишемического инсульта // Новости анестезиологии и реаниматологии. 2015. № 1. С. 3-8.
4. Анатычук Л.И., Кобылянский Р.Р. Охлаждение головного мозга человека термоэлектрическими средствами // Термоэлектричество. 2016. № 2. С. 45-54.
5. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Магомедова С.Г. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на рефлексогенные зоны // Медицинская техника. 2020. № 1 (319). С. 40-43.
6. Исмаилов Т.А., Абдулхакимов У.И., Евдулов Д.В., Евдулов О.В. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице // Медицинская техника. 2017. № 4 (304). С. 38-42.
7. Shi X.-L., Zou J., Chen Z.-G. Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices // Chemical reviews. – 2020. – Vol. 15. – Pp. 7399-7515.
8. https://elcut.ru
9. http://www.kryotherm.ru
10. Боголюбов В.М., Васильева М.Ф., Воробьев М.Г., [и. др.]. Техника и методики физиотерапевтических процедур // М.: Бином, 2017. 464 с.
11. Sung G., Torbey M., Abou-Chebl A. Rhinochill: a novel brain hypothermia delivery device // Neurology 2009; 72, A75.
12. http://www.benechill.com.
13. http://eng.jhu.edu/wse/cbid/page/Rhid-rapid-hypothermia-induction-device.
14. Covaciu L. Intranasal cooling for cerebral hypothermia treatment. Phd thesis. Uppsala: Uppsala University; 2010.
15. Takeda Y., Fumoto K., Naito H., Morimoto N. Development of a pharyngeal cooling system that enables brain temperature to be immediately reduced // Crit Care Med 2009;37:506.

Расчетная модель термоэлектрической системы охлаждения головы человека

[1]***АСЫЛБЕКОВА Ляида Рамазанкызы,** *докторант, laida08081996@gmail.com,*
[1]**АЛДИЯРОВ Нахыпбек Уалиевич,** *к.т.н., зав. кафедрой, n.aldiyarov@satbayev.university,*
[1]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена расчету теплофизических процессов в термоэлектрическом устройстве при охлаждении головы человека. Актуальность решения этой проблемы связана с необходимостью коррекции церебральной гипертермии, являющейся следствием значительных физических нагрузок, повышения температуры окружающей среды и развития патологических состояний у больных. В качестве объекта исследования была принята конструкция охлаждающего головного убора, включающего в себя скальп, лоб и височные части головы человека, охлаждаемые с помощью термоэлектрических модулей. Расчетная модель состоит из решения трех задач: определение температурного поля охлаждаемой головной зоны, параметров термоэлектрических модулей, входящих в состав термоэлектрического устройства, характеристик системы отвода тепла от горячих поверхностей термоэлементов, входящих в состав термомодулей. В результате математического моделирования получены графики изменения температуры в контрольных точках термоэлектрического устройства в пространственных и временных координатах в зависимости от мощности термоэлектрических модулей и определены энергетические параметры термоэлектрических модулей.*

Ключевые слова: *термоэлектрическая система, церебральная гипертермия, термоэлектрический модуль, температура, расчетная модель, численный эксперимент.*

Calculation Model of a Thermoelectric Cooling System for the Human Head

[1]***ASYLBEKOVA Lyaida,** *Doctoral Student, laida08081996@gmail.com,*
[1]**ALDIYAROV Nakhypbek,** *Cand. of Phys. and Math. Sci., Head of Department, n.aldiyarov@satbayev.university,*
[1]NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Satpayev Street, 22a, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article is devoted to the calculation of thermophysical processes in a thermoelectric device when cooling a human head. The urgency of solving this problem is associated with the need to correct cerebral hyperthermia, which is a consequence of significant physical activity, increased ambient temperature and the development of pathological conditions in patients. The object of study was the design of a cooling headgear, which includes the scalp, forehead and temporal parts of the human head, cooled using thermoelectric modules. The calculation model consists of solving three problems: determining the temperature field of the cooled head zone, the parameters of thermoelectric modules included in the thermoelectric device, and the characteristics of the heat removal system from the hot surfaces of thermoelements included in the thermal modules. As a result of mathematical modeling, graphs of temperature changes at control points of a thermoelectric device in spatial and temporal coordinates were obtained depending on the power of thermoelectric modules and the energy parameters of thermoelectric modules were determined.*

Keywords: *thermoelectric system, cerebral hyperthermia, thermoelectric module, temperature, computational model, numerical experiment.*

REFERENCES

1. Nybo L. Brain temperature and exercise performance // The journal of physiology. 2021. Vol. 97. Pp. 333-339.
2. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual // New York: Springer, 2015. 441 rub.
3. Cheboksarov D.V., Shevelev O.A., Butrov A.V., Buntina M.A. Radiothermometry of the brain during craniocerebral hypothermia in the acute period of ischemic stroke // News of anesthesiology and resuscitation. 2015. No. 1. Pp. 3-8.
4. Anatychuk L.I., Kobylyansky R.R. Cooling of the human brain by thermoelectric means // Thermoelectricity. 2016. No. 2. Pp. 45-54.
5. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Nabiev N.A., Magomedova S.G. Model of a thermoelectric device for thermal influence on reflexogenic zones // Medical technology. 2020. No. 1 (319). Pp. 40-43.
6. Ismailov T.A., Abdulkhakimov U.I., Evdulov D.V., Evdulov O.V. Thermoelectric system for thermal cosmetic procedures on the face // Medical technology. 2017. No. 4 (304). Pp. 38-42.
7. Shi X.-L., Zou J., Chen Z.-G. Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices // Chemical reviews. – 2020. – Vol. 15. – Pp. 7399-7515.
8. https://elcut.ru
9. http://www.kryotherm.ru
10. Bogolyubov V.M., Vasilyeva M.F., Vorobyov M.G., [and. etc.]. Techniques and methods of physiotherapeutic procedures // M.: Binom, 2017. 464 p.
11. Sung G., Torbey M., Abou-Chebl A. Rhinochill: a novel brain hypothermia delivery device // Neurology 2009; 72, A75.
12. http://www.benechill.com
13. http://eng.jhu.edu/wse/cbid/page/Rhid-rapid-hypothermia-induction-device
14. Covaciu L. Intranasal cooling for cerebral hypothermia treatment. PhD thesis. Uppsala: Uppsala University; 2010.
15. Takeda Y., Fumoto K., Naito H., Morimoto N. Development of a pharyngeal cooling system that enables brain temperature to be immediately reduced // Crit Care Med 2009;37:506.