

Адамның басын салқындату үшін термоэлектрлік салқындатқыш құрылғысындағы Пельтье элементіне арналған тоқты басқару жүйесі

¹***МАКСУТОВА Анара Муратовна**, магистрант, anara.maksutova8@gmail.com,

¹**АЛДИЯРОВ Нахыпбек Уалиевич**, ф.-м.ғ.к., кафедра меңгерушісі, n.aldiyarov@satbayev.university,

¹**АСЫЛБЕКОВА Ляйда Рамазанқызы**, докторант, laida_96@mail.ru,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22а,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Халық шаруашылығының түрлі салаларында термоэлектрлік жартылай өткізгіш аспаптар кеңінен енгізілді. Жергілікті жылу әсерінің әдістері медициналық тәжірибеде буындар мен бұлшықеттердің механикалық жарақаттары мен аурулары, асқазан-ішек жолдарының ауыруы, өт және бүйрек тас аурулары, невроз, артроз және артрит, фарингит, тонзиллит, созылмалы шаршау және т.б. сияқты әр түрлі ауруларды емдеуде және алдын алуда кеңінен қолданылады. Бұл жағдайда жылу әсері дененің энергетикалық тепе-теңдігіне айтарлықтай әсер етеді. Жылу әсерінен қан мен лимфа тамырлары кеңейіп, көптеген ішкі ағзалардағы қан айналымын жақсарады. Осындай аспаптардың медицинада қажетті болуы, Пельтье элементін қолдану арқылы локальді биофизикалық объектіге әсер ете алатын термостаттарды құруды талап етеді. Мақалада Пельтье элементтерін қолдану арқылы адамның басын салқындату аспаптарына арналған математикалық модельді жобалау қарастырылады.

Кілт сөздер: Пельтье элементі, термоэлектрлік жартылай өткізгіш, биофизикалық объектілер, математикалық модель, адамның басын салқындату.

Кіріспе

Жылу және масса алмасу мәселелерінің ерекшелігі-жылу өткізгіштік, конвекция және сәулеленуді қамтитын «қарапайым» жылу беру процестерін математикалық сипаттаудың айтарлықтай айырмашылығы мен күрделілігі [1]. Бұл процестердің әрқайсысы ішінара дифференциалдық теңдеулер жүйелерімен немесе интегралдық дифференциалдық теңдеулермен анықталады. Бұл процестер кеңістіктік-уақыттық сипатқа ие, шағын параметрлердің болуына және сызықтық емес әсерлерді қамтиды [7]. Нақты жағдайда аталған қарапайым процестер көбінесе жиынтықта жүреді, ал практикалық есептер әр түрлі геометриямен, шекаралық шарттармен және анықтайтын параметрлердің кең ауқымымен ерекшеленеді. Осыған байланысты классикалық математика әдістерімен аналитикалық зерттеулер жүргізу салыстырмалы түрде шағын есептер класы үшін мүмкін. Сонымен қатар, бұл процестер, мысалы, химиялық реакциялар мен фазалық ауысулардың болуымен күрделене түседі; ақырында, жұмыс ортасы көп фазалы болуы мүмкін. Сандық модельдеу негізінде берілген осындай күрделі процестерді, қорытындылар мен ұсыныстардың дәлдігі мен сенімділігін сипаттауға өте жоғары

талаптар қойылады, бұл өз кезегінде тапсырмалардың осы класына бейімделген арнайы математикалық модельдер мен сандық әдістерді әзірлеу қажеттілігіне әкеледі.

Температура әсерін қалыптастыру құрылғыларының басқарушы факторы Пельтье элементі арқылы өтетін ток болып табылады [6]. Тиісінше, мұндай құрылғыларда ток реттегіші қажет. Пельтье элементі арқылы өтетін токтың бағытын өзгерту арқылы жылуды жүзеге асыруға болады [10]. Пельтье элементі арқылы өтетін токты транзисторды белсенді қалыпты режимде Пельтье элементі бар тізбекке тізбектей қосу арқылы өзгертуге болады. Бірақ токты басқарудың осы әдісін қолданған кезде транзисторда үлкен жылу шығыны болады, бұл құрылғының тиімділігін төмендетеді. Жылу шығынын азайту үшін транзисторларды басқару үшін ендік-импульстік модулятор (ЕИМ) [9] қолданылады. Бұл жағдайда транзисторлар негізгі режимде жұмыс істейді, бұл жылу шығынын азайтуға және сәйкесінше құрылғының тиімділігін арттыруға әкеледі. Пельтье элементі арқылы өтетін токтың пульсациясын азайту үшін дроссельдер мен конденсаторлардан тұратын тегістейтін сүзгілер қолданылады. ЕИМ қолданған кезде ток пульсациясы пайда болады.

Ток пульсациясының үлкен деңгейінде Пельтье элементінің қасиеттері нашарлайды, сондықтан Пельтье элементі арқылы өтетін токтың пульсациясының жеткілікті төмен деңгейін қамтамасыз ету маңызды. Пульсацияны төмендетудің бірнеше әдістері бар, мысалы, дроссельдің индуктивтілігі мен конденсатордың электр сыйымдылығын арттыру, бірақ бұл әдіс басқару жүйесінің тиімділігін төмендетеді. Тағы бір әдіс – ЕИМ жиілігін арттыру, бірақ драйверлер мен транзисторлардың жұмыс жиілігі шектеулі [4]. Үшінші әдіс – сүзгі тәртібін арттыру, бірақ бұл реттегіштерді есептеуді қиындатады. Осы себепті екінші ретті сүзгісі бар схемасында қарастырылады. Токтың бағытын өзгерту мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін транзисторларды қосудың көпір схемасы қолданылады. Өтпелі процестердің қажетті дәлдігі мен берілген сапасын қамтамасыз ету үшін ток реттегішін синтездеу қажет.

Мақалада тегістеу сүзгісін есептеу процедурасы, басқару арнасында ЕИМ бар ток реттегішін синтездеу әдісі [4] талқыланады. Тегістеу сүзгісі арқылы көпір күшейткішіне тізбектей жалғанған Пельтье элементі бар схема қолданылады [10]. Ток реттегішін есептеу қозғалысты бөлу әдісін қолдануға негізделген. Ағымдағы басқару жүйесінің сандық модельдеу нәтижелері келтірілген. Пельтье элементіне арналған токты басқарудың болжамды жүйесі биофизикалық объектілерге [2] температуралық әсер ету құрылғыларында қолданылады.

Тапсырманың шешілуі

Жұмыста басқару объектісі ретінде Пельтье элементі арқылы өтетін токты басқаруға арналған көпір күшейткіші бар [8] электр тізбегінің нұсқасы қарастырылады: екінші ретті тегістеу сүзгісі бар схема.

Талқыланған электр тізбегінде Пельтье элементі E_{sb} белсенді кедергісінің тізбекті қосындысы [5] ретінде қарастырылады, мұнда Зебек ЭҚК формула бойынша есептеледі:

$$E_{sb} = (T_{out} - T_{in})\alpha,$$

мұндағы E_{sb} – Зебек ЭҚК; α – Зебек коэффициенті;

T_{out} – Пельтье элементінің радиатормен жанасатын жағының температурасы; T_{in} – термостаттау объектісімен жанасатын Пельтье элементінің жағының температурасы.

Мысалы, «TETC1-26318» Пельтье элементі үшін оның жақтарының температура айырмашылығы 74°C болғанда, Зебек ЭҚК 8.3 В құрайды [6].

Бұл басқару жүйесінде Зебек ЭҚК ток реттегішін есептеу кезінде бұзушы фактор болып табылады. Коммутациялық элементтер ретінде көпір схемасы бойынша қосылған MOSFET транзисторлары қолданылады. Реттегішті есептеу кезінде коммутациялық элементтер (КЭ) идеалды болып саналды.

Функционалды схемада келесі (2-сурет) белгілер қолданылады: I_d – Пельтье элементі арқылы өтетін қажетті ток; u – реттегіштің шығыс сигналы (ЕИМ импульсін толтыру коэффициенті); v – ЕИМ шығыс сигналы; S_1 – S_4 – коммутациялық элементтерді басқаратын сигналдар; U – тегістеу сүзгісіне берілетін кернеу; I – Пельтье элементі арқылы өтетін ток.

Сүзгісі бар схеманың параметрлерін есептеу үшін оның математикалық моделін шығару керек.

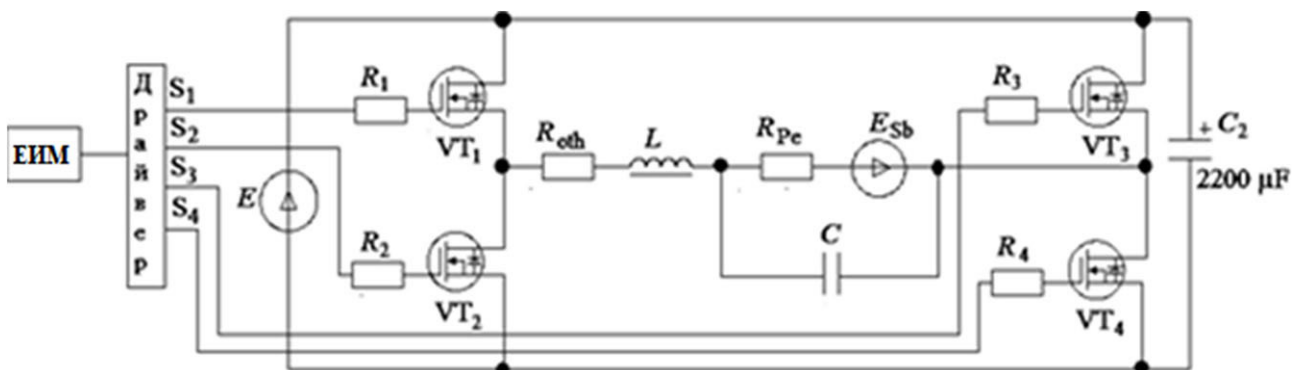
Екінші ретті сүзгісі бар токты басқару схемасына арналған математикалық модель

1-суреттегі екінші ретті тегістейтін сүзгісі бар схеманың математикалық моделін қарастырамыз.

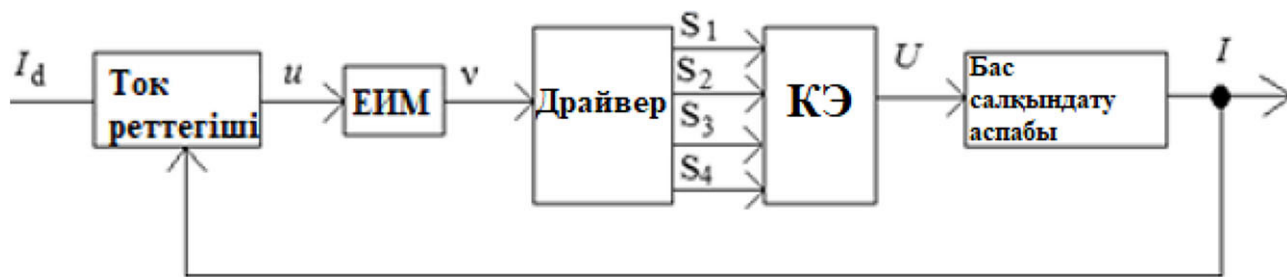
Кирхгофтың екінші ережесіне сәйкес:

$$\begin{cases} U = U_{oth} + U_L + U_{Pe} + E_{sb} \\ U_{oth} = R_{oth}I \\ U_L = L \frac{dI}{dt} \\ U_{Pe} = R_{Pe}I_{Pe} \\ U = R_{oth}I + L \frac{dI}{dt} + R_{Pe}I_{Pe} + E_{sb} \end{cases},$$

мұндағы U – сүзгі кірісіндегі кернеу, U_{oth} – көздің, дроссельдің белсенді кедергісіндегі кернеу; U_L – дроссельдегі кернеу; U_{Pe} – Пельтье элементінің белсенді кедергісіндегі кернеу; E_{sb} – Зебек ЭҚК; R_{oth} – ток көзі мен дроссельдің белсенді кедергісі; I – дроссель арқылы өтетін ток; L – дроссельдің индуктивтілігі; R_{Pe} – Пельтье элементінің кедергісі;



1-сурет – Екінші ретті тегістеу сүзгісі бар Пельтье элементі арқылы өтетін токты басқару схемасы



2-сурет – Пельтье элементі арқылы өтетін тоқты реттеу жүйесінің функционалдық схемасы

I_{Pe} – Пельтье элементі арқылы өтетін ток.

Кирхгофтың бірінші ережесінен: $I = I_C + I_{Pe}$, мұнда I_C – конденсатор арқылы өтетін ток.

Конденсатор арқылы өтетін токтың әрекеті келесі теңдеулер жүйесімен сипатталады:

$$\begin{cases} I_C = C \frac{dU_C}{dt} \\ U_C = I_{Pe} R_{Pe} + E_{Sb} \\ I_C = R_{Pe} C \frac{dI_{Pe}}{dt} + C \frac{dE_{Sb}}{dt} \end{cases},$$

мұнда U_C – конденсатордағы кернеу.

$$I = R_{Pe} C \frac{dI_{Pe}}{dt} + C \frac{dE_{Sb}}{dt} + I_{Pe}.$$

Кирхгофтың екінші ережесіне қою арқылы:

$$U = LCR_{Pe} \frac{d^2 I_{Pe}}{dt^2} + (R_{oth} CR_{Pe} + L) \frac{dI_{Pe}}{dt} + (R_{oth} + R_{Pe}) I_{Pe} + LC \frac{d^2 E_{Sb}}{dt^2} + R_{oth} C \frac{dE_{Sb}}{dt} + E_{Sb},$$

U кернеуі көпір күшейткішімен қалыптасады және ЕИМ v шығыс сигналымен келесі қатынаспен байланысты: $U = Ev$, мұндағы v – 1 немесе 1 мәнін алады. ЕИМ жиілігі жеткілікті үлкен деп болжанады, сондықтан басқару жүйесінің қасиеттерін талдау үшін біз v -ді u -ге ауыстырамыз, мұндағы u – 1-ден 1-ге дейінгі мәндерді қабылдайтын ЕИМ кіріс сигналы.

Нәтижесінде біз келесі түрдегі I_{Pe} тоқты басқару жүйесінің теңдеуін аламыз және өрнекті оператор түрінде жазайық:

$$Eu = LCR_{Pe} p^2 I_{Pe} + (R_{oth} CR_{Pe} + L) p I_{Pe} + (R_{oth} + R_{Pe}) I_{Pe} + LC p^2 E_{Sb} + R_{oth} C p E_{Sb} + E_{Sb},$$

Осыдан келесі шығады $I_{Pe} = W_1(p) \cdot u - W_2(p) \cdot E_{Sb}$, мұнда

$$W_1(p) = \frac{E}{CR_{Pe} \cdot p^2 + (R_{oth} CR_{Pe} + L)p + (R_{oth} + R_{Pe})},$$

$$W_2(p) = \frac{E}{C \cdot p^2 + (R_{oth} CR_{Pe} + L)p + (R_{oth} + R_{Pe})} R_{Pe}.$$

Ток реттегішінің синтезі

Реттегішті синтездеу кезінде басқару жүйесінің қажетті дәлдігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін басқару объектісінің динамика-

лық қасиеттерін ескеру қажет [6]. Реттегіштерді синтездеудің және конфигурациялаудың әр түрлі әдістері бар: жиілік әдісі, модальды әдіс, қозғалысты бөлу әдісі, локализация әдісі, Зиглер–Никольс процедурасы, сандық оңтайландыру әдісі. Пельтье элементінің ерекшелігі – параметрлердің тұрақсыздығы және толық ақпараттың болмауы. Бұл жағдайда өтпелі кезеңге қойылатын талаптар қойылуы керек. 0,01 с-тан аз уақыт тұрақтысы және тізбектердің жоғары реті кезінде сандық оңтайландыру әдісі ұзақ уақыт бойы орындалады. Локализация әдісі объектінің реті сияқты осындай тәртіптің туындысын есептеуді қажет етеді. Сондықтан қозғалыстарды бөлу әдісі ең қолайлы болып табылады.

Реттегішті есептемес бұрын, сүзгісі бар тізбектің параметрлерін есептеу керек. Бірінші ретті сүзгі тізбегінде ЕИМ кезеңі мен сүзгі уақытының тұрақтысы арасындағы үлкен айырмашылықты қажет ететін кең өтпелі жолақ бар. Осыған байланысты екінші ретті сүзгіні пайдалану ұсынылады.

ЕИМ қолданған кезде токтың пульсация деңгейі АСН арқылы есептеледі [4]. Өрнектерден біз екінші ретті сүзгісі бар тізбектің АЖС есептеу формулаларын шығарамыз:

$$M(\omega) = \frac{E}{\sqrt{((R_{oth} + R_{Pe}) - LCR_{Pe}\omega^2)^2 + ((R_{oth} CR_{Pe} + L)\omega)^2}},$$

мұндағы M – АЖС, ω – циклдiк жиілік.

Тегістеу сүзгісін есептеу алгоритмі

1. Адамның басын салқындату аспабының токты реттеу жүйесіне келетін, белгілі бір кедергісі бар Пельтье элементі таңдалады.

2. Пельтье элементінің техникалық қасиеттеріне және температура пульсациясындағы талаптарға негізделген ток пульсациясына қойылатын талаптар таңдалады.

3. ЕИМ жиілігі техникалық іске асыру мүмкіндігіне қарай таңдалады [6] (мысалы, 16-дан 40 кГц-ке дейін).

4. Реттегіш құрылымын жеңілдету үшін уақыт тұрақтыларының бірін басқалардан әлдеқайда көп таңдау керек. Қозғалыстарды бөлу әдісін қолдана отырып [3], екінші ретті сүзгі үшін біз аламыз:

$T_1 = \eta T_2$, η – қозғалыстардың бөліну дәрежесі, $\eta \geq 10$.

5. Сүзгі параметрлерінің уақыт тұрақтылары мен мәндері есептеледі.

6. Егер индуктивтілік, электр сыйымдылығы мәндері стандартты қатарларға сәйкес келмесе, есептелгендерге ең жақын қатардан номиналдар таңдалады. Егер номиналдарды ауыстырғаннан кейін пульсация деңгейі талаптарды қанағаттан-

дыра алмаса, онда АЖС өзгеретін параметрлерге тәуелділік графигі құрылады: индуктивтілік, ЕИМ жиілігі, электр сыйымдылығы.

7. Ток реттегішін практикалық іске асыру кезінде сүзгіні таңдау құрылғының техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне қойылатын талаптарға сәйкес жүзеге асырылады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гринкевич В.А. Исследование математической модели термостата на основе элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. – 2017. – № 3 (89). – С. 62-77. – DOI: 10.17212/2307-6879-2017-3-62-77.
2. Магомедов Д.А., Хазанова Л.А., Миспахов И.Ш. Малогабаритный термостат для перевозки биоматериалов // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. – СПб, 2015. – С. 458-460.
3. Юркевич В.Д. Многоканальные системы управления. Синтез линейных систем управления с разнотемповыми процессами: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 183 с.
4. Сорокин Г.А. Фильтры нижних частот // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 100-107.
5. Макфузова А.И., Травин Д.Д., Филимонова А.А. Термоэлементы как дополнительные источники энергии на орбитальной станции // Научные исследования: от теории к практике. – № 5 (6). – С. 262-263.
6. Гринкевич В.А. Синтез регулятора тока для элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 3-4 (93). – С. 16-39. – DOI: 10.17212/2307-6879-2018-3-4-16-39.
7. Интеллектуальный потенциал Сибири: 29-я Региональная научная студенческая конференция, посвященная Году науки и технологий в России (г. Новосибирск, 17-21 мая 2021 г.): материалы конференции: в 5 частях / Под. ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021.
8. Соболева Е.К., Капля В.И. Система регулирования тока, протекающего через элемент Пельтье // Научно-практическая конференция студентов ВПИ (филиал) ВолгГТУ «Наука молодых: идеи, результаты, перспективы». – 2016. – 48-49 с.
9. Юркевич В.Д. Синтез нелинейных систем с ШИМ в канале управления на основе метода разделения движений // Доклады ТУСУР. – 2012. – № 1-1 (25). – С. 127-130.
10. Мороз А.В. Использование элемента Пельтье в автоматизированных системах охлаждения // Сборник материалов международных научно-практических конференций / Под редакцией А.А. Коротких. 2018. – 409-411 с.

Система управления током для элемента Пельтье в термоэлектрическом охлаждающем устройстве для охлаждения головы человека

¹***МАКСУТОВА Анара Муратовна**, магистрант, anara.maksutova8@gmail.com,

¹**АЛДИЯРОВ Нахыпбек Уалиевич**, к.ф.-м.н., зав. кафедрой, n.aldiyarov@satbayev.university,

¹**АСЫЛБЕКОВА Ляйда Рамазанқызы**, докторант, laida_96@mail.ru,

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В различных отраслях народного хозяйства широко внедрены термоэлектрические полупроводниковые приборы. Методы местного теплового воздействия широко используются в медицинской практике при лечении и профилактике различных заболеваний, таких как механические травмы и болезни суставов и мышц, боли в желудочно-кишечном тракте, желчнокаменная болезнь и почечнокаменная болезнь, неврозы, артрозы и артриты, фарингит, тонзиллит, хроническая усталость и др. При этом тепловое воздействие оказывает существенное влияние на энергетический баланс организма. Под воздействием тепла кровеносные и лимфатические сосуды расширяются, улучшая кровообращение во многих внутренних органах. Наличие такого прибора в медицине требует создания термостатов, способных воздействовать на локальный биофизический объект с помощью элемента Пельтье. В этой статье рассматривается разработка математической модели для приборов охлаждения головы человека с использованием элементов Пельтье.

Ключевые слова: элемент Пельтье, термоэлектрический полупроводник, биофизические объекты, математическая модель, охлаждение головы человека.

Current Control System for the Peltier Element in a Thermoelectric Cooling Device for Cooling the Human Head

¹***MAXUTOVA Anara**, Master Student, anara.maksutova8@gmail.com,

¹**ALDIYAROV Nakhypbek**, Cand. of Phys. and Math. Sci., Head of Department, n.aldiyarov@satbayev.university,

¹**ASSYLBEKOVA Laida**, Doctoral Student, laida_96@mail.ru,

Abstract. Thermoelectric semiconductor devices have been widely introduced in various sectors of the national economy. Methods of local thermal exposure are widely used in medical practice in the treatment and prevention of various diseases, such as mechanical injuries and diseases of joints and muscles, pain in the gastrointestinal tract, cholelithiasis and kidney stone disease, neuroses, arthrosis and arthritis, pharyngitis, tonsillitis, chronic fatigue, etc. At the same time, the thermal effect has a significant impact on the energy balance of the body. Under the influence of heat, blood and lymphatic vessels expand, improving blood circulation in many internal organs. The presence of such a device in medicine requires the creation of thermostats capable of influencing a local biophysical object using the Peltier element. This article discusses the development of a mathematical model for human head cooling devices using Peltier elements.

Keywords: Peltier element, thermoelectric semiconductor, biophysical objects, mathematical model, cooling of the human head.

REFERENCES

1. Grinkevich V.A. Issledovanie matematicheskoy modeli termostata na osnove e`lementa Pel't'e // Sbornik nauchny`kh trudov NGTU. – 2017. – No. 3 (89). – Pp. 62-77. – DOI: 10.17212/2307-6879-2017-3-62-77.
2. Magomedov D.A., Khazamova L.A., Mispakhov I.Sh. Malogabaritny`j termostat dlya perevozki biomaterialov // Nizkotemperaturny`e i pishhevyy`e tekhnologii v XXI veke. – Saint Petersburg, 2015. – Pp. 458-460.
3. Yurkevich V.D. Mnogokanal`ny`e sistemy` upravleniya. Sintez linejny`kh sistem upravleniya s raznotempovy`mi processami: uchebnoe posobie. – Novosibirsk: Publ. NGTU, 2016. – 183 p.
4. Sorokin G.A. Fil`try` nizhnikh chastot // Vestnik Yuzhno-Ural`skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp`yuterny`e tekhnologii, upravlenie, radioe`lektronika. – 2015. – T. 15, no. 1. – Pp. 100-107.
5. Makfuzova A.I., Travin D.D., Filimonova A.A. Termoe`lementy` kak dopolnitel`ny`e istochniki e`nergii na orbital`noj stanczii // Nauchny`e issledovaniya: ot teorii k praktike. – No. 5 (6). – Pp. 262-263.
6. Grinkevich V.A. Sintez regulatora toka dlya e`lementa Pel't'e // Sbornik nauchny`kh trudov NGTU. – 2018. – No. 3-4 (93). – Pp. 16-39. – DOI: 10.17212/2307-6879-2018-3-4-16-39.
7. Intellektual`ny`j potentsial Sibiri: 29-ya Regional`naya nauchnaya studencheskaya konferenciya, posvyashhennaya Godu nauki i tekhnologii v Rossii (g. Novosibirsk, 17-21 maya 2021 g.): materialy` konferenczii: v 5 chastyakh / Pod. red. Sokolovoj D.O. – Novosibirsk: Publ. NGTU, 2021.
8. Soboleva E.K., Kaplya V.I. Sistema regulirovaniya toka, protekayushhego cherez e`lement Pel't'e // Nauchno-prakticheskaya konferenciya studentov VPI (filial) VolGTU «Nauka molody`kh: idei, rezul`taty`, perspektivy`. – 2016. – Pp. 48-49.
9. Yurkevich V.D. Sintez nelinejny`kh sistem s SHIM v kanale upravleniya na osnove metoda razdeleniya dvizhenij // Doklady` TUSUR. – 2012. – No. 1-1 (25). – Pp. 127-130.
10. Moroz A.V. Ispol`zovanie e`lementa Pel't'e v avtomatizirovanny`kh sistemakh okhlazhdeniya // Sbornik materialov mezhdunarodny`kh nauchno-prakticheskikh konferencij / Pod redakciej A.A. Korotkikh. 2018. – Pp. 409-411.