

FTAMP 38.01.11

Ж.С.Туленбаев | ©

*Техн.ғылым.д-ры, профессор*

ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-0931-2740>*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,**Тараз қ., Қазақстан Республикасы*tulenbaev@mail.ru<https://doi.org/10.55956/CIBN9685>

ГЕОТЕРМАЛДЫ ЭНЕРГИЯНЫ ПАЙДАЛАНУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақалада үлкен тереңдіктен геотермалды энергия алу жүйесіндегі жылу алмасу процестерін сандық модельдеу жүргізілді. Сондай-ақ термосифондық каскад негізінде геотермалды энергияны алу жүйелерін құру бойынша тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды жүргізуге мүмкіндік беретін термосифондық каскадтағы температура өрістерін есептеудің жеңілдетілген әдісі қарастырылды. Жылу өткізгіштіктің «тиімді» моделі аясында негізгі сипаттамалар коэффициенттерін эксперименталды түрде анықтауға болатын температураларды талдау мүмкіндігі көрсетілген. Сыртқы тізбектің толық жылу оқшаулау жағдайында жылумен жабдықтау жүйесінде шамамен 330 К температураға жету үшін жеткілікті «тиімділікпен» жылуды үлкен тереңдіктен беру мүмкіндігі орнатылды. Нәтижесінде термосифондар каскадының көмегімен үлкен тереңдіктен геотермалды энергияны алу процестерін талдаудың модельдері мен әдістерін одан әрі дамытуға негіз болады. Алынған теориялық нәтижелер негізінде эксперименттік зерттеулердің негізгі бағыттары тұжырымдалған. Сандық модельдеу нәтижелері биіктіктегі термосифондар каскадын қолдана отырып, жер асты суларының үлкен тереңдігінен геотермалдық энергияны алу әдісін одан әрі (эксперименттік және теориялық) дамыту өзекті деген қорытынды жасауға негіз береді.

Тірек сөздер: геотермалды энергия, екі фазалы термосифондар каскады, математикалық модельдеу, жылу ағыны, жылу алмасу, булану, конденсация, өткізгіштік.



Туленбаев Ж.С. Геотермалды энергияны пайдалану әдістерін талдау [Мәтін] / Ж.С. Туленбаев // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2023. – №4(82). – Б.156-163. <https://doi.org/10.55956/CIBN9685>

Кіріспе. Электр энергиясын өндіру саласында көмір мен көгілдір отынды пайдалану қоршаған ортаны қарқынды түрде ластайды және көгілдір отынның құны жыл сайын өсуде. Осы себепті Қазақстан жаңартылатын көздерінен энергия алуға аса назар аударуда. Жаңартылатын энергия көздерінің объективті жағдайларға (негізінен географиялық орналасуға) байланысты айтарлықтай шектеулі екендігі айқын бола бастады. Жаңартылатын энергия саласындағы жиырма жылдық қарқынды зерттеулер мен әзірлемелерден кейін биомасса мен геотермалдық энергия ең тартымды болып қала береді. Соңғысының ресурстары

көптеген мемлекеттердің аумақтарына азды-көпті біркелкі бөлінеді және жылдың немесе күннің уақытына қарамастан тиімді пайдаланылуы мүмкін. Айта кету керек, биомассаны энергия көзі ретінде әлемнің барлық дерлік елдерінің ғалымдары ондаған жылдар бойы зерттеп келеді. Осы тақырыпта мыңдаған мақалалар жарияланды. Энергетика саласында биомассаны қолданудың негізгі технологиялары негізінен ғылыми зерттеулер тұрғысынан дамыған деп болжауға болады. Геотермалдық энергияның жағдайы әлдеқайда нашар. Әзірге жоғары температураға дейін қыздырылған суды төмен горизонттардан (тереңдігі 1 км-ге дейін) құбырлар арқылы жылумен жабдықтау жүйесіне жеткізу және айналымнан кейін жоғары температуралық аймаққа қайтару қажет деп болжануда [1-2].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Геотермалдық энергияны өндіруді технологиялық тұрғыдан қарастырған кезде келесі төрт мәселе туындайды:

1. Жылудың қоршаған ортаға таралуына байланысты тасымалдау кезінде энергия шығыны (жоғары температураға дейін қыздырылған суды салқындату). Бұл шығындарды азайту үшін салқындатқышты жоғарыға жеткізу үшін құбырлардың бүкіл сыртқы бетін тиімді жылу окшаулау қажет.

2. Сорғылар жұмыс істеп тұрған кезде салқындатқышты жоғары биіктікке көтеру үшін үлкен энергия шығыны. Көптеген нақты жағдайларда ыстық су өздігінен көтеріле алмайды.

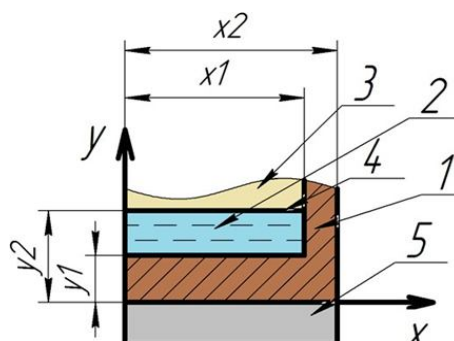
3. Геотермалдық суда көптеген қышқыл қосылыстар бар екені анықталды, олар металдардың тез коррозиясына және төмен горизонттардан (құбырлар мен сорғылар) осындай суды көтеру жүйесінің істен шығуына әкеледі.

4. Мұндай геотермалдық көздерді үздіксіз ұзақ уақыт пайдалану кезінде олардың орнын толтыру үшін жеткіліксіз кезең ішінде олардың сарқылу ықтималдығы жоғары.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Геотермалдық суды үлкен тереңдіктен тікелей көтеру нұсқасына балама қолданылады-жылуды жылыту жүйесіне беру үшін үлкен өлшемді термосифондар каскадын пайдалану схемасы қарастырылады. Бұл жағдайда жоғары температураға дейін қыздырылған суды алу үшін сорғыларды пайдаланудың қажеті жоқ және құбырларда коррозия болмайды. Сонымен қатар, мұндай жылу беру схемасында энергия көзі («ыстық» су) өз көкжиегінен шығып, бетіне жете алмайды. Тиісінше, жылу көзінің «сарқылу» қаупі жоқ. Каскадтағы бірінші термосифонның төменгі қақпағымен жанасу аймағында суды салқындату жылу өткізгіштік жоқ жерлерден және конвекция арқылы термосифондардан жылу ағынымен өтеледі[2-3].

Ұсынылған схеманы іске асыру кезінде каскадтың әр термосифонының жылу кедергісін ескере отырып, соңғы термосифонның жоғарғы қақпағындағы температураны білу қажет (бу ағынының тиімді жылу өткізгіштігі және қақпақтардың жылу кедергісі, термосифондардың бөлінуі). Есептеу үшін термосифон каскады үшін жылу алмасу теңдеулерінің жүйесін шешу қажет. Бу арнасы мен термосифон мембранасындағы термодинамикалық және гидродинамикалық процестерді толық сипаттайтын модельдерді қолдана отырып, термосифонды каскадты іске қосу мәселесін шешу мәселесін ауыстыру өте қиын.

[4] жұмыс термосифондар каскадындағы температураның төмендеуін есептеудің жеңілдетілген әдісін әзірлеуді қарастырады. Бұл әдістер геотермалдық энергия өндіру жүйесін құру үшін сенімділік талаптарына жауап беретін қондырғылар жасауға мүмкіндік береді (1-сурет). Термосифондағы термодинамикалық процестерді модельдеу кезінде термогравитациялық конвекцияны есептеу мәселесін шешіп, процестің негізгі сипаттамасын жылу шығарудың есептік жылдамдығын ескеру қажет. Конвективті механизмнің үлесі конденсаттың қайнау температурасынан төмен температурада да маңызды екендігі көрсетілген



1 – металл корпус; 2 – конденсат қабаттары; 3 – бу арнасы; 4 – булану беті.

Сурет 1. Шешу аймағы

Төменгі қақпақ үшін жылу өткізгіштік теңдеу:

$$C p_1 \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \gamma_1 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \tag{1}$$

Конденсат қабаты үшін жылу теңдеуі

$$C p_2 \frac{\partial T}{\partial t} = \gamma_2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

Теңдеулер жүйесінің бастапқы шарттары (1) және (2) теңдеулер үшін шекаралық шарттар нысаны:

$$y = y_2, x_2 < x < x_2 - \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x^2} \right) \tag{3}$$

$$x = x_1, 0_1 < y < y_2 - \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x^2} \right) \tag{4}$$

$$W = A \frac{(P - P_y)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}} \tag{5}$$

$$P_v = P_{ext} \gamma \left(\frac{QM}{RT} \right)_2 P_v \frac{pRT}{M} \tag{6}$$

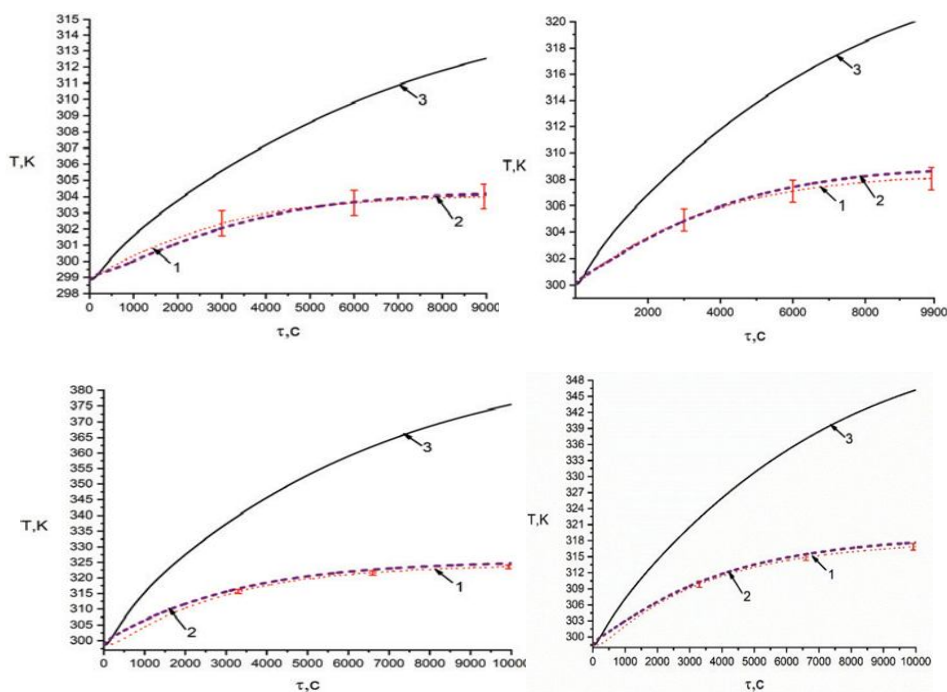
x, y – декарттық координаттар жүйесіндегі координаталары; t – уақыт; T – температура; λ – жылу өткізгіштік; ρ – көлемі; Cp – жылу өткізгіштік; Qe – булану

жылуы; We –булану жылдамдығы; қысымдық тездік; q –жылу ағыны; A – араластырукоэффициенті ; Pvs –бу қысымы;

Pv бу бетіндегі парциалды қысым, $R = 8314$ Дж/моль·К - универсалды газ қатынасы, M - молекулалық масса; 1 - түбір материалы, 2 - сұйық, п - бу.

Сандық модельдеу кезінде эксперименталды зерттеулерге байланысты салқындатқыш ретінде тазартылған су алынды. Булану жылдамдығына байланысты бұл сұйықтықтың сипаттамалары бар.

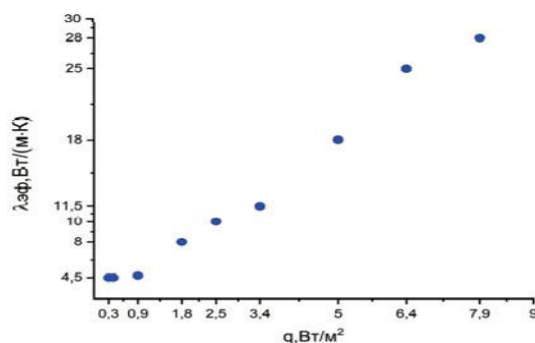
Сандық модельдеу кезінде дистилденген су салқындатқыш ретінде таңдалды, өйткені термосифондардың жұмыс жағдайына сәйкес келетін температураның өзгеру аймақтарында, жылу ағындарының жеткілікті кең диапазонында, термосифондардың тән нүктелеріндегі температурада осы сұйықтықтың сипаттамалары мен булану жылдамдығы туралы сенімді эксперименттік мәліметтер бар (2-сурет). Бұл салқындатқыштың қабаты термосифонның төменгі қақпағында да белгілі [5].(1)–(6) өрнектердің шешімінің нәтижелері "энерготиймді" қызметке қосылған модельде байланысты мағынасы бойынша эксперименталды деректерге дәлел береді. q өсуіне байланысты $\lambda\phi$ көбейеді (3-сурет), себебі термогравитациялық конвекция процесін интенсификациялау. q көбейгенде, жоғарғы температураларға жеткен ылғалы салқындатқыштың төменгі қабаттары жоғарыға өседі, және салыстырмалы қабаттар төменге түседі - бұл қайталаныс жылдам түзетулерін жасайды, балку температурасынан кіші болатын температураларда, бұл кез келген салқындатқыштың сипаттамасына сәйкес.



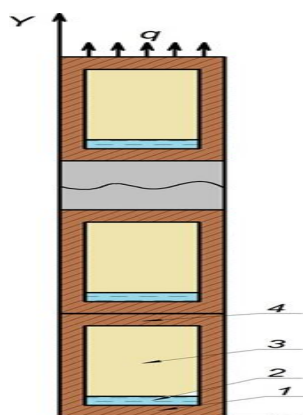
а) $q=0,4$ кВт/м², б) $q=0,5$ кВт/м², в) $q=0,9$ кВт/м², г) $q=1,8$ кВт/м²

Сурет 2. $x=0$ мм, $y=6$ мм нүктесінде уақыт бойынша жылу бергіштің қабырға жолындағы температура байланыстары

(1)–(6) өрнектерінен есепті шешудің нәтижелері каскадты термосифондарды жүргізу процесін математикалық сипаттауда қолданылды. Модельдеу аймағы 4-суретте көрсетілген. Бұл тапсырма каскадты термосифондардың барлық төменгі және жоғарғы ағындары қауіпті байланысқа түспеуін талап етті (біріншісінің төменгі деңгейі және соңғысының жоғары деңгейі). Екінші мәселені шешуде термосифонның қолайлы жылу беру сипаттамаларынан алынған параллел деректері пайдаланылды, содан кейін олар әзірленді. Бұл сипаттамалар тікелей эксперимент шарттарымен жауапкершілікпен анықталады. Термосифон тиімді жылу өткізгіштердің жылу қиындықтарын көрсететін шағын мәндерде алынды (бөлшектердің ұзындығы бойынша бірнеше өлшемдер). Термосифонды Каскад мәселелерін шешуде $\lambda_{эф}$ мәндерін көрсету үшін эксперименттік зерттеулерді үлкейту маңызды. Мұны ауыстыру термосифондарына қарағанда тиімділігі жоғары зерттеулер үшін жасау керек [6].



Сурет3. Жылу бергіштің тиімді жылу бергіштігінің ($\lambda_{эф}$, Вт/(м·К) жылулық ағыны (q , Вт/м²)



1 - төменгі қақпағы; 2 конденсаттар қатары; 3 –бу каналы; 4 – жоғарғы қақпағы

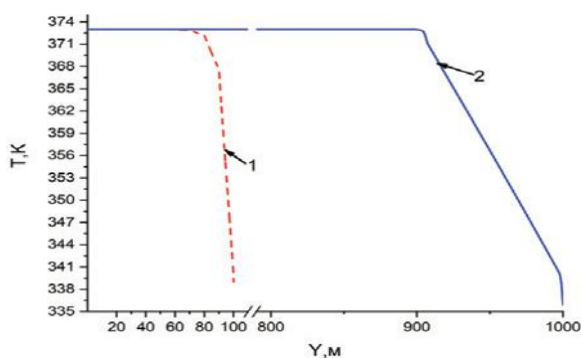
Сурет 4. Теңшекті бөлік

Биіктігі үлкен термосифонлардың топтары (40 дейін) қарастырылды (4-сурет). Әр бірінде қарпазын солайша төменгі және жоғары төбелердің 3 мм

көліктері, төменгі төбедегі салқындатқыш 20 мм диаметрі, паралық каналдың биіктігі 10 мм. Қабырғалар арасындағы физикалық модельге сәйкестенісін термосифондың әр бірінде жылуөткізгіштің төрт теңдеуінің шешіміне айналды (өзара айырмашылықтың қарпаздарында). Бөліктер арасындағы шектеулер белгілі өріс ретінде қолданылды (оның дағы бір сипаты термосифондар арасында).

Соңғы термосифонның жоғарғы қақпағының жоғарғы шекарасында үшінші текті шекаралық шарттары белгіленген. Мұндағы-жылу беру коэффициенті; TV-геотермалдық көздерден қоректенетін жылыту жүйесіндегі судың температурасы.

Мәселені шешудің нәтижелері суретте көрсетілген. Каскадтың биіктігі бойынша температураны (h) бөлу түрінде 10-нан 100 данаға дейінгі әртүрлі мөлшердегі 5 термосифон. Сандық модельдеу нәтижелері (5-сурет) 373 К геотермалдық су температурасында термосифонның жоғарғы қақпағының температурасы шамамен 336 К жетуді мүмкін екенін көрсетеді [7-8].



Сурет 5. Температураның таралуы

Қорытынды. Термосифондар каскадындағы жылу алмасу процестерін сандық модельдеу нәтижелеріне сүйене отырып, мұндай жүйені жоғары термосифондарда үлкен тереңдіктен геотермалдық энергияны алу үшін пайдалану мүмкіндігі негізделген. Үлкен тереңдіктен көтерілу кезінде жылу шығынының болмауы. Термосифондар каскады арқылы геотермалдық энергияны алу жүйелерін құру үшін жабық екі фазалы термосифондар жұмысының негізгі сипаттамаларын (ең алдымен тиімді жылу өткізгіштік) пайдалану мүмкіндігін негіздеу үшін эксперименттік және теориялық зерттеулер кешенін жүргізу қажет. Салыстырмалы түрде төмен биіктікте алынған соңғысы биік көліктерге қатысты. Термосифондардың дизайны мен жұмыс параметрлерін таңдау бойынша зерттеудің келесі бағыттары тұжырымдалған.

Әдебиеттер тізімі

1. Абсаметов, М.К. Подземные воды стратегический ресурс устойчивого развития Казахстана [Текст] / М.К Абсаметов, Д.А Касымбеков, Е.Ж Муртазин // Вестник Казахской Национальной Академии естественных наук. – 2013. – № 3. – С. 115-116.
2. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World Update Report. Proceedings World // Geothermal Congress 2010. – Bali, Indonesia 25-29 April 2010. – 41p.
3. Ужкенова, Б.С. Водные ресурсы Казахстана [Текст]: учебное пособие / Б.С. Ужкенова – Справочник под ред. – Алматы: НИЦ «Гылым», 2002. – 596 с.

4. Сыдыкова, Ж.С. Геотермические условия АралоКаспийского нефтеносного региона [Текст]: учебное пособие / Ж.С. Сыдыкова. – Алма-Ата: «Наука», 1977. – 184 с.
5. Абыкаев, Н.А. Проект Концепции стратегии устойчивой энергетики будущего Казахстана до 2050 года [Текст] / Н.А. Абыкаев, О.Л. Кузнецов, Н.С. Бектурганов [и др.] // Вестник Казахской Национальной Академии естественных наук. – 2013. – № 2. – С. 16-66.
6. Муртазин, Е.Ж.К вопросу использования геотермальных вод Жаркентского артезианского бассейна [Текст] / Е.Ж.Муртазин, С.М. Кан, В.Д. Вялов, О.В. Сульдина, Ш.Г. Курмангалиева, О.А. Калугин // Известия НАН РК №6. – Алматы: 2014.
7. Плеханов, П.А. Исторические аспекты решения проблемы использования геотермальных вод в Казахстане. Ресурсы подземных вод – важнейший элемент устойчивого развития экономики Казахстана [Текст] / П.А. Плеханов // Матер. Междунар. Научно-теоретической конф. – Алматы, 14–15 сентября 2012. – С. 118-124.
8. Поваров, О.А. Развитие геотермальной энергетики в России и за рубежом [Текст] / О.А. Поваров, Г.В. Томаров // Теплоэнергетика. – 2006. – № 3. – С. 2-10.

Материал редакцияга 21.05.23 түсті.

Ж.С. Туленбаев

Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО МЕТОДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. В статье проведено численное моделирование процессов теплообмена в системе получения геотермальной энергии с большой глубины. Также рассмотрен упрощенный метод расчета температурных полей в термосифонном каскаде, позволяющий проводить опытно-конструкторские работы по созданию систем получения геотермальной энергии на основе термосифонного каскада. В рамках "эффективной" модели теплопроводности показана возможность анализа температур, при которых можно экспериментально определить коэффициенты основных характеристик. Установлена возможность передачи тепла с большой глубины с достаточной "эффективностью" для достижения температуры около 330 К в системе теплоснабжения в условиях полной теплоизоляции внешнего контура. В результате заложена основа для дальнейшей разработки моделей и методов анализа процессов получения геотермальной энергии с большой глубины с помощью каскада термосифонов. На основе полученных теоретических результатов сформулированы основные направления экспериментальных исследований. Результаты численного моделирования дают основание сделать вывод о том, что актуальна дальнейшая (экспериментальная и теоретическая) разработка метода получения геотермальной энергии из больших глубин подземных вод с использованием каскада термосифонов на высоте.

Ключевые слова: геотермальная энергия, двухфазный каскад термосифонов, математическое моделирование, тепловой поток, теплообмен, испарение, конденсация, проводимость.

Zh.S. Tulenbayev

M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

ANALYSIS OF A POSSIBLE METHOD OF USING GEOTHERMAL ENERGY

Abstract. The article presents numerical modeling of heat transfer processes in a system for obtaining geothermal energy from a great depth. A simplified method for calculating temperature fields in a thermosiphon cascade is also considered, which allows for experimental design work on the creation of geothermal energy production systems based on a thermosiphon cascade. Within the framework of the "effective" thermal conductivity model, the possibility of analyzing temperatures at which it is possible to experimentally determine the coefficients of the main characteristics is shown. The possibility of heat transfer from a great depth with sufficient "efficiency" to reach a temperature of about 330 K in the heat supply system under conditions of complete thermal insulation of the external circuit has been established.

Keywords: geothermal energy, two-phase cascade of thermosiphons, mathematical modeling, heat flow, heat exchange, evaporation, condensation, conductivity.

References

1. Absametov M.K., Kasymbekov D.A., Murtazin E.Zh. PodzemnyevodystrategicheskiyresursustoychivogorazvitiyaKazakhstana[Groundwater is a strategic resource for sustainable development of Kazakhstan] // VestnikKazakhstanskoyNatsional'noyAkademiiyestestvennykh nauk[Bulletin of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences]. 2013. No. 3. P. 115-116.[in Russian]
2. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World Update Report. Proceedings World // Geothermal Congress 2010. – Bali: Indonesia 25-29 April 2010 – 41p.
3. Uzhkenova B.S. VodnyeresursyKazakhstana[Water resources of Kazakhstan]: textbook / Handbook, ed. – Almaty: Center "Gylym", 2002. – 596 p.[in Russian]
4. Sydykova Zh.S. GeotermicheskiyusloviyaAraloKaspiyskogoneftenosnogoregiona[Geothermal conditions of the Aral Sea of the Caspian oil-bearing region]: textbook – Alma-Ata: "Science" KazSSR, 1977. – 184 p.[in Russian]
5. Abykaev N.A., Kuznetsov O.L., Bekturganov N.S. [and others]ProyektKontseptsiistrategiiustoychivoyenergetikibudushchegoKazakhstana do 2050 goda[Draft Concept of the Sustainable Energy Strategy for the Future of Kazakhstan until 2050] // [Bulletin of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences]. 2013. No. 2. P. 16-66.[in Russian]
6. Murtazin, E.Zh., Kan, S.M., Vyalov, V.D., Suldina, O.V., Kurmangalieva, Sh.G. Kalugin, O.A., K voprosu ispol'zovaniyageotermal'nykhvodZharkentskogoartezianskogobasseyna[On the use of geothermal waters of the Zharkent artesian basin] // Izvestiya NAS RK No. 6. Almaty, 2014.[in Russian]
7. Plekhanov P.A. Istoricheskiyeaspektyresheniya problemy ispol'zovaniyageotermal'nykhvod vKazakhstane. Resursypodzemnykhvod – vazhneyshiy element ustoychivogorazvitiyaekonomikiKazakhstana[Historical aspects of solving the problem of using geothermal waters in Kazakhstan Groundwater resources are the most important element of sustainable development of the economy of Kazakhstan] // Mater. International Scientific Theoretical Conf. – Almaty, September 14-15, 2012. – P. 118-124.[in Russian]

8. Povarov O.A., Tomarov G.V. Razvitiyegeotermal'noyenergetiki v Rossiizarubezhom[Development of geothermal energy in Russia and abroad] // Teploenergetika[Thermal power engineering]. 2006. No. 3. P. 2-10. [in Russian]