

FTAMP 44.31.33

Н.Ш. Абдлахатова¹ – негізгі автор,
А.О. Жанпейісова² | ©¹Докторант, ²Аға оқытушы

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-1285-2684>; ²<https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан²М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан¹abd lakhatova@list.ru, ²ayzhan.zhanpeisova@mail.ru<https://doi.org/10.55956/LVBD3937>

БИНАРЛЫ ГЕОТЕРМАЛДЫ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНДАҒЫ БУ ТУРБИНАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫ

Аңдатпа. Мақалада геотермалдық ресурстардың сипаттамалары берілген. Геотермалды энергияның артықшылығы мен кемшіліктері қарастырылған. Геотермалды көздерден электр энергиясын өндіру келешегі баяндалған. Гидрогеотермалдық ресурстарды барынша тиімді игеруге ықпал ететін бинарлы Гео электр станциясын (ГеоЭС) артықшылықтары сипатталған.

Тірек сөздер: геотермалдық ресурстар, бинарлы циклді геотермалды электр станциясы, қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығы, бу турбиналық қондырғы, су буы.



Абдлахатова, Н.Ш. Тербеліс формасын тізбектеп жуықтаудың графикалық формасы [Мәтін] / Н.Ш. Абдлахатова, А.О. Жанпейісова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2022. – №2(76). – Б.73-80. <https://doi.org/10.55956/LVBD3937>

Кіріспе. Термалды судың жылуын пайдаланудың маңызды артықшылықтарының бірі оны электр энергиясына айналдыру мүмкіндігі болып табылады. Қазақстанда термалды суды туристік мақсатта, үйлерді және жылыжайларды ыстық сумен қамтамасыз ету үшін пайдаланады. Көптеген елдерде бұл салада айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілген. Жалпы жоғары температуралы термалды суды жылумен қамтамасыз ету, электр энергиясын өндіру үшін пайдаланған жөн екендігі қабылданған.

Қазақстан аймағында температурасы орташа, төмен және жоғары болатын геотермалды сулардың айтарлықтай көздері бар. Қазіргі уақытта термалды су көздерін тұрғын үйді жылытуға, қыста жылыжайларда, сондай-ақ туристік демалыс аймағында пайдалануға болады. Дегенмен, жер асты жылу көздерінің энергиясының температурасы көп жағдайда 40-80°C құрайды [1].

Көптеген геотермалдық аймақтарда қалыпты температурадағы сулар бар екені белгілі, дегенмен жер астынан шығатын судың температурасы 100 °C-тан төмен болса, онда ол үшін күрделі бинарлы геотермалды электр станциясын салу қажет болады. Онда ұңғымадан сұйықтық турбинаға тікелей берілмейді. Оның орнына жылу алмастырғышта қайнау температурасы орташа температурадағы судан төмен басқа жұмыс сұйықтығы пайдаланылады, ол буға айналып, турбинаны айналдырады, конденсацияланады және жылу

алмасу камерасына қайта оралады. Жүйе тұйық контур болғандықтан экологияға зардабы жоқ [2].

Мысалы, Камчатканың жанартаулы аймақтарында бу гидротермиялық саңылаулар түріндегі геотермалдық энергияның үлкен қоры бар, ал платформаның тау етегінде температурасы 60-200°C болатын жылу энергетикалық геотермалды сулар кездеседі. Геотермалды станциялар 0,5-3 км тереңдіктегі табиғи жарылған су қоймаларынан бу-су қоспасының көздеріне негізделген. Бу-су қоспасының құрғақтық дәрежесі 0,2-0,5 және меншікті энтальпиясы 1500-2500 кДж/кг. Орташа алғанда бір өндіру ұңғымасы 3-5 МВт электр энергиясын береді. Энергияны түрлендіргіш ретінде бу турбиналары қолданылады [3,4].

Энергия өндіру үшін геотермалды электр станцияларын пайдалану қоршаған ортаның ластануын барынша азайтады.

Зерттеудің шарттары мен әдістері. Таулы қатпарлы аймақтардың жылу энергетикалық сулары Камчатка кен орындарының вулканизм аймақтарында жиі кездеседі. 1-кестеде Камчатка гидрогеотермиялық аймағының негізгі сипаттамалары көрсетілген.

1-кесте

Камчатка гидрогеотермиялық аймағының негізгі сипаттамалары

Температу- расы °С	Минерал- дануы, г/л	Су қоры, мың м ³ /тәу	Жылу қоры, мың Гкал/жыл	ГеоЭС қуаты, МВт
>100	<10	452	10725	>900

Камчатканың жоғары температуралы геотермалдық кен орындары («Геотерм» ААҚ мәліметтері бойынша) 2-кестеде келтірілген.

2-кесте

Жұмыс істеп тұрған ГеоЭС техникалық сипаттамалары

Ұңғыма аймағы	Ұңғыманың шығысындағы салқындат- қыштың күйі	Резервуардағы орташа температура, °С	Резервуар көлемі, км ³	Электр қуатының максималды болжамы, МВт
Мутновскі	қатты	220	80±24	460±138
Солтүстік- Мутновскі	қыздырылған және қаныққан бу	220	30±9	172±52
Кошелевскі	қызып кеткен	200	37,5±11,2	215±64
Төменгі Кошелевскі	және қаныққан бу	220	17,5±5,2	100±30

Камчатка өлкесінің гидротермиялық конвективті жүйелері шартты түрде жоғары температура (150°C жоғары) және төмен температура (150°C төмен) болып бөлінеді [5].

Жоғары температуралық жүйелердің күтілетін геотермалдық ресурстарын бағалау үшін екі негізгі әдіс қолданылды:

- табиғи жылулық мәні бойынша (беттік жылу құбылыстары арқылы жылудың таралуы);

- сұйыққа қаныққан және гидротермиялық жүйелер ішінде таралған жылу энергиясын анықтау.

Мысалы, белсенді Паужет гидротермиялық жүйесінің есептік ресурстарын есептеу кезінде оның жылу сыйымдылығы 104 МВт табиғи жылу құбылыстарымен жылу өндірудің қосындысы ретінде анықталды. Бұл мәнді төрт есе көбейту арқылы ұңғыма сағасындағы жылу энергиясын түрлендіру коэффициентін (0,23) енгізіп, 38 МВт есептік қуатты алу үшін оны электр энергиясына (0,4) айналдырамыз. Ресурсты бағалаудың екінші әдісі тау қыртысы температурасын және меншікті жылуын біле отырып, блоктың, қабаттың немесе қыздырылған қабаттың өлшемін анықтау талап етіледі. Паужет гидротермиялық жүйесінің есептеу нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

3-кесте

Паужет кен орнының сипаттамасы

Табиғи термиялық жүктеме, МВт	Резервуар орташа температурасы, °С	Қуаты, МВт
104	220	38

Кен орындарын бағалау негізінде перспективті жоғары температуралы геотермалдық кен орындары анықталды, олардың платформасында жұмыс істеуге арналған бу турбиналық қондырғы жұмыс істей алады.

Қазіргі уақытта Камчаткада бинарлы циклмен біріктірілген қуаттылығы 6,5 МВт жоғары қуатты Мутновскі ГеоЭС төртінші блогының құрылысы аяқталды (жұмсалған хладагент қайтадан су қоймасына айдалмай, электр энергиясын өндіру үшін пайдаланылады). Бинарлы қондырғыны қосу қоршаған ортаны қорғау тұрғысынан зауыттың қуаттылығын 50%-ға арттырады деп күтілуде. Бинарлы блоктың ГеоЭС схемасына қосылуы алғаш рет Ресейде орындалған [6,7].

Бинарлы циклді геотермиялық электр станциясының бу турбиналық қондырғысын жобалау аясында келесі ғылыми-техникалық мәселелер шешіледі:

- оңтайлы қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығын таңдау;
- конденсаттың ең төменгі салқындату температурасын анықтау;
- турбинаның жұмыс жолындағы шөгінділердің алдын алуды қамтамасыз ету;
- конденсатор-буландырғыштан конденсацияланбайтын газдарды алудың оңтайлы әдісін таңдау;
- атмосфераны негізгі ластаушы күкіртті сутегінің шығарылуына экологиялық шектеулерді қамтамасыз ету, бинарлы энергоблоктың жұмыс сұйықтығының термофизикалық қасиеттерін зерттеу.

Ғылыми нәтижелерді талқылау. Бинарлы контурдың қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығы ретінде изобутан, алканды көмірсутек, қалыпты бутанның изомері таңдалды. Геотермиялық ұңғымаларды бұрғылау кезінде ілеспе газдардың, соның ішінде изобутанның көлемі үлкен. Оның қайнау температурасы минус 11,73°С, ал балқу температурасы – минус 159,6°С.

Бинарлы циклді геотермиялық станциясының жылу схемасын таңдау. Бу турбиналық қондырғысы жобаланатын ГеоЭС жылу схемасын таңдаудағы

бірінші қадам жоғарыда аталған Жоғары-Мутновскі ГеоЭС құру принциптерін талдау болды.

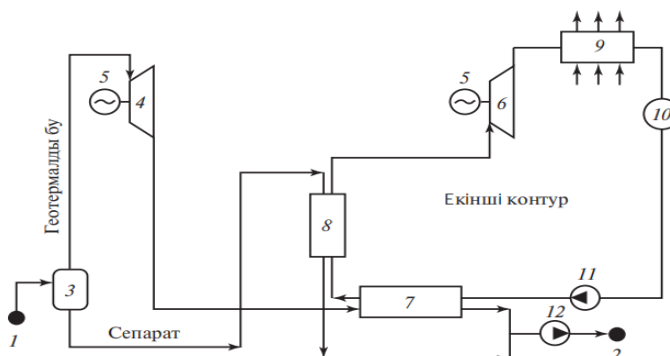
Жоғары-Мутновскі станциясын құру бірқатар жаңа техникалық шешімдерге негізделген, атап айтқанда:

- толық зауыттық дайындығы бар блок, бу дайындау жүйесі пайдаланылды, ол ГеоЭС-на жақын орналасқан;

- негізгі блоктардың – модульдердің (турбиналық генераторлар, электр жабдықтары) 100% зауыттық дайындығымен ГеоЭС модульдік түрі қолданылады;

- ауа конденсаторы бар геотермиялық салқындатқышты пайдаланудың экологиялық таза схемасы ұсынылды, бұл турбиналардағы будан энергия алуға және конденсатты жерге айдау ұңғымаларына бағыттауға мүмкіндік береді.

Жоғары-Мутновскі ГеоЭС құрудың түбегейлі жаңа техникалық шешімдері, атап айтқанда, жобаланған станцияның жылу схемасын таңдау кезінде ескерілді. 1-суретте бу турбиналық қондырғы жобаланатын ГеоЭС схемасы көрсетілген [6].



1 – өндірістік ұңғыма; 2 – айдау ұңғымасы; 3 - бөлгіш; 4 - бу турбины; 5 - генератор; 6 - қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығы; 7 - конденсатор-буландырғыш; 8 - аса қыздырғыш; 9 - ауа конденсаторы; 10 - қабылдағыш; 11 - айналым сорғысы; 12 - қысымды сорғы.

1-сурет. Бинарлы циклді геотермиялық электр станциясының жылулық схемасы

Геотермиялық бу турбиналық қондырғыны жобалау 1-суретте көрсетілгендей, біріктірілген бинарлы циклді геотермиялық қондырғы екі энергетикалық түйінді қамтиды. Бірінші энергетикалық блок геотермиялық жұмыс сұйықтығымен жұмыс істейтін бу турбиналық қондырғыдан тұрады.

Зерттеу жұмысының бұл кезеңінде термиялық қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығының сипаттамалары, сонымен қатар сепаратор бөлігі мен бу турбины, экономикалық және техникалық тұрғыдан ең перспективалы геотермиялық кен орны көрсетілген [7].

Резервуардың орташа температурасы 200°C болғанда, үстіңгі қыздыру ортасы қатты қызған және қаныққан бу-термалды су болып табылады.

Электр станциясына арналған бинарлы қондырғы геотермалдық ұңғымалардан алынатын бу-су қоспасын екі сатылы бөлу арқылы алынған буды базалық режимде жұмыс істейтін екі конденсациялық типті бу турбиналық қондырғыларында электр энергиясын өндіру үшін бастапқы бу қысымы 0,65 МПа пайдалануды қарастырады. Жобаның экологиялық

тазалығын қамтамасыз ету үшін электр станциясының технологиялық сызбасында конденсатты айдау (қайта айдау) және жер қабаттарына кері бөлу, сондай-ақ атмосфераға күкіртті сутегінің шығарындыларын болдырмау жүйесі қарастырылған [8].

ГеоЭС және бу турбиналық қондырғының техникалық-экономикалық көрсеткіштері: ГеоЭС орнатылған қуаты – 50 МВт (екі бірлік); блокқа бу шығыны - 47,5 кг/с; бүкіл ГеоЭС үшін бу шығыны - 95 кг/с; қондырғының қуаты (нетто) – 23,03 МВт, ГеоЭС – 46,06 МВт.

Сепаратордың жұмысы шығудағы будың құрғақтық дәрежесі 0,9998-ден жоғары және будағы жалпы тұз мөлшері 0,5 мг/л-ден аз болуын қамтамасыз етеді. Бұл параметрлерді қамтамасыз ету үшін бу бөлгішінде таза конденсат жіберілетін жуу құрылғысы бар. Номиналды режимде (қуат бойынша) бу сепараторлары келесі параметрлермен жұмыс істейді:

Сепаратордың кірісіндегі бу параметрлері: шығыны - 47,317 кг/с; қысым (абс) - 0,64 МПа; температура - 186,3°C; будың ылғалдылығы - 0,02%.

Сепаратордың шығысындағы будың параметрлері: шығыны - 47,5 кг/с; қысым (абс) - 0,65 МПа; температура - 187°C; будың ылғалдылығы - 0,1%.

Белсенді-реактивті қос ағынды турбина 25 МВт номиналды қуатты қамтамасыз етеді. Ол тығынның алдындағы будың бастапқы қысымында 0,62 МПа қол жеткізіледі, будағы конденсацияланбайтын газдардың мөлшері 0,4% (масса бойынша), ал конденсатордағы бу қысымы 5 кПа. Әрбір турбиналық ағында сегіз кезең бар.

Турбина алдындағы будың номиналды конструктивтік параметрлері:

- бу қысымы - 0,62 МПа;
- турбинаның алдындағы будың құрғақтық дәрежесі - 0,9998;
- будағы конденсацияланбайтын газдардың мөлшері – 0,4%;
- конденсатордағы бу қысымы - 5,0 кПа.

Изобутанмен жұмыс істейтін турбинаны қамтитын екінші энергетикалық блокта Q_c бөліндісінің жылу энергиясы органикалық жұмыс сұйықтығына (ОРТ) беріледі. Сәйкесінше жылу балансын былай жазуға болады:

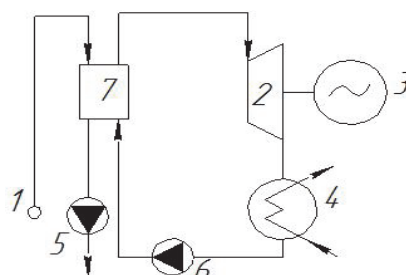
$$Q^c C_p^c (T1^c - T2^c) = Q^{opt} C_p^{opt} (T1^{opt} - T2^{opt}) \quad (1)$$

мұндағы C_p^c , C_p^{opt} – сәйкесінше бөлек және орташа жылу сыйымдылығы; $T1^c$ – жылу алмастырғыштың кірісіндегі бөлу температурасы; $T2^c$ – жылу алмастырғыштың шығысындағы бөліктің температурасы; $T1^{opt}$ – жылу алмастырғышқа кіретін жердегі орташа температура; $T2^c$ – жылу алмастырғыштың шығысындағы бөлек температура.

2-суретте екінші контурды орнату схемасы көрсетілген.

Бинарлы циклді электр станциясының бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Артықшылықтары мыналарды қамтиды:

- тұзды ерітіндінің жылуын неғұрлым толық пайдалану және оны төменгі температурасы төмен қабатына айдау;
- электр энергиясын өндіру үшін төмен температуралы геотермалдық ресурстарды пайдалану мүмкіндігі;
- геотермиялық салқындатқыштың агрессивті компоненттері турбинаға, конденсаторға және басқа жабдыққа түспейді, бұл ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз етеді;
- зиянды газдар қоршаған ортаны ластамайды.



1 – геотермиялық ұңғыма; 2 - турбина; 3 - генератор; 4 - конденсатор; 5 - қысымды сорғы; 6 - екінші контурдың циркуляциялық сорғы; 7 - жұмыс агентін қыздыруға, булануға және қызып кетуге арналған жылу алмастырғыштар блогы.

2-сурет. Екінші контурды орнату схемасы

Орнатудың кемшіліктері схеманың күрделілігі және температуралық потенциалдың кейбір жоғалуы болып табылады, өйткені жылуды геотермиялық сұйықтықтан жұмыс сұйықтығына беру үшін температура айырмашылығы қажет.

Қорытынды. Болашақта геотермалдық ресурстарды пайдалана отырып, бинарлы технологиялардың көмегімен электр энергиясын өндіру маңызды рөл атқарады. Геотермалды электр станциясы күннің, желдің және басқа да климаттық өзгерістерге қарамастан жұмыс істей алады, бұл Қазақстанның климаты үшін өте қолайлы. Мұндай станцияның тиімділігі 96%, яғни күн батареяларынан 5 есе жоғары. Сонымен бірге, болжамдық мәліметтер бойынша, ел аумағының кем дегенде төрттен бір бөлігін ыстық жер асты суларымен қамтамасыз етуге жеткілікті ресурстар бар.

Аралас немесе бинарлы әдіс – геотермалды суды қосалқы сұйықтықпен бірге пайдалану болашақта геотермалдық электр станциясының ең көп қолданылатын түріне айналады деп болжануда. Бұл температурасы төмен судың бинарлы циклді қондырғылар үшін қолайлы екендігіне байланысты болып отыр, сондай-ақ олар тек су буынан басқа шығарындыларды шығармайтыны белгілі.

Әдебиеттер тізімі

1. Фортов, В.Е. Возобновляемые источники энергии на энергетической сцене мира [Текст]: учебник / В.Е. Фортов, Э.Э. Шпильрайн // Труды Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Т.1. - Махачкала, 2005.
2. Поваров, О.А. Мутновский геотермальный электрический комплекс на Камчатке [Текст]: учебник / О.А. Поваров. – М.: Теплоэнергетика, 2001. - 154 с.
3. Мутновский геотермальный энергетический комплекс на Камчатке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kamlib.ru/resources/mutn2.htm>
4. Алхасов, А.Б. Возобновляемая энергетика [Текст]: учебник / А.Б. Алхасов. - М.: Физмалит, 2010. - 256 с.
5. Паужетская ГеоЭС на Камчатке увеличит мощность на 2,5 МВт к концу 2012 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://neftegaz.ru/news/view/102910-Pauzhetskaya-GeoES/_na-Kamchatke_ uvelichit _moschnost_ na-25-MVt-k-kontsu-2012-g.

6. Бритвин, О.В. Мутновский геотермальный энергетический комплекс на Камчатке [Текст] / О.В. Бритвин, О.А. Поваров, Е.Ф. Клочков [и др.]. // Теплоэнергетика. - 2001. - [?].
7. Леонтьева, А.И. Теория тепломассообмена [Текст]: учебник / под ред. А.И. Леонтьева. – 2-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 1997. - 684 с.
8. Гафуров, А.М. Зарубежный опыт эксплуатации установок на низкикопящих рабочих телах [Текст] / А.М. Гафуров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2014. - Т. 24, №4 (24). - С. 26-31.

Материал редакцияға 16.05.22 түсті.

Н.Ш. Абдлахатова¹, А.О. Жанпейісова²

¹Казакский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы,

²Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан

ПАРОТУРБИНАЯ УСТАНОВКА ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БИНАРНОГО ЦИКЛА

Аннотация. В статье приводится характеристика геотермальных ресурсов. Проанализированы достоинства и недостатки геотермальной энергетики. Показана перспективность использования энергии геотермальных источников. Обоснована возможность эффективного освоения геотермальных ресурсов путем строительства бинарных ГеоЭС, что будет способствовать наиболее эффективному освоению гидрогеотермальных ресурсов.

Ключевые слова: геотермальные ресурсы, геотермальная электростанция бинарного цикла, низкикопящее рабочее тело, паротурбинная установка, водяной пар.

N.Sh. Abdlakhatova¹, A.O. Zhanpeisova²

¹Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

²M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

STEAM TURBINE PLANT OF A BINARY CYCLE GEOTHERMAL POWER PLANT FOR GEOTHERMAL FIELDS

Abstract. The article provides a description of geothermal resources. The pros and cons of geothermal energy are analyzed. The prospects of using the energy of geothermal sources are shown. The possibility of effective development of geothermal resources through the construction of binary GeoPPs is substantiated, which will contribute to the most effective development of hydrogeothermal resources.

Keywords: geothermal resources, binary cycle geothermal power plant, low-boiling working fluid, steam turbine plant, water vapor.

References

1. Fortov V.E., Shpilrain E.E. Vozobnovlyayemyye istochniki energii na energeticheskoy stsene mira [Renewable energy sources in the world]: textbook // Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Vozobnovlyayemaya energetika: problemy i perspektivy» [Proceedings of the International Conference "Renewable Energy: Problems and Prospects"]. V. 1. - Makhachkala, 2005. [in Russian].
2. Povarov O.A. Mutnovskiy geotermal'nyy elektricheskiy kompleks na Kamchatke

-
- [Mutnovsky geothermal electric complex in Kamchatka]: textbook. – Moscow: Thermal power engineering, 2001. - 154 p. [in Russian].
3. Mutnovskiy geotermal'nyy energeticheskiy kompleks na Kamchatke [Mutnovsky geothermal energy complex in Kamchatka]. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.kamlib.ru/resourses/mutn2.htm> [in Russian].
 4. Alkhasov A.B. Vozobnovlyayemaya energetika [Renewable energy]: textbook. - Moscow: Fizmalit, 2010. - 256 p. [in Russian].
 5. Pauzhetskaya GeoES na Kamchatke uvelichit moshchnost' na 2,5 MVt k kontsu 2012 g. [The Pauzhetskaya GeoPP in Kamchatka will increase its capacity by 2.5 MW by the end of 2012]. [Electronic resource]. – Access mode: http://neftegaz.ru/news/view/102910-Pauzhetskaya-GeoES_na-Kamchatke_uvelichit_moshchnost_na_25-MVt-k-kontsu-2012-g [in Russian].
 6. Britvin O.V., Povarov O.A., Klochkov E.F. Mutnovskiy geotermal'nyy energeticheskiy kompleks na Kamchatke [Mutnovsky geothermal energy complex in Kamchatka] // Teploenergetika [Thermal power engineering]. 2001. [in Russian].
 7. Leontieva A.I. Teoriya teplomassoobmena [Theory of heat and mass transfer]: textbook. - Moscow: Publishing House of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, 1997. 684 p. [in Russian].
 8. Gafurov A.M. Zarubezhnyy opyt ekspluatatsii ustanovok na nizkokipyashchikh rabochikh telakh [Foreign experience in the operation of installations on low-boiling working bodies] // Bulletin of the Kazan State Power Engineering University. 2014. V. 24., No. 4 (24). pp. 26-31 [in Russian].