

**Ж.Ф. Ожикенова, А.А. Балекова, Ж.А. Епенова,  
Э.И. Бусурманова, А.Д. Заузанбаева**  
Yessenov University, Ақтау, Қазақстан  
E-mail: asemgul.busurmanova@yu.edu.kz

## **ЖЭС ОТЫН САҚТАУҒА АРНАЛҒАН РЕЗЕРВУАРЛАРДЫҢ ЖЫЛУ ТАСЫМАЛДАУЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

**Аңдатпа.** Қазіргі энергетикалық кешенде жылу электр станциялары электр энергиясымен қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Отын сақтауға арналған резервуарлардағы жылу процестерін тиімді басқару ЖЭС-тің сенімді жұмысын қамтамасыз етудің маңызды аспектісі болып табылады. Мақалада ЖЭС резервуарлары мен қазандықтардың жылу шығынын нақты пайдалану шарттарында зерттеудің перспективті тәсілдерінің бірі қарастырылады. ЖЭС резервуарлары мен қазандықтардың жылу тасымалын математикалық модельдеу және осындай жағдайларда қарастырылып отырған объектілердің жылу шығынын сандық талдаулар жүргізіледі. Алынған нәтижелер отынды сақтау процестерін оңтайландыру, энергия тиімділігін арттыру және жылу электр станцияларының сенімділігін арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Түйінді сөздер.** ЖЭС резервуарлар, ЖЭС отындарын сақтау, жылу шығыны, сандық модельдеу, жерасты резервуар.

### **Кіріспе.**

ЖЭС-тің отын сақтайтын резервуарларындағы жылу алмасуды математикалық модельдеу ЖЭС жұмысын оңтайландырудың маңызды құралы болып табылады. Отын резервуарларындағы жылу алмасу процестері энергоблогының тиімділігі мен қауіпсіздігіне әсер етуі мүмкін. Отын сақтайтын цистерналардағы жылу алмасуды математикалық модельдеу кезінде келесі негізгі қадамдарды орындауға болады:

1. Резервуардың геометриясын анықтау:
  - резервуардың пішіні мен өлшемдерін анықтау;
  - оқшаулау және қабырға материалы сияқты құрылым ерекшеліктері.
2. Отынның физикалық қасиеттері: отынның жылу сыйымдылығы, жылу өткізгіштігі және тығыздығы сияқты температураға байланысты өзгеруі мүмкін термодинамикалық қасиеттері.
3. Отынның көлемі мен массасын есептеу: отынның ағымдағы деңгейіне байланысты резервуардағы жанармайдың көлемі мен массасын анықтау;
4. Жылу алмасу процестерін есепке алу: отын мен резервуар қабырғалары арасындағы жылу алмасуды, сондай-ақ қоршаған ортамен жылу алмасуды, сондай-ақ конвективтік және радиациялық жылу алмасуды қарастыру;
5. Жылу балансының теңдеуі: барлық жылу алмасу процестерін және отын температурасының өзгеруін ескере отырып, резервуардың жылу балансының теңдеуін құру.
6. Теңдеудің сандық шешімі: резервуардағы температураның уақыт бойынша өзгеруін модельдеу үшін дифференциалдық теңдеулерді сандық шешу әдістерін қолдану.
7. Нәтижелерді тексеру: модельдің дәлдігін тексеру үшін, егер бар болса, модельдеу нәтижелерін эксперименттік деректермен салыстырыңыз.
8. Нәтижелерді оңтайландыру: жылу электр станциясының тиімділігін арттыру мақсатында отын шығыны, температура және қысым сияқты параметрлерді оңтайландыру үшін модельді пайдалану.

9. Қауіпсіздікті қарастыру: қызып кетудің алдын алу және отынды сақтаудың оңтайлы жағдайларын сақтау сияқты қауіпсіздік аспектілерін ескере отырып үлгіні әзірлеу.

10. Валидация және бейімдеу: нақты деректер негізінде модельді валидациялау және қажет болған жағдайда бейімдеу жүргізу.

Жоғарыда көрсетілген қадамдар жылу электр станцияларындағы отын сақтайтын резервуарлардағы жылу беруді математикалық модельдеуге жалпы көзқарасты білдіреді.

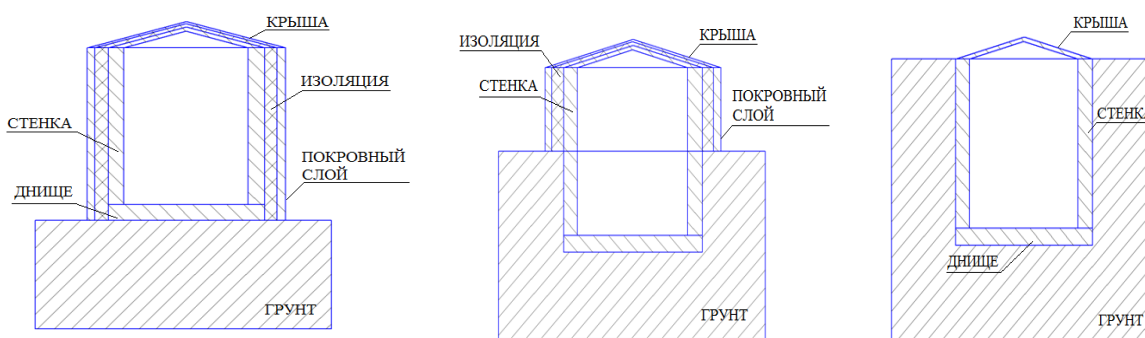
Сібір филиалының энергетика институтының Ресей Ғылым академиясы орнатқандай 30 миллион тонна шартты отынды жылдық тұтынудың ықтимал деңгейін белгілейді, Ресей энергетикалық стратегиясына сәйкес қатаң шектеулер болған жағдайда да 2030 жылы мұнай өндіру 245 миллион тонна деңгейінде болады [1].

Осы болжамдарға қарамастан, қазіргі уақытта елде мазут шаруашылықтарын есептеу және жобалау әдістері саласындағы әзірлемелерге арналған басылымдар өте аз. Бүгінгі күнге дейін қолданыстағы салалық әдістер мазутты жағуға дайындаудың барлық кезеңдерінде болатын жылу процестерінің барлық ерекшеліктерін толық көрсете алмайды. ЖЭС резервуарлары мен қазандықтардың жылу шығынын нақты пайдалану шарттарында зерттеудің перспективті тәсілдерінің бірі қарастырылып отырған жүйелердегі тасымалдау процестерінің қарқындылығына әкелетін әртүрлі әсерлер мен процестерді ескеруге мүмкіндік беретін әртүрлі коммерциялық немесе ашық қолданбалы бағдарламалар пакеттерін пайдалану болып табылады.

Жұмыстың мақсаты топырақ қатқан кездегі ЖЭС резервуарлары мен қазандықтардың жылу тасымалын математикалық модельдеу және осындай жағдайларда қарастырылып отырған объектілердің жылу шығынын сандық талдау болып табылады.

### Материалдар мен тәсілдер.

PVC - 100 маркалы типтік тік цилиндрлік, болаттан жасалған жерасты резервуары қарастырылуда. 1 суретте қарастырылып отырған тапсырма аймағының схемалық бейнесі көрсетілген.



1 сурет - Жер үсті, жартылай жер асты және жер асты резервуарлардың көлденең қимасы

Қарастырылып отырған аймақ үшін ЖЭС резервуарлары мен қазандықтарды орналастыру аймағында жердің қатуын ескере отырып, "жерасты резервуар – қоршаған орта" жылу өткізу жүйесіндегі екі өлшемді стационарлық есептемелер шешілуде.

Тапсырманы қою кезінде келесі негізгі болжамдар қабылданды:

1. Материалдардың термофизикалық сипаттамалары тұрақты және белгілі шамалар болып табылады.
2. Резервуар көлеміне жылу беру қарастырылмайды.
3. Қабаттар арасындағы шекараларда мінсіз жылу байланысы шарттары орындалады.

4. Резервуардың темір қабырғаларының термиялық кедергісі ескерілмейді.

5. Еріген және мұздатылған жерасты аралығы 273К тұрақты температурасын құрайды.

Қабылданған жорамалдар тапсырманың жалпылама түбегейлі шектеулер қоймайды және резервтік отын ЖЭС және қазандықтарды сақтауға арналған резервуарлардың нақты жұмыс режимдерін көрсетеді.

### Нәтижелер.

Қарастырылып отырған объект үшін жылуды тасымалдау процестері келесі жылу өткізгіштік теңдеулерімен сипатталады:

$$\nabla^2 T_i = 0, \quad (1)$$

$$\nabla^2 T_{tg} = 0, \quad (2)$$

$$\nabla^2 T_{fg} = 0. \quad (3)$$

$$T_{i,1} = T_m = \text{const}. \quad (4)$$

$$\lambda_i \text{grad}(T_{i,2}) = \lambda_g \text{grad}(T_{tg,2}); \quad T_{i,2} = T_{tg,2}; \quad (5)$$

$$\lambda_{fg} \text{grad}(T_{fg,3}) = \lambda_{tg} \text{grad}(T_{tg,3}); \quad T_{fg,3} = T_{tg,3}. \quad (6)$$

$$-\lambda_g \text{grad}(T_{g,4}) = \alpha(T_{g,4} - T_{ex}), \quad (7)$$

$$\text{grad}(T_g) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow -\infty. \quad (8)$$

Резервуар корпусының ішкі бетінде тұрақты температура сақталады. Қабаттардың жанасу орындарында идеалды жылу байланыс шарттары орындалады. Қарастырылып отырған объектілердің қоршаған ортамен өзара іс-қимылының шекараларында III тектегі шекаралық шарттар қойылады. Жердегі резервуардан жеткілікті үлкен қашықтықта температура градиенттері нөлге тең.

*Белгіленуі:*  $T$ -температура, К;  $\lambda$ -жылу өткізгіштік коэффициенті, Вт/(м·К);  $\alpha$ -жылу беру коэффициенті, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $i$  – жылу оқшаулау қабаты;  $g$  – топырақ;  $m$ -мазут;  $ex$ -сыртқы; 1-резервуар оқшаулауының ішкі беті; 2 - "резервуар корпусы-топырақ" бөлімінің шекарасы; 3 – "еріген топырақ – мұздатылған топырақ" бөлімінің шекарасы; 4 – "топырақ-қоршаған орта" бөлімінің шекарасы.

### Талқылау.

Қарастырылып отырған мәселе (1) – (8) COMSOL Multiphysics мультифизикалық модельдеу бағдарламалары пакетінің құралдары мен функцияларын пайдалана отырып, соңғы элементтер әдісімен есептерді шешуге негізделген Heat Transfer Module пайдалана отырып шешілді [2]. COMSOL Multiphysics жылу тасымалдауды, термодинамикалық процестерді, конвекцияны, радиациялық жылу тасымалдауды және басқа да көптеген жылумен байланысты құбылыстарды модельдеу үшін жылу технологиясында кеңінен қолданылады. Инженерлер мен зерттеушілер ЖЭС отын сақтайтын цистерналарда күрделі жылу алмасу модельдерін құра алады және оларды осы бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып талдай алады. Heat Transfer Module-әртүрлі жылу алмасу құбылыстарын модельдеуге және талдауға арналған арнайы модуль. Бұл модуль COMSOL Multiphysics құрамына кіреді және әртүрлі салалардағы жылу процестерін сандық модельдеу және модельдеу құралдарын ұсынады. COMSOL Multiphysics-тегі Heat Transfer Module жылу

электр станцияларында отын сақтауға арналған резервуарларда жылу тасымалдауды талдау үшін жан-жақты модельдер жасауға мүмкіндік береді. Бұған отын мен резервуар қабырғалары арасындағы жылу алмасуды есепке алу, конвективті ағындар, қабырғалар арқылы жылу беру және басқа да жылумен байланысты аспектілер кіреді.

Сандық модельдеу кезінде резервуардың ішкі бетінің температурасы  $t_m = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Қоршаған орта температурасы  $t_{ex} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

1-кестеде зерттеу жүргізу кезінде пайдаланылған материалдар мен заттардың жылу-физикалық сипаттамалары келтірілген [3].

1 кесте - Термофизикалық сипаттамалары

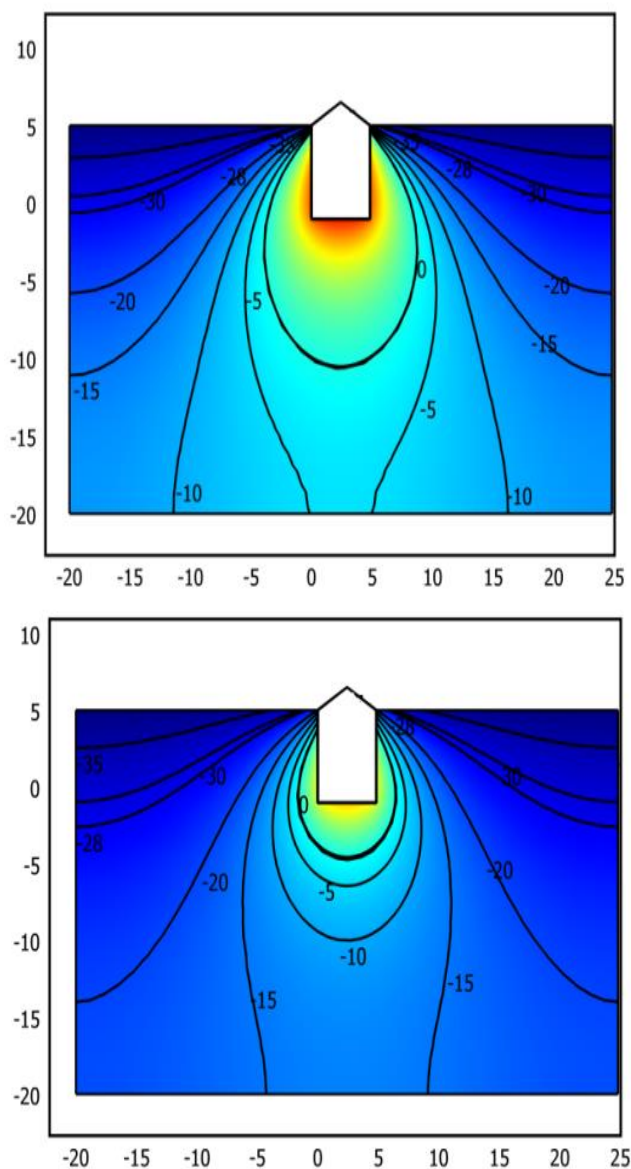
Материал	Іргетасы	Жылулықоқшаулау	Топыра			
			Балшық		Құмды	
			Еріген	Мұзды	Еріген	Мұзды
$\lambda$ ,	1,54	0,046	1,1	1,3	2,3	3,7
$c$ , Дж/(кг·К)	887	840	1231	959	1486	1005
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	220	150	1700	1700	2000	2000

ЖЭС отындарын сақтауға арналған резервуарлар мен қазандықтардың жылу режимдерін оларды орналастыру аймағында мұздату кезінде сандық модельдеудің негізгі нәтижелері 2-кестеде келтірілген, мұндағы  $Q_1$  – топырақтың қатуын есепке алмағанда есептелетін объектінің жылу шығыны және  $Q_2$ -оларды орналастыру аймағында топырақтың қатуын ескере отырып.

2 кесте - Резервуарлардың жылу шығынын есептеу нәтижелері

Нұсқа	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> К	Балшық топырақ			Құмды топырақ		
		$Q_1$ , Вт	$Q_2$ , Вт	$\delta$ , %	$Q_1$ , Вт	$Q_2$ , Вт	$\delta$ , %
Жер асты	5	1674,78	1653,66	1,26	2032,78	1986,31	2,30
	10	1964,89	1944,54	1,03	2341,20	2298,87	1,81
	15	2097,16	2075,04	1,06	2481,31	2438,14	1,74
	25	2219,69	2198,03	0,98	2610,27	2568,69	1,59
Жартылай жер асты	5	1978,62	1962,83	0,8	2261,58	2237,19	1,08
	10	2298,00	2282,66	0,23	2596,17	2573,79	0,86
	15	2440,07	2424,01	1,15	2743,09	2721,59	0,78
	25	2574,73	2556,47	0,59	2879,79	2856,26	0,82
Жер үсті	5	2461,77	2455,46	0,26	2574,17	2571,52	0,1
	10	2832,79	2826,54	0,22	2948,62	2941,88	0,23
	15	2993,21	2987,41	0,19	3110,68	3110,40	0,01
	25	3140,79	3135,03	0,18	3259,91	3258,75	0,04

Сандық талдау нәтижелері ЖЭС отындары мен қазандықтарды сақтауға арналған резервуар орналасқан аймақта топырақтың еруі қарастырылып отырған объектінің жылу режимінің айтарлықтай өзгеруіне әкелмейтінін көрсетеді.



2 сурет - Отын сақтауға арналған резервуарлардың типтік температура өрістері

2-суретте құмды және сазды топырақтың қатуын ескере отырып, ЖЭС отындарын сақтауға арналған резервуарлар мен қазандықтар аймағындағы типтік температура өрістері келтірілген.

### Қорытынды.

ЖЭС-те отын сақтауға арналған резервуарлар терең түсінуді және дәл математикалық модельдеуді қажет ететін күрделі жылу процестеріне ұшырайды. Модельдің негізі жылу өткізгіштік теңдеулері мен жылу балансының теңдеулері болып табылады. Жылу өткізгіштік теңдеулері отын мен резервуар қабырғалары ішіндегі температураның таралуын сипаттайды, ал жылу балансының теңдеулері ыстық отыннан жылу шығару, қоршаған ортаға жылу беру және резервуар қабырғалары арқылы жылу шығыны сияқты энергия ағындарын ескереді. Модель жылу тасымалдауға әсер ететін әртүрлі факторларды, мысалы, отынның жылу қасиеттерін, резервуар қабырғаларының, қоршаған ортаның жылу өнімділігін, тіпті күн радиациясы мен ауа температурасы сияқты сыртқы факторларды ескереді. Теңдеулер жүйесін шешу үшін ақырлы элементтер әдісі

сияқты сандық әдістер қолданылады. Бұл әдістер ЖЭС резервуарларындағы күрделі жылу беру мәселелерін дәл және жылдам шешуге мүмкіндік береді. Ұсынылған модельдеу нәтижелері ЖЭС тиімділігін жақсартып отырып және энергия шығынын азайта отырып, резервуарлардағы отынды сақтау параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. ЖЭС отын сақтауға арналған резервуарлардағы жылу тасымалдауды математикалық модельдеу энергетикалық жүйелердің жұмысын оңтайландырудың қуатты құралы болып табылады. Әрі қарайғы зерттеулер модельдерді нақтылауға, сондай-ақ энергия тиімділігін арттыру үшін жылу тасымалдауды басқарудың күрделі әдістерін жасауға бағытталуы мүмкін.

ЖЭС отындары мен қазандықтарды сақтауға арналған резервуарлардың жылу режимдеріне және жылу шығындарына сандық талдау жүргізілді, мұздату және топырақты еріту жағдайында мұздатылған және еріген аймағы анықталды. Орналастыру аймағында топырақтың қатуы жағдайында резервуарлардың жылу шығынының модельдеу нәтижелерінің салыстырмалы өзгеруі жер асты үшін 0,98 - 2,30% және жер үсті үшін 0,04 – 0,26%, жартылай жер асты резервуарлары үшін 0,23 – 1,15% құрайды.

Бұл мәселені шешу кезінде ЖЭС отыны мен қазандықтарды сақтауға арналған резервуар орналасқан аймақта топырақтың еруін есепке алу қарастырылып отырған объектінің жылу режимінің айтарлықтай өзгеруіне әкелмейтіні анықталды.

## ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.

[2] Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. - СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

[3] Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. - Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.

## REFERENCES\*

[1] Razvitie teplosnabzhenija v Rossii v sootvetstvii s Jenergeticheskoj strategiej do 2030g. // Novosti teplosnabzhenija. – 2010. – № 2. – S. 6–9.

[2] Birjulin G.V. Teplofizicheskie raschety v konechno-jelementnom pakete COMSOL/FEMLAB. - SPb.: SPbGUITMO, 2006. – 89 s.

[3] Guva A.Ja. Kratkij teplofizicheskiy spravochnik. - Novosibirsk: Sibvuzizdat, 2002. – 300 s.

**Zhanat Ozhikenova**, PhD, associate professor, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan,  
zhanat.ozhikenova@yu.edu.kz

**Aknur Balekova**, master, assistant professor, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan,  
aknur.balekova@yu.edu.kz

**Zhanar Epenova**, master, assistant professor, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan,  
zhanar.yepenova@yu.edu.kz

**Essemgul Bussurmanova**, master, assistant professor, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan,  
asemgul.busurmanova@yu.edu.kz

**Agiya Zauzanbayeva**, master, assistant professor, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan,  
agiya.zauzanbayeva@yu.edu.kz

## MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER OF THERMAL POWER PLANT FUEL STORAGE TANKS

**Abstract.** In the modern energy complex, thermal power plants play a key role in providing electricity. Effective management of thermal processes in fuel storage tanks is an important aspect of ensuring reliable operation of thermal power plants. In the article, one of the promising approaches to the study of heat losses of TPP tanks and boilers under specific operating conditions is considered. Mathematical modeling of heat transfer of TPP tanks and boilers and quantitative analysis of heat loss of the objects under consideration in such conditions are carried out. The results obtained can be used to optimize fuel storage processes, improve energy efficiency and increase the reliability of thermal power plants.

**Keywords.** Thermal power plant reservoirs, thermal power plant fuel storage, heat loss, numerical modeling, underground reservoir.

**Жанат Ожикенова**, PhD, доцент, Yessenov University, Актау, Казахстан, zhanat.ozhikenova@yu.edu.kz

**Акнур Балекова**, магистр, ассистент профессора, Yessenov University, Актау, Казахстан, aknur.balekova@yu.edu.kz

**Жанар Епенова**, магистр, ассистент профессора, Yessenov University, Актау, Казахстан, zhanar.yepenova@yu.edu.kz

**Әсемгул Бусурманова**, магистр, ассистент профессора, Yessenov University, Актау, Казахстан, asemgul.busurmanova@yu.edu.kz

**Агия Заузанбаева**, магистр, ассистент профессора, Yessenov University, Актау, Казахстан, agiya.zauzanbayeva@yu.edu.kz

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВ ТЭС

**Аннотация.** В современном энергетическом комплексе тепловые электростанции играют ключевую роль в обеспечении электроэнергией. Эффективное управление теплопроцессами в резервуарах для хранения топлива является важным аспектом обеспечения надежной работы ТЭС. В статье рассматривается один из перспективных подходов к изучению теплопотерь резервуаров ТЭС и котельных в конкретных условиях эксплуатации. Проводится математическое моделирование теплопередачи резервуаров ТЭС и котельных и количественный анализ теплопотерь рассматриваемых объектов в таких условиях. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процессов хранения топлива, улучшения энергетической эффективности и повышения надежности работы тепловых электростанций.

**Ключевые слова.** ТЭС резервуары, хранение топлива ТЭС, теплопотери, численное моделирование, подземный резервуар.

\*\*\*\*\*

Келіп түсті: 10 мамыр 2024 ж.; қабылданды: 30 маусым 2024 ж.