

*М. Р. ЖҰМАБЕК<sup>1\*</sup>, М. С. ТУНГАТАРОВА<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Қаныш Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан*

## **ӘР ТҮРЛІ ТИПТІ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ЖЫЛУСАҚТАҒЫШТАРДЫҢ ЖЫЛУ ЭНЕРГИЯСЫН САҚТАУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ**

*Қысқа мерзімді жылу сақтағыштар артық жылу энергиясын бірнеше сағат немесе бірнеше күн бойы сақтауға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта жылыту және ыстық сумен қамтамасыз ету үшін көмір мен газ негізінде жұмыс істейтін жылу электр станцияларының тиімділігі төмен, ескірген және жылу жоғалту деңгейі жоғары болып табылады. Демек, ескірген және тиімділігі төмен жылу және электр станцияларының жүйелері арқылы энергияға деген сұранысты қамтамасыз ету үшін дәстүрлі энергия көздеріне жататын көмір немесе газ тәрізді отын түрлерін үлкен мөлшерде тұтынуға итермелейді. Ал бұл өз кезегінде, қоршаған ортаның қарқынды ластануына және адамдардың денсаулығына кері әсерін тигізуде.*

*Мақалада фазасы ауысатын материалды қолдану арқылы жылу энергиясын қысқа мерзімді сақтау барысында жүретін жылуалмасу процесстеріне зерттеулер жүргізілді. Қысқа мерзімді жылу сақтағыштарда қолдануға болатын фазасы ауысатын материал ретінде парафин қарастырылды. Парафиннің фаза алмасу процесінің сандық моделі құрастырылды. Жылу энергиясын жасырын сақтаудың негізгі тәсілдері зерттелінді. Жылу энергиясын сақтау үшін фазасы ауысатын парафинді күн энергиясын сақтау, ғимараттардағы ауаны кондиционерлеу және көп қабатты ғимараттарды, жылыжайларды жылыту, ыстық сумен жабдықтау сияқты көптеген салаларда қолдануға болады. Зерттелінген парафиннің бірнеше тәжірибелік маңыздылығы бар. Оларға парафиннің қолайлы фазалық ауысу температурасы, жоғары жасырын жылуы, жылдам жылу алмасуы, жоғары тығыздығы, көлемнің аз өзгеруі және жылу тұрақтылығы болып табылады. Парафин жанғыш емес материалдар қатарынан болып табылады, арзан бағада кездеседі, улы емес материал болғандықтан қоршаған ортаға зияны жоқ.*

***Түйін сөздер:** жасырын энергия, фазалық ауысу, Стефан есебі, фазалық ауысу жылдамдығы, парафин, жылжымалы тор әдісі, жылуды сақтау.*

**Кіріспе.** Энергия қазіргі уақытта ең маңызды ресурс болып табылады. Өткен ғасырларда жылу энергиясы қазбалы отынды жағу арқылы өндірілді. Энергияны тасымалдау, ауаның ластануы және жаһандық жылыну мәселелері жаңартылатын энергия көздерінің көбеюіне әкелді. Осы көздерден энергия үнемдеуге деген қызығушылық артып келеді, өйткені олар соңғы уақытта әлемдік энергия өндірісінің көп бөлігін өндіреді. Сол себепті қазіргі уақытта жылу энергияларын сақтау барысында тиімді тәсілдерді іздестіру ең маңызды жұмыс болып табылады. Осы жаңартылатын энергия көздерін алынған энергияны жылу сақтағыштарда жинайды [2]. Жылу сақтағыштардың қысқа және ұзақ мерзімді екі негізгі түрі бар. Ұзақ мерзімді жылу сақтағыштар маусымдық болып табылады. Мысалы, жазда жылуды сақтап, қыс мезгілінде қолдананылады. Ал қысқа мерзімді жылу сақтағыштар

---

\* E-mail корреспондирующего автора: marzhan190498@gmail.com

жылуды күндізгі уақытта жинап, кешкі қолданыс жоғары уақытта пайдаланылады. Ғимараттарда әдетте күн мен түн арасындағы температураның үлкен ауытқуы сезіледі. Бұл ғимарат тұрғындары үшін жайсыздықты ғана емес, сонымен қатар қысқа мерзімді жылусақтағыштарға деген сұраныс пен пайдаланудың арқасында ғимараттың энергия тұтынуының артуын тудырады [1]. Күн электр станцияларында және басқа өндірістік процесстерде жиі кездесетін мәселе - жылу энергиясын қол жетімділігі мен оны пайдалану кезеңі болып табылады. Бұл жағдай кейіннен пайдалану үшін артық жылуды сақтауға болатын тиімді әдіске қажеттілік туғызады [5]. Бұл мәселені шешудің тиімді шешімдерінің бірі - ғимараттарда жасырын жылу сақтау жүйелерін қолдану және енгізу арқылы температураның осы ауытқуын пассивті түрде азайту. Жылу энергиясын жасырын сақтау - бұл жылу энергиясын сақтаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі. Оның көмегімен энергияны өндіру немесе қол жетімділік пен тұтыну арасындағы сәйкессіздіктерді түзетуге болады, осылайша шығындарды болдырмайды және процестің тиімділігін арттырады. Қысқа мерзімді жылусақтағыштарда жасырын жылуды сақтау үшін фазасы ауысатын материалды қолдану өте тиімді. Фазалық ауысу материалдары - бұл жылу көп болған кезде энергияны сақтап, үнемдейтін және қажет болған кезде оны шығаратын ерекше қабілетке ие материалдар [6].

Зерттеу объектісі ретінде қысқа мерзімді жылусақтағыштарда қолдануға болатын фазасы ауысатын материал – парафин алынды.

Жұмыстың мақсаты: фазасы ауысатын материалды қолдану арқылы жылу энергиясын қысқа мерзімді сақтау барысында жүретін жылуалмасу процесстерін зерттеу. Парафиннің фаза алмасу процесінің сандық моделін құру. Жылу энергиясын жасырын сақтаудың негізгі тәсілдерін зерттеу.

**Есептің қойылымы.** Қысқа мерзімді жылусақтағыштарда жылуды сақтау үшін фазасы ауысатын материалдар қажет. Сол себепті фазасы ауысатын материал парафин қарастырылған. Парафин жоғары жылу сақтау қасиетіне ие. COMSOL Multiphysics бағдарламасында сандық модельдеуді жүзеге асыру үшін фазасы ауысатын материал парафині бар екі өлшемді уақытқа тәуелді қорап қабырғаларының моделі жасалды. Есептің қойылымы 1 - суретте көрсетілген. Төртбұрышты жазықтықтың қабырғасы 10 см болатын квадрат түрінде алынған. Сол жақ қабырғасына ыстық температураны береміз, 330 К. Оң жақ қабырғасына салқын температураны береміз, 320 К. Төртбұрышты жазықтықтың арасына фаза ауысу шекарасын береміз. Оның температурасы парафиннің балқу температурасына сәйкес келеді, яғни 323 К. Қалған үстіңгі және астыңғы қабырғалары жылудан оқшауланған. Егер дененің бөліктерінің температурасы әртүрлі болса, онда денеді жылу алмасу дененің қыздырылған бөлігінен аз қызған бөлігіне қарай жүреді. Берілген есепте парафиннің еру процесінің сандық визуализациясын көрсетілген. Және фаза ауысу шекарасының уақыт өте қалай орын ауыстыратынын көруге болады. Бұл зерттеуде фазалық ауысу материалын қолдана отырып, жылу беруді сандық модельдеуге қатысты маңызды ұсыныстар көрсетілген.



1-сурет – Есептің қойылымы

**Зерттеу әдістері және материалдары.** Жылу энергиясын сақтау үшін фазалық ауысу материалдарын қолдану күн энергиясын сақтау, пайдаланылған жылуды қалпына келтіру сияқты көптеген салаларда танымал. Ғимараттарды жылыту және салқындату үшін фазасы ауысатын материалдарды алдын-ала таңдау кезінде оның фазалық ауысуының қолайлы температурасына, жоғары жасырын жылуына, жоғары жылу беру, жоғары тығыздық, көлемнің шамалы өзгеруі және жылу тұрақтылығына, химиялық, экономикалық қасиеттеріне көңіл бөлу қажет. Жасырын жылуды жинақтау технологиясы температураның ауытқуын төмендетеді және көлем, масса негізінде жоғары жылу жинақтау қабілетін қамтамасыз етеді. Сақталған энергияның температурасы мен мөлшерін фазаны өзгерту үшін белгілі бір материалды таңдау арқылы реттеуге болады. Парафин дәл сондай қасиеттерге ия. Яғни, қажетті жұмыс температурасының диапазонындағы балқу температурасы, бірлік көлеміндегі жоғары жасырын балқу жылуы, жоғары меншікті жылу сыйымдылығы, тығыздығы және жылу өткізгіштігі, берілген температурада фаза өзгерген кезде парафин көлемі мен қысымының аз өзгеруі, коррозияға ұшырамайды, улы емес, жанбайды және жарылғыш емес, ең маңыздысы арзан және қол жетімді [3].

Төмендегі көрсетілген 1-кестеде сандық модельдеу үшін қолданылатын парафиннің термодинамикалық қасиеттері көрсетілген [10].

1-кесте – Парафиннің термодинамикалық қасиеттері

Материал	$\rho_l$ кг/м <sup>3</sup>	$\rho_s$ кг/м <sup>3</sup>	$k$ Вт/м·К	$\nu$ м <sup>2</sup> /с	$C_{pl}$ Дж/(кг·К)	$C_{ps}$ Дж/(кг·К)	$L$ кДж/кг
Парафин	769	900	2,1	8,78	3000	2890	218

Парафин температурасының өзгеруімен оның физикалық күйі өзгереді, қатты денеден сұйық денеге айналады. Бұл жағдайда әрдайым фазалық ауысу бетінде тұрақты температура сақталады. Фазалық ауысудың беті қозғалғанда балқудың жасырын жылуы бөлінеді. Фазалық ауысу процесін сипаттайтын математикалық модель жылжымалы шекара мәселесі немесе Стефан есебі болып табылады. Ол фазалар арасындағы шекарасының орны уақыт өте өзгертін заттың фазалық өзгеруін сипат-

тайды. Материалдың әр фазасында энергияның берілуі жылу өткізгіштік теңдеуімен сипатталады [9],[11].

Қатты және сұйық фазалар үшін жылу өткізгіштік теңдеулері келесі түрде жазылады:

$$\rho_s C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p v \cdot \nabla T + \nabla q = 0 \quad (1)$$

Мұндағы  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $k$  сәйкесінше парафиннің фазасына, яғни қатты немесе сұйық күйіне сәйкес тығыздығы, меншікті жылу сыйымдылығы және жылу өткізгіштік коэффициенттері.

Стефан есебіне қойылатын негізгі шарттар [12]:

1) Фазаның өзгеру барысындағы, яғни қатты күйден сұйық күйге ауысуы барысындағы энергия теңгерімі арқылы алынған фаза шекарасының жылдамдығы.

$$v = - \frac{k_s \frac{\partial T_s}{\partial n} - k_l \frac{\partial T_l}{\partial n}}{\rho L} = - \frac{q}{\rho_s L_{s \rightarrow l}} \quad (2)$$

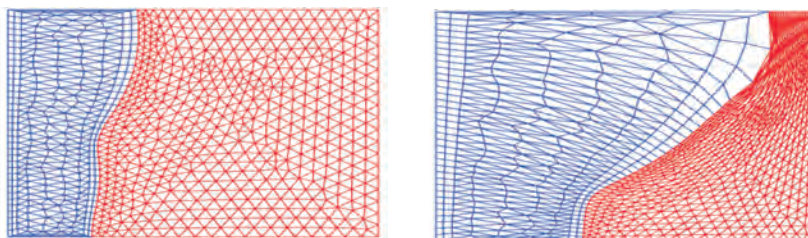
Мұндағы  $L$  – балқудың жасырын жылуы,  $k_s$ ,  $k_l$  сәйкесінше қатты парафин мен сұйық парафиннің жылу өткізгіштік коэффициенттері,  $q$  – жылу мөлшері,  $v$  – фаза шекарасының жылдамдығы.

2) Фазалық шекарада зат бөлшектерінің температуралары фазалық ауысу температурасына тең.

$$T_l = T_s = T_{1 \rightarrow 2} \quad (3)$$

Мұндағы  $T_p$ ,  $T_s$ ,  $T_{1 \rightarrow 2}$ , сәйкесінше парафиннің сұйық, қатты күйіндегі, балқу температурасы немесе бір күйден екінші күйге өту температуралары.

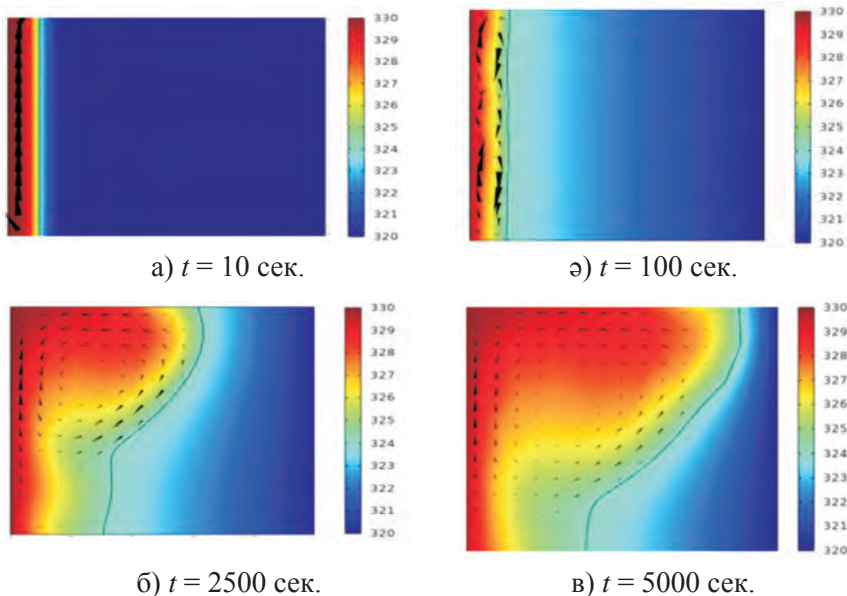
**Талқылау және нәтижелер.** Есептің негізгі моделі COMSOL Multiphysics бағдарламалық пакетінде жүргізілді. Бұл программада жұмыс істеу барысында ең алдымен есепке арналған физиканы таңдауымыз қажет. Жанасқан жылу беру (Conjugate heat transfer) физикасын таңдаймыз. Жанасқан жылу беру қатты денелердегі жылу алмасу мен сұйықтықтардағы жылу алмасу үйлесіміне сәйкес келеді. Өткізгіштік көбінесе қатты денелерде, ал конвекция әдетте сұйықтықтарда басым болады.



2-сурет – Деформацияланған геометрия интерфейсі

2-суретте парафиннің геометриясының өзгеруіне байланысты, еру процесі қалай жүретіндігі көрсетілген. Бөлінген торлардың орын ауыстыру барысында, фаза ауысу шекарасының өзгерісін байқалады. Деформацияланған геометрия интерфейсі

(Deformed geometry) арқылы параметрлерге байланысты геометрия өзгерген кезде физиканың қалай өзгеретінін зерттеуге болады. Оның көмегімен сыртқы геометрияның өзгеруіне байланысты тормен ұсынылған геометрия өзгерген кезде физика қалай өзгеретінін зерттеуге болады.



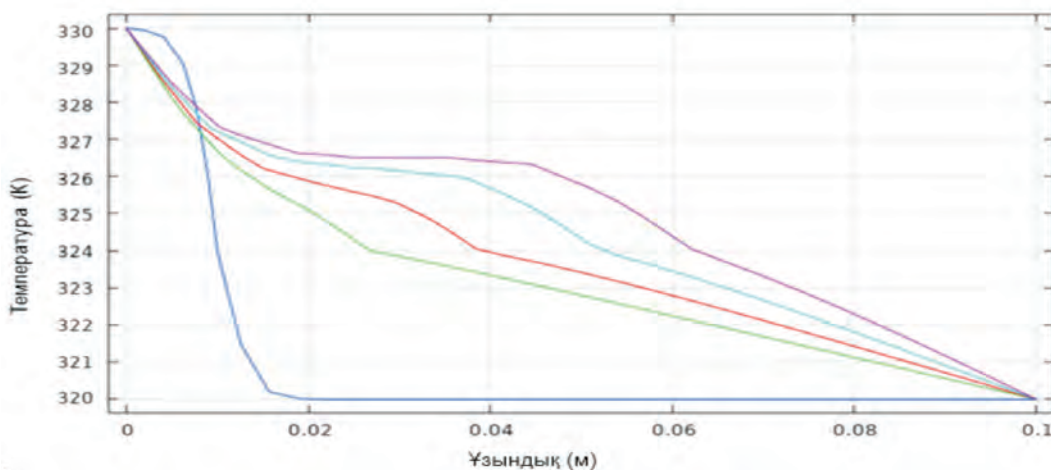
3-сурет – Парафиннің еру кезіндегі температура таралуы

Сұйықтықтың қозғалысын еркін конвекция ретінде қарастырамыз. Конвекция дегеніміз әртүрлі қыздырылған бөлшектердің ауырлық күші өрісіндегі сұйықтықтарда немесе газдарда тасымалдануы. Конвекция арқылы жылу алмасу қозғалатын материал бөлшектері арқылы жүзеге асырылады. Еркін конвекция сұйықтықтың біркелкі қызбайтын гравитациялық өрісінде пайда болады. Еркін конвективті ағындар гравитациялық күштер өрісіндегі жылу немесе масса алмасу процестерінен туындаған тығыздықтың өзгеруі нәтижесінде пайда болады. 3-суретте температура өрісінің таралуын көруге болады. Сол қабырғаны қыздыра бастағанда парафиннің еру процесін көреміз.

Бастапқы  $t = 10$  секунд уақытта парафин ақырын ери бастайды. Келесі  $t = 100$  секунд кезінде конвекция пайда бола бастағанын көруге болады. Одан кейін сұйықтықтағы еркін конвекция әсерінен заттың қозғалысы, яғни еру процесі температура айырмашылығы және оның әсерінен болатын тығыздықтың айырмашылығына байланысты жүретіндігін көреміз. Тығыздықтың айырмашылығы итеру күшін тудырады, оның әсерінен ағын пайда болады.  $t = 2500$  секунд кезінде Архимед күшінің әсерінен парафиннің еріген сұйық бөлігінен аз еріген қатты бөлігіне қарай ауырлық күшіне қарсы бағытта қозғалады. Осы еркін конвекция әсерінен бірінші парафиннің үсті жағы, содан кейін ауырлық күші әсерінен төмен жағы ери бастайды. Соңғы  $t = 5000$  секунд кезінде парафиннің ерігенін көруге болады. Фаза ауысу шекарасы

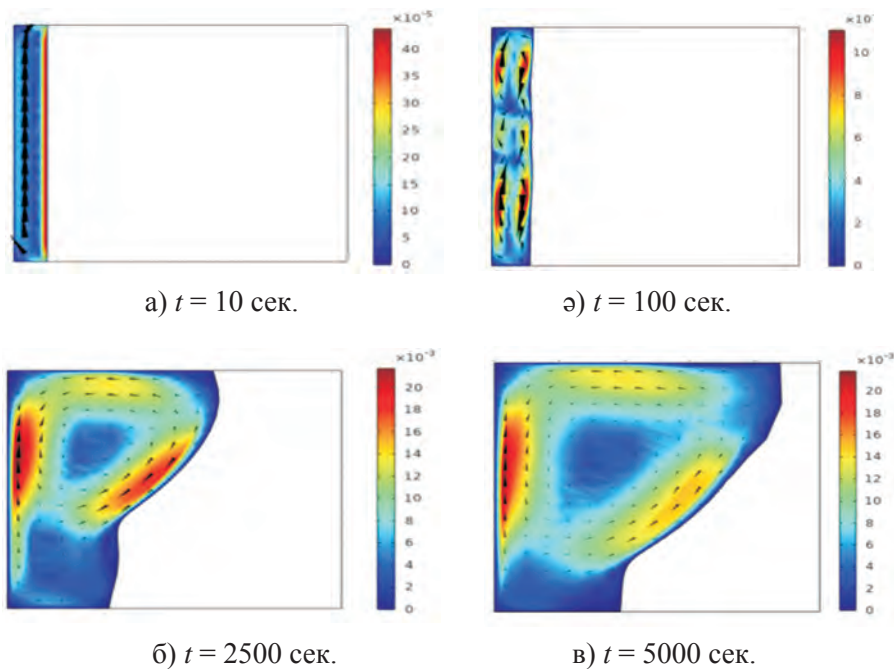
оң қабырғаға дейін толығымен жетпейді, себебі сол жақ қабырғаға 330 К, ал оң жақ қабырғаға 320 К берілген. Сол себепті 5000 секундқа келгенде қысым тепе-теңдікке келеді.

4-суретте парафиннің еруі кезіндегі температураның өзгеру графигі көрсетілген. Графикте еріту процесі басталған уақытта, конвекция басталған уақыттар мен соңғы еріген процесінің температураларына сәйкес келетін сызықтар көрсетілген. Сол жақ қабырға 330 К, сәйкесінше ыстық температура, ал сол жақ қабырға суық қабырғаға сәйкес 320 К температура. Ал парафиннің ортасында еру процесі жүрген кездегі температураның таралу, өзгеру аймағы. Еріген парафиннің біркелкі қызбайтын гравитациялық өрісінде пайда болатын конвекцияның әсерінен қатты және сұйық фазаларының шекарасы уақыт өткен сайын орны ауыса бастайды. Біркелкі қызбайтын гравитациялық өрісінде пайда болған еркін конвекция әсерінен 323 К де парафин ериді. Ал әлі ерімеген бөлігі суық температура 320 К сәйкес екендігін көруге болады.



4-сурет – Температураның өзгеру графигі

(2) - (3) шарттарды, яғни Стефанның шарттарын парафиннің екі фазасы арасындағы фаза ауысу жылдамдығы мен интерфейстің орнын анықтау үшін пайдаланамыз. Парафиннің фаза ауысуы кезінде фазаға сәйкес көлемі мен жалпы ішкі энергиясы өзгереді. Бұл өзгеріс әрдайым белгілі бір шекті жылдамдықпен жүреді, демек, тығыздықтағы немесе меншікті ішкі энергиядағы барлық алшақтықты алыстату үшін бізге белгілі бір шекті уақыт қажет. Осы уақыт ішінде фазалық ауысу заттың бүкіл көлемінде бірден пайда болмайды, бірақ біртіндеп жүреді. Бұл жағдайда бірінші ретті фазалық ауысу кезінде энергияның белгілі бір мөлшері бөлінеді, оны фазалық ауысудың жылуы немесе жасырын жылу деп атайды.



**5-сурет** – Парафиннің фаза ауысу шекарасының жылдамдығың өзгерісі

5-суретте парафин еруі кезіндегі фаза шекарасының ауысу жылдамдығының өзгеруі көрсетілген. 5-суреттегі а, ә, б, в пунктерінен парафиннің уақыт өте келе қандай жылдамдықпен өзгертінін көруге болады. Фаза ауысу шекарасының жылдамдығын (2) формула арқылы есептелінеді. Суреттің а пунктінен  $t = 10$  секунд болған кездегі парафин аз жылдамдықпен біркелкі ери бастайды. Келесі  $t = 100, 2500, 5000$  секунд кездерінде конвекция және Архимед күшінің әсерінен алдымен жоғарғы бөлігі, содан кейін төменгі бөлігі ери бастайды. Келесі  $t=5000$  секунд кезінде парафиннің еріп, қысым тепе-теңдікке келгенін көруге болады.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеулер негізінде мынадай тұжырымдар жасалынды. Парафиннің еру процесін модельдеу үшін Comsol Multiphysics бағдарламасында математикалық модель құрастырылды. Парафиннің еру процесі барысында фаза ауысу шекарасының орын ауысуы мен жылдамдықтың өзгеруінің визуализациялары көрсетілді. COMSOL Multiphysics-те сандық модельдеуді жүзеге асыру үшін фазасы ауысатын материал парафин қарастырылды. Деформацияланған геометрия интерфейсі қолдану арқылы есептеу аймағында тормен ұсынылған геометриясы өзгерген кезде оның физикасы қалай өзгертіндігі көрсетілген. Еріген парафинде пайда болатын еркін конвекцияның әсерінен гравитациялық күштер өрісіндегі жылу немесе масса алмасу процестері қалай өтетіндігін қарастырылды.

Парафиннің фаза ауысу кезінде, кейіннен пайдалану үшін көп мөлшерде жылу энергиясын сіңіреді. Бұл фазалық ауысу кезіндегі жылу энергиясын жасырын сақтау - жылу энергиясын сақтаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі. Оның көмегімен энергияны өндіру немесе қол жетімділік пен тұтыну арасындағы сәйкессіздіктерді түзетуге бо-

лады, осылайша шығындарды болдырмайды және процестің тиімділігін арттырады. Парафиннің жылу сыйымдылығы өте көп болғандықтан, ол жылуды басқа фазасы ауысатын материалдарға қарағанда 30% көбірек сақтайды. Сол себепті қысқа мерзімді жылу сақтағыштарда жылуды сақтау үшін фазасы ауысатын материал парафинді қолданған дұрыс. Парафиннің еру кезіндегі пайда болатын жасырын жылудың сақталынуы сандық түрде зерттелінді.

## ӘДЕБИЕТ

- 1 Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. Thermal energy storage: systems and applications /– 2nd ed. – 1964. - P. 83-187.
- 2 Elsevier Sequoia S.A. Short Term Thermal Energy Storage. Energy and Buildings. – 1981. –P. 49 – 76.
- 3 Mirosław Zukowski. Experimental study of short term thermal energy storage unit based on enclosed phase change material in polyethylene film bag. // Department of Heat Engineering, Białystok. Technical University. – 2006.
- 4 Robert A. Huggins Energy Storage. Springer Science Business Media. - 2010. – P. 21-27.
- 5 Yasar Demirel. Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling. Springer International Publishing. Verlag London Limited. – 2012. – P. 308-323.
- 6 A. Abhat. Short term thermal energy storage. Revue de Physique Applique. – 15(3). – 1980. – P. 477-501.
- 7 Johan Heier. Energy Efficiency through Thermal Energy Storage. – 2013.
- 8 Dutil Y. Rousse, D. R. Salah, N. B. Lassue, S. Zalewski, L. 2011. A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – V. 15. – P. 112-130.
- 9 Theodore L. Bergman. Adrienne S. Lavine. Frank P. Incropera. David P. Dewitt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – USA: John Wiley & Sons. – 2011. – № 7.
- 10 Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Калшабекова Э.Н., Риставлетов Р.А. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов, применяемых в строительстве // Успехи Современного Естествознания. – 2018. – № 12-1. – С. 9-13.
- 11 M. Fremond, Jose Francisco Rodrigue. Mathematical Models for Phase Change Problems. International Series of Numerical Mathematics 88. Birkhauser Basel. – 1989. –P. 129-260.
- 12 Данилюк И. И. О задаче Стефана // Успехи математических наук. – 1983. – № 5. – С. 133-185.

## REFERENCES

- 1 Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. Thermal energy storage: systems and applications /– 2nd ed. – 1964. - P. 83-187.
- 2 Elsevier Sequoia S.A. Short Term Thermal Energy Storage. Energy and Buildings. – 1981. –P. 49 – 76.
- 3 Mirosław Zukowski. Experimental study of short term thermal energy storage unit based on enclosed phase change material in polyethylene film bag. // Department of Heat Engineering, Białystok. Technical University. – 2006.
- 4 Robert A. Huggins Energy Storage. Springer Science Business Media. - 2010. – P.21-27.
- 5 Yasar Demirel. Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling. Springer International Publishing. Verlag London Limited. – 2012. – P. 308-323.



6 A. Abhat. Short term thermal energy storage. *Revue de Physique Applique.* – 15(3). – 1980. – P. 477-501.

7 Johan Heier. *Energy Efficiency through Thermal Energy Storage.* – 2013.

8 Dutil, Y., Rousse, D. R., Salah, N. B., Lassue, S. & Zalewski, L. 2011. A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – V. 15. – P. 112-130.

9 Theodore L. Bergman. Adrienne S. Lavine. Frank P. Incropera. David P. Dewitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer.* – USA: John Willey & Sons. – 2011. – № 7.

10 Ajmbetova I.O., Sulejmenov U.S., Kambarov M.A., Kalshabekova Je.N., Ristavletov R.A. *Teplofizicheskie svojstva fazoperehodnyh teploakkumulirujushhij materialov, primenjaemyh v stroitel'stve // Uspehi Sovremennogo Estestvoznanija.* – 2018. – № 12-1. – S. 9-13.

11 M. Fremond, Jose Francisco Rodrigue. *Mathematical Models for Phase Change Problems.* International Series of Numerical Mathematics 88. Birkhauser Basel. – 1989. – P. 129-260.

12 Daniljuk I. I. *O zadache Stefana // Uspehi matematicheskijh nauk.* – 1983. – №5. – C.133-185.

**М. Р. ЖУМАБЕК<sup>1</sup>, М. С. ТУНГАТАРОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет*

*имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

*e-mail: marzhan190498@gmail.com*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ**

*Кратковременные теплообменники позволяют хранить избыточную тепловую энергию в течение нескольких часов или дней. В настоящее время угольные и газовые тепловые электростанции для отопления и горячего водоснабжения неэффективны, устарели и имеют высокие потери тепла. Поэтому высокое потребление угля и газа, относящихся к традиционным источникам энергии для отопления, привело к сильному загрязнению окружающей среды, серьезным проблемам в экологии и здравоохранении.*

*В статье проведены исследования процессов теплообмена при кратковременном хранении тепловой энергии с использованием фазопереходного материала. В качестве фазопереходного материала, который можно использовать в кратковременных теплоносителях рассматривался парафин. Показана численная модель процесса фазообмена парафина. Изучены основные способы скрытого хранения тепловой энергии. Парафин с фазовым переходом для хранения тепловой энергии может быть использован во многих областях, таких как хранение солнечной энергии, кондиционирование воздуха в зданиях, отопление многоэтажных зданий, теплиц и горячее водоснабжение. Исследуемый парафин имеет несколько практических значений. К ним относятся температура фазового перехода парафина, высокая скрытая теплота, быстрая теплопередача, высокая плотность, небольшое изменение объема и термическая стабильность. Парафин относится к числу негорючих материалов, встречается по низкой цене, является экологически чистыми благодаря нетоксичности материала.*

**Ключевые слова:** *скрытая энергия, фазовый переход, задача Стефана, скорость фазового перехода, парафин, метод подвижной сетки, хранение тепловой энергии.*

**M. R. ZHUMABEK<sup>1</sup>, M. S. TUNGATAROVA<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

*<sup>2</sup>Kazakh National Technical University after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: marzhan190498@gmail.com*

## **STUDY OF THE EFFICIENCY OF THERMAL ENERGY STORAGE IN VARIOUS TYPES OF SHORT – TERM THERMAL ENERGY STORAGE**

*Short-term thermal energy storages allow excess heat energy to be stored for a few hours or days. Currently, coal and gas-fired thermal power plants for heating and hot water are inefficient, obsolete and have high heat losses. Therefore, the high consumption of coal and gas, which are the traditional energy sources for heating, has led to severe environmental pollution and serious environmental and health problems.*

*In this article the heat exchange processes of short-term storage of thermal energy using phase-transition material were investigated. Paraffin was considered as a phase-transition material that can be used in short-term thermal energy storages. A numerical model of the phase change process of paraffin is shown. The basic methods of latent heat energy storage were studied. Phase change paraffin for thermal energy storage can be used in many applications such as solar energy storage, air conditioning in buildings, heating of multi-storey buildings, greenhouses and hot water supply. The paraffin wax under study has several practical values. These include the phase transition temperature of paraffin, high latent heat, fast heat transfer, high density, small volume change and thermal stability. Paraffin is one of the non-combustible materials, can be found at low cost and is environmentally friendly due to the non-toxicity of the material.*

**Key words:** *latent heat, phase transition, Stefan problem, phase transition velocity, paraffin, moving grid method, thermal energy storage.*