

## КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТІ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

А.А. Гәнбач<sup>1</sup>, Н.О. Джаманкулова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

**Түйіндеме.** Мақалада кеуекті салқындату жүйесі зерттеліп, салқындатқыш сұйықтық капиллярлық және гравитациялық күштердің біріккен әсерімен берілетіні анықталды. Кеуекті құрылымдарда сұйықтықтың булануы арқылы жылу алмасу процестері жүретін кессонды модельдейтін капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесі ұсынылған. Қабырға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігін және қабырғаның аса қызып кетуіне жылу ағынының әсерін (ΔТ,К) эксперименттік зерттеу нәтижелері берілген. Ұсынылған капиллярлы-кеуекті кессонды салқындату жүйесі кеуекті жүйеде жылу алмасуды күшейтеді, жылуэнергетикалық қондырғыларға қатысты агрегаттардың жұмысының сенімділігін арттырады, жоғары жеделдетілген қондырғылардың, атап айтқанда, металлургиялық пештердің элементтерін салқындату үшін жарылыс қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

**Түйінді сөздер:** капиллярлы-кеуекті құрылым; жылу алмасу процесі; буланулық салқындату жүйесі.

**Кіріспе.** Кеуекті жылу алмасуды күшейтетін элементтерді қолдану техникада кезінен қолданылады. Қазіргі заманғы жылу алмасу элементтерінің конструкцияларын әзірлеу кеуекті материалдарды және олардың технологиялық мүмкіндіктерін пайдалана отырып мүмкін болады. Кеуекті материалдардың құрылымдық, жылуфизикалық, гидравликалық, химиялық, оптикалық және басқа да қасиеттерінің кең ауқымы, олардан құрылымдық элементтерді дайындаудың қарапайымдылығы, жылу алмасудың жоғары қарқындылығы – мұның бәрі әртүрлі экстремалды жағдайларда кеуекті жылу алмасу элементтерін пайдалануға мүмкіндік береді [1].

Интенсивті жылу берумен бір мезгілде кеуекті элементтерді сүзу, фазаларды бөлу, дроссельдеу және т.б. процестерін жүзеге асыру үшін пайдалануға болады.

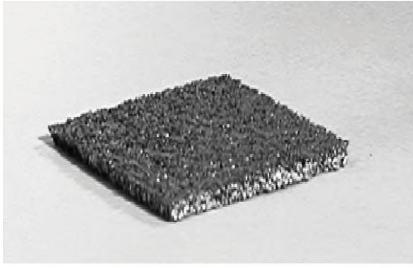
Кеуекті жылуалмастырғыш элементтер дегеніміз өткізгіш матрицалар арасында жылу алмасуды жүзеге асыратын және кеуекті жабындар қолданылатын құрылғылар, бұл

тегіс беттермен салыстырғанда жылу беру коэффициентін 5-8 есе арттыруға мүмкіндік береді [1].

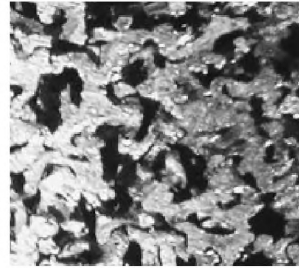
Жоғары тиімді, сенімді капиллярлы-кеуекті жүйелерді құру кезінде капиллярлы-кеуекті құрылымды таңдау үлкен маңызға ие.

Ұнтақ материалдар негізінде жасалған немесе монодисперсті металл талшықтарынан агломерацияланған капиллярлы-кеуекті жүйелер бар. 1-суретте түйіршікті кеуекті агломерацияланған материал және 2-суретте оның құрылымы көрсетілген. Олар жоғары жылу өткізгіштікке, сұйықтық өткізгіштікке ие және гравитациялық күштерге қарсы сұйықтықты айтарлықтай биіктікке айдауға қабілетті.

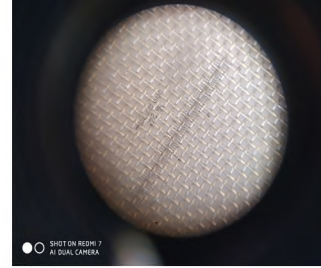
Дегенмен, оларды жасау және тазарту технологиясы күрделі. Ең кең таралғаны, қолжетімді және арзаны – металл торлы құрылымдар. Қарапайым тоқыма торлы материалдың (тот баспайтын болаттан жасалған) сыртқы түрі 3-суретте көрсетілген.



1-сурет



2-сурет



3-сурет

**1. Қондырғылардың жоғары температуралы элементтерін салқындату әдісі және оны жүзеге асыруға арналған құрылғы**

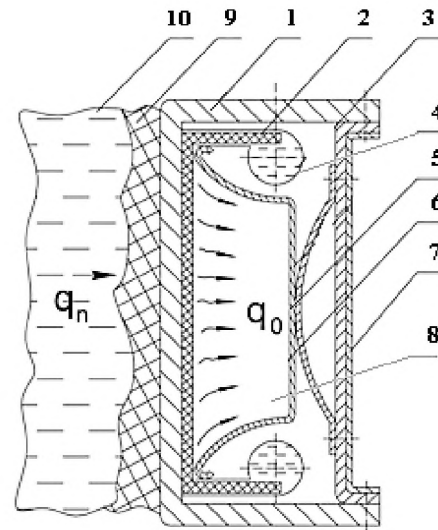
С.М. Андоньевке тиесілі [2,3]. Ол қазіргі кезде бүкіл әлемде қолданылатын металлургиялық пештерді бұмен салқындату жүйесін ойлап тапқан болатын. Буланулық салқындату жүйелері тек домна пештері мен ауа жылытқыштарында ғана емес, сонымен қатар мартен, қыздыру, электр болат балқыту пештерінде, кара және түсті металлургиядағы конвекторларда, химия өнеркәсібінің бірқатар қондырғыларында қолданыла бастады. Буланулық салқындату жүйелері салқындатуды қажет ететін металл бөлшектері бар жоғары температуралы қондырғылардың барлығында дерлік кеңінен қолданылады [4-9].

Буланулық салқындату жүйесінің жұмыс принципі металлургиядағы балқыту қондырғыларының жоғары температуралық аймағынан жылуды алып кету үшін химиялық тазартылған судың булану жылуын пайдалану болып табылады. Сонымен бірге буланулық салқындату жүйесіне көшу қазандық стандарттарына сәйкес химиялық тазартылған суды пайдалануды талап етеді, бұл салқындату жүйесінің құнын табиғи түрде арттырады, сонымен қатар техникалық қызмет көрсететін персоналдың жоғары техникалық дайындығын талап етеді.

[4] әдебиетте сипатталған құрылғы тиімді салқындату жүйесін жүзеге асырады, ол капиллярлы-кеуекті жүйе болып табылады, капиллярлық күштердің әсерінен өзін-өзі реттеу мүмкіндігі бар және сұйықтықтың өте аз мөлшерін қамтиды, бұл салқындатылатын эле-

мент қатты қызып кеткен кезде жарылыс қаупін болдырмайды, оның жұмысының, демек, бүкіл қондырғының сенімділігін арттырады.

Буланулық салқындату идеясын жүзеге асыратын құрылғы 4-суретте көрсетілген. Құрылғы 1-кессон түрінде жасалған, оның ішкі бетінде жылуды кетіретін жақтан 2-капиллярлы-кеуекті құрылымы бар элемент орнатылған, ол 3-қысқыш арқылы 4-сыртқы қоректену блоктарына қосылған, және 6-серіппелі элементі бар 5-кірістіру арқылы басылған, 7-жылу оқшаулағышы және 8-бу арнасы бар. Қондырғыны пайдалану кезінде 1-кессонның сыртқы қабырғасы 10-балқымамен орағытылатын 9-кертпелі пленкамен жанасады.



4-сурет – Балқыту пештерінің қабырғаларына арналған капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесінің үлгісі: 1 - кессон қабырғасы; 2 - капиллярлы-кеуекті құрылым; 3 - қысқыш; 4 - қоректену түйіні (артерия); 5 - кірістіру; 6 - серіппелі элемент; 7 - жылу оқшаулау; 8 - бу арнасы; 9 - гарниссаж; 10 – балқыма;  $q_n, q_o$ - балқымамен берілетін және бұмен алып кетілетін меншікті жылу жүктемелері.

Мысалы, егер  $q_n$  - берілген меншікті жылу ағыны жүйеден шығарылған  $q_0$  - жылу ағынынан жоғары болып шықса, онда бұл капиллярлы-кеуекті құрылымдағы сұйықтықтың тереңдеуіне, сұйықтық менискінің радиусының кішірейуіне және капиллярлық қысымның жоғарылауы әкеледі. Бұл жағдайда динамикалық тепе-теңдік орнағанға дейін қоректік сұйықтықтың шығыны артады. Ал, жылулық жүктеме  $q_n$  азайған кезде капиллярлардағы сұйықтықтың қалыңдығы және сәйкесінше сұйықтықтың менискінің радиусы артады. Капиллярлық күштер тепе-теңдік күйге дейін сұйықтықтың берілуін азайта отырып, кеми бастайды.

## 2. Капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасуды зерттеуге арналған эксперименттік қондырғы

### 2.1 Эксперименттік қондырғының сипаттамасы

Кеуекті құрылымдардағы сұйықтықтың булануы арқылы жылу алмасу процестері жүретін кессонды модельдейтін капиллярлы-кеуекті құрылыммен қыздырылған бетті салқындатуды жүзеге асыратын тәжірибелік қондырғының функционалдық схемасы 5-суретте көрсетілген, ал салқындатқыш сұйықтық капиллярлық және гравитациялық күштердің біріктірілген әсері арқасында беріледі. Стендтің сыртқы түрі 6-суретте көрсетілген.

Кеуекті құрылым ретінде ұяшықтарының ені  $(0,15 - 0,25) \times 10^{-3}$  м болатын қарапайым тоқымалы тот баспайтын торлар қолданылды (3-сурет). Сымның диаметрі  $0,15 \times 10^{-3}$  м. Тәжірибе торлардың әртүрлі қабаттарынан және әртүрлі кеуек өлшемдерінен тұратын капиллярлы-кеуекті құрылымдармен жүргізілді (1-кесте). Тәжірибелер кезінде торлар алдын ала тазартылады және майсыздандырылады.

Тот баспайтын торлар (11) қыздырылған тегіс бетке бекітіледі, олар атмосфералық қысымда ашық булану жүйесінде кессон ролін атқарады. Капиллярлы-кеуекті құрылым (ККК) салқындатылған қабырғаға тығыз ба-

сылады. Барометрлік қысым дәлдік класы 0,1 анероидты барометрмен (1) анықталады.

Электр қуатын реттеу ЛАТР (4) көмегімен жүзеге асырылады, токты (2) және кернеуді (3) басқару кернеуді, токты және қуатты көрсету үшін үш индикаторы бар ИМС-Ф1 сандық мультиметрмен (8) жүзеге асырылады. Қабырға электр жылытқышымен (5) жылытылды.

Қыздырғыш керамикалық окшаулағышпен қоршалған нихромды сымнан тұрады. Электр энергиясы 220 В желіден жұмыс істейтін металл бетінің төменгі жағында орналасқан қыздырғышқа (5) жеткізілді.

Қыздырғыштың қуаты  $Q = (0,01-2) \times 10^3$  Вт аралығында өзгеруі мүмкін. Капиллярлы-кеуекті құрылымның зерттелген жылу алмасу беті (белсенді ауданы)  $F = 100 \text{ см}^2$  болды.

Жылу жүктемесі (жылу ағынының тығыздығы)  $(0,1-20) \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$  диапазонында өзгерді. Қуатты өлшеудегі ең үлкен мүмкін болатын қателік  $\pm 1\%$  құрайды. Кернеуді өлшеу қателігі  $(U) = \pm 0,5\%$ , токты өлшеу қателігі  $(I) = \pm 0,5\%$  болады.

OWEN компаниясы шығарған, 47-63 Гц жиіліктегі 90 - 264 В айнымалы кернеу диапазонында жұмыс істейтін ИМС- Ф1 мультиметрінің техникалық сипаттамалары OWEN каталогында берілген [5]. Кернеуді өзгерту 40 - 400 В, токты өзгерту 0,02 - 5 А диапазонында болуы мүмкін.

Өлшеулер сулы ашық булану жүйесінде  $P=0,1 \text{ МПа}$  қысымда жүргізіледі. Дистилденген су термостаттан (17) кеуекті тор құрылымына (11) түседі және салқындатқыш су таратқыштың (9) мыс түтігіне беріледі. Салқындатқыш айналым суының шығыны көлемдік әдіспен тарировкаланған дәлдік класы 2,5 болатын РМ - 0,04 ЖУЗ ротаметрмен өлшенеді. Салқындату сұйықтығының шығыны ең аз мүмкін болатын  $m_c = m_0$  шамасынан өзгереді, бұл кезде ағызу шығыны  $m_{ca} = 0$  болады немесе ең аз мәнді қабылдайды. Артық сұйықтықты  $m_c = 1,1 \times m_0$  шартымен, «тамшылау» режимінде, буланулық салқындату жағдайына сәйкес ұстауға болады [6].

Салқындату сұйықтығының температура-

сы  $0,1^{\circ}\text{C}$  қателігі бар S5300 TC сериясының (16) биметалдық батыру термометрінің көмегімен өлшенеді. Айналымдағы судың температурасы UTU-2 термостатында алдын ала беріліп, орнатылған, содан кейін термометрмен (16) басқарылады. Ағып жатқан артық сұйықтық салқындату конденсаторының резервуарына (13) жиналады.

Қыздырғыштың, салқындатқыш ортаның температуралары температура датчиктерімен (7,10,12,16) өлшенеді, олар сигналдарды OWEN компаниясы шығарған TRM -200 жоғары дәлдіктегі цифрлық температура өлшегіштеріне (14,18) жібереді. Қабырға температурасын анықтау үшін кессон үлгісінің (6) қыздырылған бетінің артқы жағында термопара электродтары дәнекерленген. Қабырғаның температурасы температуралық датчиктер - термопаралар ТХК (L) ( $-200\dots+800^{\circ}\text{C}$ ) арқылы өлшенеді, олар сигналдарды TRM -200 жоғары дәлдіктегі цифрлық температура өлшегіштеріне (18) жібереді. Температураны өлшеу қателігі  $\pm 0,5\%$ .

## 2.2 Жұмысты орындау әдісі

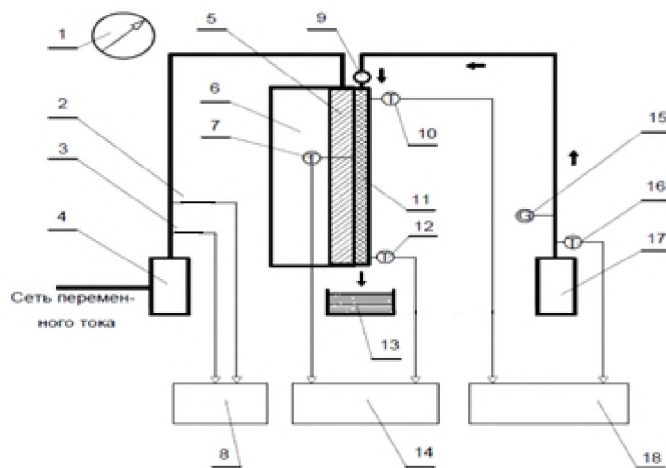
Тәжірибелік қондырғының функционалдық сұлбасында (5-сурет) кессонның (6) көмегімен қыздырылған бетті салқындату контурының негізгі элементтері көрсетілген, оның моделі алдын ала спирт ерітіндісімен майсыздандырылған капиллярлы-кеуекті құрылым (11) болып табылады. Анероидтық барометрмен барометрлік қысым өлшенеді.

Электр энергиясы қыздырғышқа (5) ЛАТР (4) көмегімен жеткізілді, ток (2) және кернеу (3) орнатылған қуатты, кернеуді, токты көрсетуге арналған 3 индикаторы бар ИМС- Ф1 (8) цифрлық мультиметрімен басқарылды.

Термостат реттегішінде (17) салқындату сұйықтығының температурасын  $20^{\circ}\text{C}$ -қа қойып, оны қосқаннан кейін су салқындату тізбегіне түседі және тәжірибе кезінде оның температурасы датчикпен (16) бақыланады.

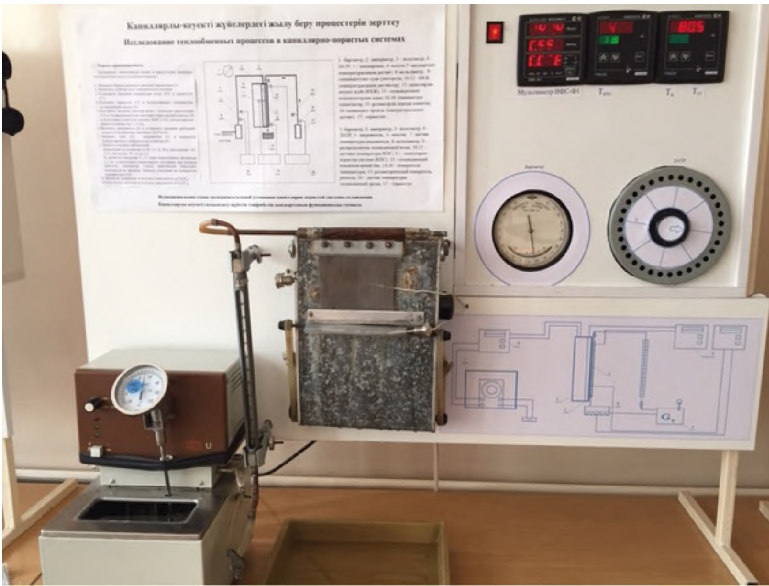
Салқындату суының шығыны ротаметрмен (15) өлшенеді. Берілген шығын мәні орнатылғаннан кейін су (9) - салқындатқыш суды таратқышқа түседі. Капиллярлы-кеуекті құрылымға біркелкі су беру үшін салқындатқыш суды таратқышта тесіктері бар. Салқындатқыш судың берілген шығыны тамшылау режимін  $m_{\text{ж}}=1,1 \times m_{\text{ц}}$  [6] қамтамасыз етуі керек.

Термиялық жүктемені орнатқаннан кейін салқындатылған қабырғаның температурасы ( $T_{\text{ст}}$ ) (14) - өлшегішпен бақыланады. Берілген жылу ағыны  $Q=U \times I$  формуласымен анықталады. Жылу ағынының тығыздығының берілген  $q$  мәні үшін  $\Delta T_w = (T_{\text{ст}} - T_{\text{н}})$  мәні анықталады, мұндағы  $T_{\text{н}}$  - берілген қысымдағы қанығу температурасы [10] кестелерінен анықталады. Өлшеу нәтижелері бойынша  $q=f(\Delta T_w)$  тәуелділігі алынады және салқындатылған қабырға металының температуралары термиялық жүктемеге, су шығынына және капиллярлы-кеуекті құрылым түріне тәуелділігі бойынша анықталады.



5-сурет – Капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесінің тәжірибелік қондырғысының функционалды сұлбасы:

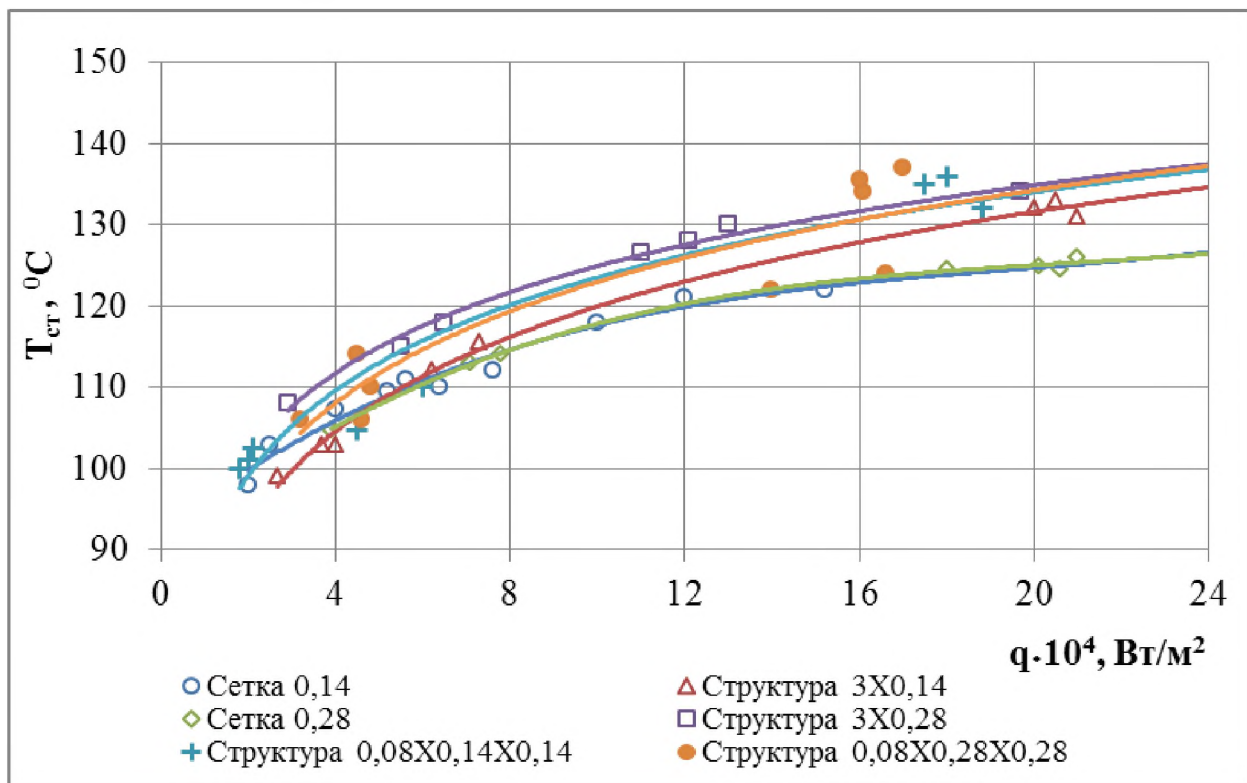
1 - барометр; 2 - амперметр индикаторы; 3 - вольтметр индикаторы; 4 - ЛАТР; 5 - қыздырғыш; 6 - кессонмен салқындатуды модельдейтін элемент; 7 - қыздырғыштың температуралық сенсоры; 8 - мультиметр; 9 - салқындатқыш суды таратқыш; 10 - ККҚ температура датчигі; 11 - капиллярлы-кеуекті құрылым (ККҚ); 12 - температура датчигі; 13 - салқындату конденсаторының резервуары; 14 - температура өлшегіші; 15 - ротаметрлік шығын өлшегіші; 16 - салқындатқыш орта температурасының датчигі; 17 - термостат; 18 - температура өлшегіші



6-сурет - Капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасу процестерін зерттеуге арналған стендтің сыртқы көрінісі

ға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігін зерттеу нәтижелері 7-суретте көрсетілген, онда кеуекті құрылымның түріне және артық сұйықтықтың салқындауына байланысты жылу жүктемесінің қабырға температурасына әсері көрсетілген. Торлар мен қабырға тот баспайтын болатан жасалған.

Эксперименттік мәліметтерді талдау  $q = (1 - 8) \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$  мәні үшін қайнау режимі өтпелі екенін көрсетті. Бұл режим үшін салқындатқыш сұйықтық шығынына тж және кеуекті құрылымның түріне



7-сурет –  $p = 0,1 \text{ МПа}$  үшін қабырға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігі

### 3. Зерттеу нәтижелері

Эксперименттік стендте  $P=0,1 \text{ МПа}$  қысымда ашық булану жүйесіндегі жылу алмасу процестерін зерттеу жүргізілді. Қабыр-

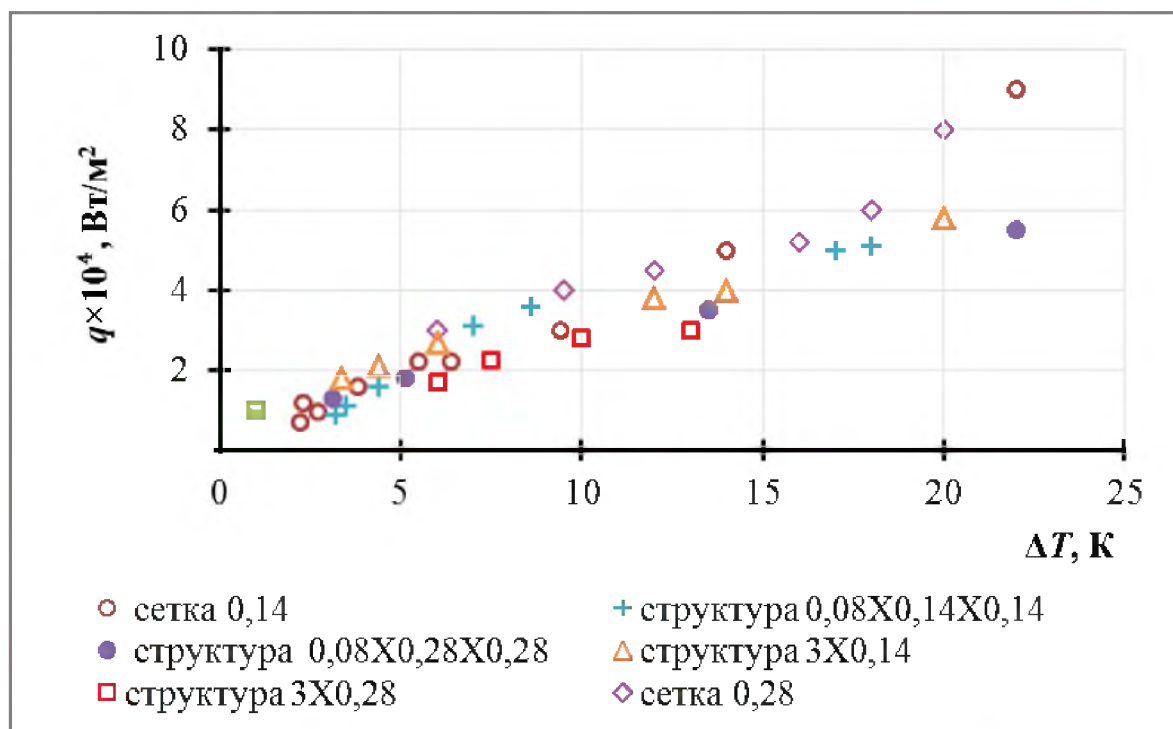
айтарлықтай әсері анықталды. Бұл, әсіресе, үлкен ұяшықтары бар торлар үшін айқын көрінеді. Сипаттамалары бойынша олар жұқа қабықшалы буландырғыштарға жақындайды.

2.1-бөлімде металлургиялық пештің кессонын салқындатуды модельдейтін капиллярлы-кеуекті құрылымдарды зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы сипатталған. Зерттеу нәтижелері 7-суретте көрсетілген. Графиктен 1x0,14 және 1x0,28 өлшемді торлар үшін қабырға температурасының өзгеруі 100-120°C шегінде болғанын, ал басқа құрылымдар үшін бұл шама 140 ° C мәнге жеткенін көруге болады. Торлардың өлшемдері және олардың белгіленуі 1-кестеде келтірілген.

8-суретте P=0,1 МПа кезіндегі бу температурасына қатысты  $\Delta T$ , K қабырғаның қызып кетуіне жылу ағынының әсері көрсетілген. Қызып кету температурасының 20°K диапазонында жылу ағыны 1x0,14 және 1x0,28 өлшемді торлар үшін  $q = 9 \times 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> болды, 3x0,14 өлшемді құрылым үшін  $q = 6 \times 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> болды, және 3x0,28 құрылым үшін ең төменгі  $q = 3 \times 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> мәнді көрсетті.

1-кесте – Торлардың өлшемдері мен белгілеулері

Тордың өлшемі (10 <sup>-3</sup> м)	Әртүрлі өлшемдегі торлардың 1,2,3 қабаттарынан тұратын кеуекті құрылымы
0.14	1x0.14
0.28	1x0.28
0.14	3x0.14
0.28	3x0.28
0.08; 0.14; 0.14	0.08x0.14x0.14 (Әр түрлі өлшемдегі тордың 3 қабаты)
0.08; 0.28; 0.28	0.08x0.28x0.28 (Әр түрлі өлшемдегі тордың 3 қабаты)



8-сурет – P=0,1 МПа кезіндегі бу температурасына қатысты қабырғаның қызып кетуіне жылу ағынының әсері

**Қорытынды.** Капиллярлы-кеуекті құрылымдарды ( $P=0,1$  МПа кезінде ашық булану жүйесі) зерттеу үшін тәжірибелік қондырғы құрылды. Қыздырылған бетті салқындату кессонды модельдейтін капиллярлы-кеуекті құрылымдарды қолдану арқылы жүзеге асырылды, онда жылу алмасу процестері кеуекті құрылымдардағы сұйықтықтың булануы арқылы жүреді, ал салқындатқыш сұйықтық капиллярлық және гравитациялық күштердің бірлескен әрекеті кезінде беріледі.

Қабырға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігін эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілді. Торлардың мөлшеріне байланысты қабырға температурасының өзгеруі байқалды.  $20^{\circ}\text{K}$

дейінгі қызып кету температура диапазонында  $P=0,1$  МПа кезіндегі бу температурасына қатысты  $\Delta T, \text{K}$  қабырғаның қызып кетуіне жылу ағынының әсері көрсетілген.

Тәжірибелік қондырғыны «Жылу энергетикасы» мамандығы бойынша студенттерді дайындау кезінде капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасу процестерін зерттеу үшін, «Кеуекті құрылымдарды қолдану арқылы жылу алмастыру жабдығының тиімділігі мен сенімділігін арттыру», «Инженерлік эксперименттің теориясы мен техникасы», «Ғылыми-зерттеулер және инженерлік эксперимент» пәндерін оқытуда, сондай-ақ ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу үшін пайдалануға болады.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Попов И.А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных элементах и аппаратах. Интенсификация теплообмена: монография / под общ. ред. Ю.Ф. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 240 с., [Popov E.A. Hidro dinamika i teploobmen v poristyh teploobmennyyh elementah i apparatah. Intensifikatsiya teploobmena: monografiya / pod.red. Yu. F. Gortyshova. – Kazan: Tsentri innovatsionnyh]tehnologiy, 2007. – 240 p].
- 2 Андоньев С. М. А.с. № 551895, МПК: С 21 В 7/10; Б.и. № 15, 1971, [Andon'ev S.M. A.s. № 551895, МПК: С 21 В 7/10; В.и. № 15, 1971.]
3. Андоньев С. М. Испарительное охлаждение металлургических печей. – М.: Металлургия. 1970. - 424 с., [Andon'ev S.M. Isparitelnoe ohlazhdenie metallurgicheskikh pechey. – М.: Metallurgiya. 1970. - 424 p.].
- 4 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О. Исследование высокофорсированного пористого теплообменника. // Вестник НАН РК. - 2016, -№4. - С. 32-36. [Genbach A.A., Jamankulova N.O. Issledovanie vysokoforsirovannogo teploobmennika. // Vestnik NAN RK. -2016. - №4. - P. 32-36. ]
- 5 Catalog OWEN [www.owen.ua/](http://www.owen.ua/)
- 6 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О. Исследование процессов парообразования в пористых структурах с избытком жидкости. // Вестник КазНУ, №3 (115), -2016. - С. 422-428. [Genbach A.A., Jamankulova N.O. Issledovanie processov v poristyh strukturah s izbytkom zhidkosti. // Vestnik KazNITU. -2016. №3 (115). - С. 422-428.]
- 7 Genbach A.A., Jamankulova N.O., Bakić V.V. Capillary-Porous Heat Exchangers for Cooling of Melting Units. Thermal Science Journal, 2018, Vol. 22, Suppl. 5, pp. 1359-1369.
- 8 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О., Бекалай Н.К. Поиск эффективных систем охлаждения для взрывобезопасных плавильных агрегатов. // Вестник КазНУ. -2017. - №1(119). – С. 230-234. [Genbach A.A., Jamankulova N.O., Bekaliy N.K. Poisk effektivnyh system ohlazhdeniya dlya bzyrvobezopasnyh plavilnyh agregatov. // Vestnik KazNITU. -2017. - №1(119). – P. 230-234. ]
- 9 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О. Применение капиллярно-пористых систем в металлургическом производстве // Вестник НАН РК. -2017. - №3 (367). -С. 65-72. [Genbach A.A., Jamankulova N.O. Primeneniye capillyarno-poristyh systems v metallurgicheskom proizvodstve. // Vestnik NAN RK. -2017. - №3 (367). -P. 65-72.]
- 10 Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 80с. [ Rivkin S.L., Aleksandrov A.A. Termodinamicheskie svoistva vody i vodyanogo para. Spravochnik. – М.: Energoatomizdat. – 2004. – 80p.]

**А.А. Генбач, Н.О Джаманкулова**

**КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТИ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ**

**Аннотация.** Исследована пористая система охлаждения, в которой подвод охлаждающей жидкости производят при комбинированном действии капиллярных и гравитационных сил. Предложена капиллярно-пористая система охлаждения, моделирующая кессон, в которой процессы теплообмена происходят путем парообразования жидкости в пористых структурах. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости температуры стенки от плотности теплового потока, влияния теплового потока на перегрев стенки  $\Delta T, K$ . Предложенная капиллярно-пористая пористая система охлаждения кессонов интенсифицирует теплообмен в пористой системе, повышает надежность работы агрегатов, применительно к тепловым энергетическим установкам, обеспечивает взрывобезопасность работы высокофорсированных установок, в частности, для охлаждения элементов металлургических печей.

**Ключевые слова:** капиллярно-пористая структура; процесс теплообмена; испарительная системы охлаждения.

---

**A.A. Genbach, N.O. Dzhamankulova**

**CAPILLARY-KEUEKTI ZHYELERDEGI ZHYLU ALMASUDY EXPERIMENTTIK ZERTTEU**

**Abstract.** A porous cooling system has been studied, in which the coolant is supplied under the combined action of capillary and gravitational forces. A capillary-porous cooling system is proposed that simulates a caisson, in which heat transfer processes occur by vaporization of liquid in porous structures. The results of experimental studies of the dependence of the wall temperature on the heat flux density, the effect of the heat flux on the wall overheating  $\Delta T, K$  are presented. The proposed capillary-porous porous cooling system for caissons intensifies heat transfer in the porous system, increases the reliability of the units, in relation to thermal power plants, ensures the explosion safety of highly forced installations, in particular, for cooling elements of metallurgical furnaces.

**Key words:** capillary-porous structure; heat exchange process; evaporative cooling system.

---

**Сведения об авторах**

**Генбач А.А.**, техника ғылымдарының докторы, профессор,  
**Джаманкулова Н.О.**, PhD докторанты. e-mail: [dnellya@mail.ru](mailto:dnellya@mail.ru)