

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДА ҚОЛДАНЫЛТЫН КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТІ ЖАБЫНДАРДЫ ЗЕРТЕУ

А.А. Гәнбач¹, Н.О Джаманкулова¹

¹Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы қ., Қазақстан

Түйіндемe. Бұл мақалада капиллярлы-кеуекті құрылымның (жабынның) бөлeк ұяшықтарында бiрлiк бy көпiршiктерiн генерациялаудың физикалық моделi өзiрлендi. Көпiршiктердiң жеке сипаттамалары энергетикалық қондырғылардың бөлшектерi мен тораптарының зақымдалуын және оларда жарықтардың пайда болуы мен дамуын түсiндiру үшiн маңызды. Металдық қыздыру беттi жабатын кеуектi құрылымның ұяшығында өсетiн бy көпiршiгi астындағы сына тәрiздi микроқабаттың булануы туралы мәселенiң шешiмi қолданылады. «Құрғақ» дақтың радиусын анықтау кезiнде сұйықтықтың және қыздыру бетiнiң жылдамдықтық және жылулық қасиеттерiн, сонымен қатар, аса қызбаудың әсерiн ескере отырып, кеуектi жабынның ұяшығындағы көпiршiктiң өсу заңының эксперименталды түрде алынған аппроксимациясы пайдаланылды. Энергетикалық қондырғылар мен балқыту қондырғыларын салқындату үшiн кеуектi құрылымдардағы бy фазасының даму моделi жасалды, ол бy көпiршiктерiнiң пайда болу, даму және жойылу механизмiн түсiндiредi. Балқыту қондырғыларының салқындату жүйесiнiң сенiмдiлiгi капиллярлық және массалық күштердiң бiрлескен әрекетiмен анықталады.

Түйiн сөздер: капиллярлы-кеуектi жабын; бy көпiршiгi; жылу ағыны; салқындату жүйесi.

1. Кiрiспе

Капиллярлы-кеуектi материалдарда оның динамикалық өсуiн сипаттайтын жекеленген бy көпiршiгiнiң сипаттамаларын зерттеу өзектi мәселе болып табылады. Олар кеуектi беттiк жабыны жоқ үлкен көлемде қайнаудың интегралдық сипаттамалары мен параметрлерiнен айтарлықтай ерекшеленуi мүмкiн [1, 2]. Бiрақ олар кеуектi құрылымның ұяшықтарында сұйықтықтың қайнау процесiнде әсер ету режимi мен орналасу факторларын сапалы түрде айқындауға мүмкiндiк бередi [3-6].

Мәселе белгiлi бiр τ уақыт мезетiнде келесi тәуелдi айнымалыларды анықтауға бағытталады:

- кеуектiк бетiнде өсетiн бy көпiршiктерi астындағы пленканың таралуының δ қалыңдығын анықтау, $r = R_{\text{сш}}$ кезiнде сұйық қабықша пайда болуын ескере отырып, кеуектiк бетiнде $0 < r < R_{\text{сш}}$ үшiн бy көпiршiктерi астындағы қабықшаның таралуының қалыңдығы тұрақ-

ты δ_0 болып белгiленедi, ал оның булануы капиллярлық және массалық $\Delta P_{\text{g+cap}}$ күштердiң әсерiнен суық сұйықпен салыстырмалы түрде жаңа пайда болған көпiршiк бөлiктерiмен толықтыру арқылы өтеледi;

- қалыңдығы δ пленкадағы сұйықтықтың θ температурасының таралуын анықтау;

- бy түзетiн беттегi температуралық ұйытқу фронты күшейетiн кездегi салқындату тереңдiгi h -ты анықтау;

- жеке бy көпiршiктерi алып кетуi арқылы шығындалатын жергiлiктi жылу ағынын анықтау.

Бұл шамалардың барлығын сұйықтың қатты қызып кетуi P -нiң әртүрлi мөндерi үшiн анықтауға болады [4].

[1,2] жұмыстарда орындалғандай функцияларды өлшемсiз түрде жазайық:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\delta_0}; \quad \Theta = \frac{(T_0 - T_{x=0})}{(T_0 - T_s)}; \quad \bar{h} = \frac{h\lambda'}{\delta_0\lambda}; \quad \bar{q} = \frac{q\delta_0}{\lambda'(T_0 - T_s)} = \frac{q}{q_0}; \quad (1)$$

q_0 – бу көпіршігі қабылдаған меншікті жылу ағыны;

$q = 2q(0, \tau) = 2[T_0 - T(0, \tau)] \frac{\lambda}{h}$ – «сұйық пленка – қабырға» шекарасындағы қабырға жағынан алынатын меншікті жылу ағыны.

Өлшемсіз уақыт аргумент болып табылады $t = \frac{a\tau(\lambda)^2}{(\delta_0\lambda)^2}$.

Бекітілген мән сұйықтықтың қызып кетуі болып табылады $P = \frac{4c\rho(T_0 - T_s)\lambda}{3r'\rho'\lambda'}$ (жылулық параметр).

Қабылданған белгіленулер: x – кезекті құрылыммен жабылған бу түзетін беттің координатасы; $R_{\text{сн}}$ – x координатасы бойынша «күрғақ дақ» радиусы; $T_0 = T(x, 0) - \tau = 0$ кезіндегі сұйық температурасы (сұйықтың қабырға тұсындағы бастапқы температурасы); T_s – қанығу температурасы;

λ, λ' – қабырғаның және сұйықтың жылу өткізгіштігі; a – жылу өткізгіштік коэффициенті;

c, ρ, ρ' – қабырғаның жылу сыйымдылығы, қабырғаның және сұйықтың тығыздықтары;

r' – булану жылуы.

Өлшемсіз $\xi = \frac{\xi}{r_p}$ уақытты P параметрінің берілген мәнінде пленканың толық булануы үшін қажетті t_p – уақыт ретінде де анықтауға болады, яғни $t_p = f(P)$. Бұл тәуелділік мына шарттар үшін есептеледі: $\bar{y} = 1(\bar{\delta} = 0)$, мұнда $\bar{y} = 1 - \bar{\delta}$.

«Қабырға-сұйықтық» шекарасындағы сұйық жағынан q мәні:

$$q = \frac{\lambda'}{\delta} [T(0, \tau) - T_s] \quad (2)$$

[6,7] жұмыстарда қайнау бетінің (қызбай тұрған кезінде) твэл қаптамаларының фокалды коррозиясының қарқындылығына әсер етуінің өзектілігі атап өтілген, бұл көпіршіктер әлі қызбай тұрған сұйықтықта жарылған кезде пайда болуы мүмкін.

Зерттеліп жатқан капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесінде қанығу температура-

сына дейін қыздырылмаған сұйықтықтың құрылымның ішінде және бетінде қайнауы орын алады, өйткені массалық күштер сұйықтықтың артық мөлшерін тудырады, алайда [6,7] жұмыстарда қайнау кезекті жабындары жоқ беттерде жүреді.

Қазіргі уақытта бу көпіршігі негізіндегі сұйық микроқабатты зерттеу әлемнің көптеген ғылыми орталықтарында жүргізілуде [8,9]. Дегенмен, бұру жүйелерінің жаңа класының, әсіресе, жылуды нашар өткізетін морт сынғыш жабындардан жасалған түрлерінің ұяшықтарындағы жекеленген көпіршіктерді одан әрі зерттеу қажет [10].

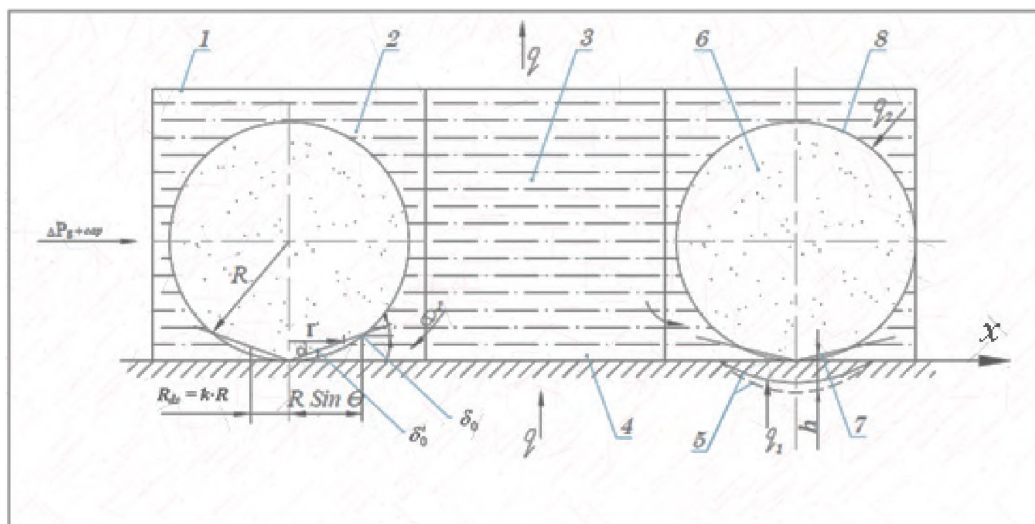
Бұл көпіршікті белсендіру орталықтарындағы «шаршау» сызаттарының дамуын талдауға, жылу алмасу бетінің шекті күйіне термосерпімділік теориясын қолдануға, көпіршіктердің түзілуі мен дамуының микро- және макрокинетикасы арасындағы жылу алмасу процестері мен кезекті жабындардың термиялық бұзылуына аналогия жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, [6–9] жұмыстарда атап өткендей, көптеген авторлар қайнау процесін абсолютті тегіс жылу алмасу беттерінде (наноөлшемді беттерде) модельдейді, бұл нақты жылу энергетикалық қондырғылардан алыс [4].

2. Жылу алмасу процесінің моделі

Қалыңдығы $\delta_{\text{пл}}$ шексіз пластина ретінде алынған бу түзетін беттің жинақталған көлемінен жылу беру арқылы капиллярлы-кеуекті құрылымды ұяшықтарда өсетін бу көпіршігі астындағы сұйық қабықтың микроқабатты булануы кезінде стационарлы емес жылу алмасуды қарастырайық (1-сурет).

Әртүрлі жағдайлар үшін жартылай шектеулі ($\delta \rightarrow \infty$) деп алынған қатты дененің бетінен сұйық қабықшаның булану мәселесі [1,2] жұмыстарда берілген.

Қалыңдығы δ_0 қабықша капиллярлы-кеуекті құрылымды ұяшықта орналасқан деп есептей отырып, қатты



1-сурет – Кеуекті құрылымның бу өндіру ұяшықтарындағы бу көпіршіктерінің бу түзетін бетпен жанасу моделі: 1 – кеуекті құрылымның қаңқасы; 2 – бу өндіру ұяшығы; 3 – сұйықтық беретін ұяшық; 4 – бу шығаратын бет; 5 – тот баспайтын болаттан және мыстан (пунктир сызық) жасалған жылу түзетін беттің көлемінде h температура толқынының таралу фронты (салқындату тереңдігі); 6 – бу; 7 – «құрғақ» дақ; 8 – жеңіл (бу) фазасының таралу фронты [4].

дененің бетінен сұйық қабықтың булануы есебінің шешімін қолданайық.

Қабық қалыңдығы δ бойынша температуралардың таралуы сызықтық деп қабылданылады:

$$\delta = \delta_0 - \frac{\lambda'}{r'\rho'} \int_0^{\tau} \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=0} d\tau, \quad (2)$$

$$x = -\delta_0 \text{ үшін } T = T_s;$$

$$x = 0 \text{ үшін } T = T_0.$$

Кеуекті құрылыммен жабылған астыңғы пластинадағы температура өрісі бір өлшемді жылу өткізгіштік теңдеуімен сипатталады:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Бастапқы шарттар:

$$0 \leq x \leq \delta_{пл}, \tau = 0, T(x, 0) = T_0. \quad (4)$$

Шекаралық шарттар:

$$x = 0, \tau \geq 0, \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=0} = \lambda' \frac{T(0, \tau) - T_s}{\delta}, \quad (5)$$

$$x = \delta_{пл}, \tau \geq 0, \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=\delta_{пл}} = 0.$$

Стационарлық емес жылуөткізгіштіктің тұжырымдалған сызықты емес есебін шешу

үшін $\tau < \tau_k$ кезінде $0 < x < h$ аймағы бойынша және $\tau > \tau_k$ кезінде $0 < x < \delta_{пл}$ аймағындағы жылу өткізгіштік теңдеуін орташалауға мүмкіндік беретін интегралдық әдіс қолданылады.

τ_k деп сұйық қабықтың толық булану уақыты алынады, бұл кезде қатты денеде таралатын температуралық бұзылу фронты пластинаның $\delta_{пл}$ қалыңдығына жетпейді және салқындату тереңдігі бойынша $0 < x < \delta_{пл}$ аймағын сипаттайды.

$$h (h < \delta_{пл}), \text{ когда } T = T_0, \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=h} = 0.$$

$\tau > \tau_k$ кезінде бу генерациялау камерасында жеке көпіршікпен жылуды алу нәтижесінде пайда болған қыздыру бетіндегі температуралық ауытқулардың фронты $h = \delta_{пл}$ пластина шекарасына жетеді. Осылайша, $\tau < \tau_k$ болған жағдайда пластинаны жартылай шектелген дене ретінде қарастыруға болады, ал пластинаның қалыңдығы $\delta_{пл}$ есептелген тәуелділіктерге кірмейді [2].

$\tau < \tau_k$ жағдайы үшін есеп жартылай шектелген дене үшін дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтіріледі ($\delta_{пл} \rightarrow \infty$), ол өлшемсіз түрде жазылады [1]

$$\frac{1}{3} \frac{d}{dx} (\bar{h} \theta) = \frac{2\theta}{\bar{h}}; \quad \frac{2\theta}{\bar{h}} = \frac{1-\theta}{\bar{\delta}} = \tilde{q}, \quad (6)$$

мұнда

$$\tilde{q} = \frac{2q(0,\tau)}{q_0}; \quad q(0,\tau) = \frac{[T_0 - T(0,\tau)]\lambda}{\bar{h}}; \quad q_0 = \frac{[T_0 - T_s]\lambda'}{\delta_0}; \quad \bar{\delta} = 1 - \frac{p\theta\bar{h}}{4}.$$

θ и \bar{h} шамаларының $\bar{\delta}$ - ға тәуелділігі мынадай түрде болады:

$$\theta = -\frac{1-\bar{\delta}}{p\bar{\delta} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2p\bar{\delta}}{1-\bar{\delta}}} \right]}; \quad \bar{h} = \frac{2(1-\bar{\delta})}{p\sqrt{1 + \frac{2p\bar{\delta}}{1-\bar{\delta}}}}. \quad (7)$$

Сонда дифференциалдық теңдеу мынадай түрде жазылады:

$$\left[2p + (1-2p)\bar{y} + \sqrt{2p\bar{y}} \sqrt{1 + \frac{1-2p}{2p}\bar{y}} \right] d\bar{y} = \frac{3}{4} p^2 dt. \quad (8)$$

3. Кеуекті жабындардағы бу фазасының даму моделі және механизмі

Бу фазасының даму моделі, процесстердің механизмін сипаттау және есептелген тәуелділіктерді шығару, фото-кинематографиялық және голографиялық бақылаулардан көрінетіндей [1–4], өздігінен пайда болғаннан кейінгі бу фазасының динамикасы ($R_{кр}$ критикалық өлшемді жарылғыш көпіршіктің тууы) бу көпіршігі астында орналасқан буланатын сұйық микроқабаттың қатысуымен жүреді және белгілі бір жағдайларда бу көпіршігі ортасында сұйық қабықтың ығысуы басталады, содан кейін «күрғақ» дақ пайда болады.

Бу көпіршіктерінің ажырауы немесе бұзылуы тегіс бетінде үлкен көлемде қайнаған кездегіге карағанда бірнеше есе кіші диаметрлерде жүзеге асады. $\bar{D}_0 = 2R_0$ мәні [5] жұмыстардың формуласы бойынша есептеледі.

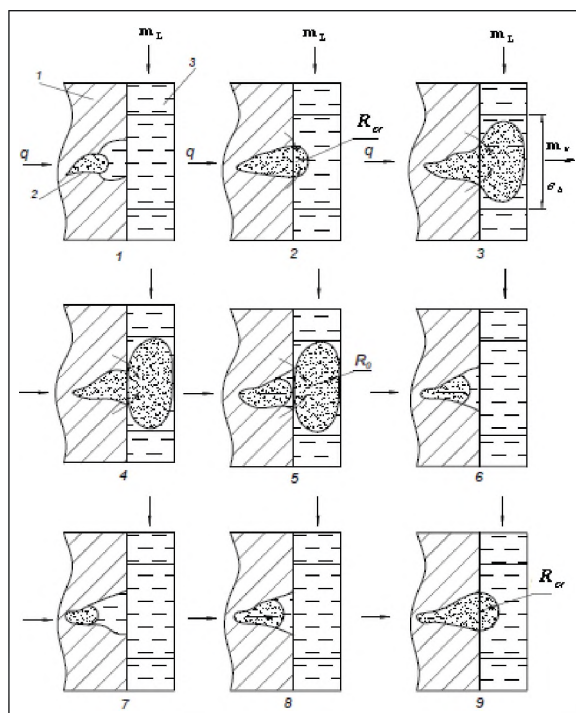
Көпіршік бөлгеннен (жойғаннан) кейін гравитациялық және капиллярлық күштердің әсерінен сұйықтықтың салыстырмалы түрде суық бөліктері белсенді түрде сорылады. Генерация орталығының біраз уақыт «тыныштығынан» соң кризистік өлшемдегі жаңа бу көпіршігі өздігінен пайда болады және салқындатқыш сұйықтың G_c шығынымен (ағынның

жылдамдығы және оның жеткілікті қызбау дәрежесімен) басқарылатын өсу уақыты карқынды жылу беру кезінде азаяды. Жылу кеуекті құрылымның көлемі жағынан бу көпіршігін қоршап тұрған жұқа қатты қызған сұйық қабатынан және торлардың жылу өткізгіш қаңқасынан беріледі.

«Тыныштық» уақытының көпіршіктердің өсу кезеңіне сәйкес келмеуі сонымен қатар тұрақты орын алатын өте қызған пульсі соғып тұратын сұйық микроқабаттың болатынын көрсетеді. Бұл микроқабаттың тұрақтылығы мен беріктілігі гравитациялық және капиллярлық потенциалдардың бірлескен әрекеті нәтижесінде кеңейе түседі.

Сұйықтық үлкен көлемде тегіс бетте қайнағанда көпіршікті өсу кезеңі $\sim (10-100) \times 10^{-3}$ с болды, ал кеуекті жүйеде бұл көрсеткіш он есе аз. Көпіршіктің туындау және бөліну кезеңдері екі жүйеде де елеусіз аз және жарылыс сипатына ие. Үлкен көлемде қайнау кезінде көпіршік түзілудің периодты цикліндегі «тыныш» уақыты ~ 0.1 с болуы мүмкін және оны көпіршіктің өсу уақытымен салыстыруға болады. Кеуекті құрылымды ұяшықта кризистік өлшемдегі $R_{кр}$ ядроның пайда болуы сұйықтық ішіндегі қуыстағы көпіршіктің тез кенеюі нәтижесінде пайда болады (2-сурет).

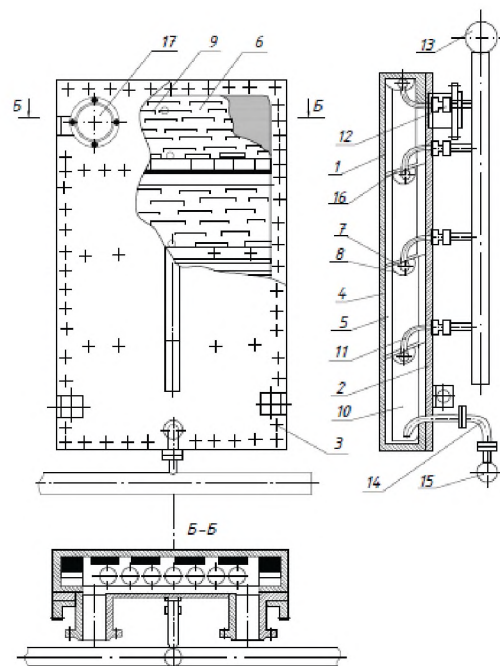
Бірақ көпіршік көпіршік бетінің қисаюының ұлғаюы оның қуыста кенею процесін баяулатады және бастапқы сәтте қатты қызған сұйықтықта пайда болатын динамикалық күштер үлкен болады, бұл көпіршіктердің одан әрі өсуіне кедергі жасайды. Жылу негізінен бу көпіршігі астындағы сұйық микроқабат арқылы тасымалданады. Сұйық микроқабат көпіршік ортасында «күрғақ» дағы бар конустық пішінді болады. Негізгі булану процесі «күрғақ» дақтың табанында жүреді. Жылудың бір бөлігі қабырғаның қарама-қарсы жағындағы қатты қызған сұйықтықтан көпіршікке беріледі.



2-сурет – Кеукті құрылыммен жабылған бу түзетін қабырғаның белсенді кеуегінде бу көпіршігінің туындау, даму және ажырау процесінің көрінісі: 1 - қабырға; 2 - қуыс; 3 – кеукті құрылым; q – жылулық жүктеме; $m_ж$ – сұйықтықтың шығыны; $m_п$ – бу шығыны; $вг$ – құрылымның гидравликалық өлшемі.

Гравитациялық және капиллярлық күштермен тасымалданатын жаңа сұйықтық бөліктерінің келуіне байланысты, сондай-ақ көпіршікке көтеру күштерінің әсерінен көпіршіктің өсуі кезінде микроқабаттың қалыңдығы және «құрғақ» дақ радиусы өте аз өзгереді. Инерция күштері көпіршікті дамытудың бастапқы кезінде көрінеді және бөліну алдында азаяды, ал көпіршік сфераға жақын пішінге ие болады, «құрғақ» нүктенің ауданы азаяды және микроқабаттың пішіні айтарлықтай өзгереді. Көпіршіктің бөлінуі беттік керілу күштерімен және гидрогаз-динамикалық кедергімен анықталады, ал сұйықтықтың артық болуы әсер еткендіктен, ол арқылы қызып кету қарқыны төмен және ағып жатқан сұйықтықтың ағыны пайда болады.

Бу көпіршігі бөліну диаметріне жетпеген жағдайда және оның жоғарғы шекарасы кеукті құрылымның сыртқы бетіне тиіп кетсе, көпіршік жойылады.



3-сурет - Кессонды қатайтатын тақталары бар кеукті жүйемен суытуға арналған құрылымдық шешім: 1 - корпус; 2 - қақпақ; 3 - болт; 4 - қабырға; 5 – капиллярлы-кеукті құрылым; 6 - тақта; 7 - артерия; 8 - науа; 9 - тесік; 10 - арна; 11, 17 - салалық құбырлар; 12 - құбыр; 13, 15 - коллектор; 14 - сифон; 16 - қатайтатын тақталар.

Жұқа кеукті қабықшадағы көпіршіктің бұзылу механизмі [1,5,11] жұмыстарда көрсетілген. Көпіршік шекарасы сұйықтықтың беткі деңгейіне тиген кезде жанасу нүктесінде саңылау пайда болады, ол арқылы бу көпіршіктен бу көлеміне өтеді. Сол нүктеге жақын жерде беттік керілу әсерінен бос бетті азайтып, нүктеге дейін жиырыла бастайтын белгілі бір қисықтықтық пайда болады, ал бу қуысындағы тесік бу көлеміне дейін кеңейе береді.

Сұйықтықтың бетіне толқын тарала бастайды. Сипатталған процесс ($10^{-7} - 10^{-6}$ с ішінде жүреді, яғни бу ядросының «туылуы») жағдайындағыдай жарылғыш сипатта болады. Бұл құбылыс эллиптикалық жүйелердегі жарылыс процестеріне ұқсастық жасау үшін пайдаланылды.

Сұйықтықтың салыстырмалы түрде суық бөлігі көпіршіктен босатылған қуысқа

асығады, ал қуыстағы будың бір бөлігі олардың жанасу шекарасында бу мен сұйықтық температурасы теңестірілгенге дейін конденсацияланады (2-сурет).

Артық сұйықтық параметрі $\tilde{m} = \frac{m_g}{m_a}$ үлкен болған жағдайда, барлық бу қуыста конденсациялануы мүмкін және оның көпіршік түзу әрекеті тоқтайды. Қабырғаға жиналған жылу ағыны кризистік өлшемдегі бу ядросының туындауының жаңа цикліне әкеледі. Көпіршікті дамытудың бір циклі кезінде микропленканың булану сатысындағы оның астындағы қабырғаның температурасы және суық сұйықтықты қыздыру сатысы айтарлықтай өзгереді, бұл жылу берудің жоғары қарқындылығын түсіндіреді.

Кеуекті құрылымдардағы бу фазасының даму моделі жылу энергетикалық қондырғылардың әртүрлі бөліктері мен тораптары үшін жылу берудің есептелген тәуелділіктерін алуға мүмкіндік береді [8–11].

4. Энергетикалық қондырғыларда капиллярлы-кеуекті жабындарды қолдану

Металлургиялық қондырғыларда бөлшектер мен тораптар жоғары жылу жүктелген күйде жұмыс істейді және қарқынды салқындатуды қажет етеді.

Құрамында сұйық металдар мен балқымалар бар қондырғылардың жарылыстан қорғалған жұмысын қамтамасыз ету үшін балқымаға түскеннен кейін жарылысқа әкелмейтін өте аз мөлшердегі сұйықтығы бар кеуекті салқындату жүйесін пайдалану ұсынылады [3–12]. Мұндай қондырғылар өнеркәсіптік пештерде қолданылады. Өз кезегінде, мұндай жүйе өте жоғары мәжбүрлі болғандықтан, күшті жылу ағындарын жоюға қабілетті. Ол асқан қиындықсыз және қосымша энергия шығындарынсыз қондырғының сенімділігі мен қозғалғыштығын арттырады.

3-суретте салқындатқыш элементтердің конструкциясының нұсқасы көрсетілген. Құрылғы 1-корпуста және 2-алынбалы қақпақ-

тан тұрады, периметрі бойынша 3- болттарымен герметикалық бекітілген. 4-қабырғаның ішкі беті перфорацияланған 6-тақталармен престелген 5-кеуекті құрылыммен жабылған. 7-артериялар 5-кеуекті құрылымның жоғарғы ұштарымен қосылған. Оның қаптал жағы арқылы массалық және капиллярлық күштермен салқындатылған бетке сұйық беріледі. 5-кеуекті құрылымдардың төменгі ұштары әдетте бос және 8-науаға батырылады, онда сұйық тамшы ағып кетуі немесе артық сұйықтық жиналуынан болады.

6-тақталар қысқыш жолақтармен немесе нүктелік дәнекерлеу арқылы бекітіледі. 9-тесіктері бар ойықтар пластинаның бетіне штампталады, олар 5-кеуекті құрылымнан 10- арнаға будың шығуын қамтамасыз етеді, сонымен қатар 5-кеуекті құрылымнан бөлініп шығатын тамшылар мен 6-тақтаның сыртқы бетінен төмен қарай ағып жатқан артық сұйықтық үшін ұстаушы қақпақ қызметін атқарады. Осылай құрылымға қайтарылуына байланысты салқындатқышты неғұрлым ұтымды пайдалану қамтамасыз етіледі. Бұл жылу беріледі күшейтіп, сұйықтықтың гидродинамикасын жақсартады. 7-артерия 11-салалық құбырға және одан әрі 12-тарату құбырлары және 13-коллектор арқылы қосылады.

Салқындатқыштың артық мөлшері кессонның төменгі бөлігінде жиналады және 14-сифон арқылы 15-коллекторға, содан кейін салқындату жүйесіне қайтару үшін жинақтау құрылғысына шығарылады.

Конструкцияны жеңілдету және жеткілікті қаттылықты сақтау үшін кессондар Z-тәрізді перфорацияланған пластиналар немесе қатайтқыштар түрінде жасалған 16-аралықтармен қамтамасыз етіледі. 16-қабырғалар 1-корпустың және 2-кессонның қақпағының сыртында немесе ішінде орналасуы мүмкін.

2-қақпақта, оның жоғарғы бөлігінде бу құбырымен қосылу үшін фланецтері бар 17-салалық құбырлар дәнекерленген. 5-кеуекті құрылымның өлшемі мен пішіні кессонның өлшемімен және оның конструкциясымен

анықталады. Оны тік немесе көлденең бағытта созуға болады, оның жоғарғы немесе төменгі ұштары (немесе екеуі де) 7-артериямен қосылған. 6-тақталар пішіні мен өлшемі бойынша кәсіптік құрылымға сәйкес жасалған. 6-тақтадағы штампталған перфорацияланған ойықтар кесілген конус немесе саңылаулары жоғары қараған бойлық ойықтар түрінде болуы мүмкін.

Сипатталған салқындату жүйесі булану арқылы салқындату артықшылықтарын сақтай отырып, бірқатар жаңа оң факторларға ие, олар мыналарды қамтиды: жүйедегі және әсіресе кессондардағы салқындатқыштың көлемін одан әрі бірнеше (ондаған) есе азайту, бұл қондырғылардың жарылу қауіпсіздігін, сыртқы және ішкі айналым контурларындағы сұйықтық мөлшерінің күрт төмендеуіне байланысты күрделі салымдар мен пайдалану шығындарының одан әрі төмендеуін қамтамасыз етеді; қабырғадағы күрт өзгермелі циклдік деструктивті кернеулерді азайтуға мүмкіндік беретін жұқа кәсіптік қабаттағы жылу беру процесін өзін-өзі реттеуі; сұйықтықтың айтарлықтай аз мөлшерін айдауға байланысты кейбір экономикалық және экологиялық эффектілердің болуы; жылу беруді мәжбүрлеу мен күшейтудің жоғарылауы.

5. Қорытынды

Капиллярлы-кәсіптік жабындардағы бу көпіршіктерінің өсу динамикасының физика-математикалық үлгілері жасалды. Көпір-

шіктердің жеке сипаттамалары интегралдық сипаттамалардан айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін, бұл «шаршау» сызаттарының басталуы мен дамуын және энергетикалық қондырғылардың бөліктері мен тораптарының бұзылуын түсіндіру үшін маңызды. Бу көпіршігі астындағы «құрғақ» дақтар аймағында сұйық қабықтың булануы мәселесін шешу арқылы пленка қалыңдығын және қыздырылған қабырғадағы температура өрісін анықтауға болады. Құрылымның ұяшықтарында көпіршіктердің өсу заңдылығы артық сұйықтықты және қабырғалардың жылу сыйымдылығын ескере отырып, эксперименталды түрде анықталды. Артық сұйықтық көпіршіктердің бөлінуге жеткілікті диаметрінің өлшемін азайтады. Энергетикалық қондырғылар мен балқыту қондырғыларының жоғары температуралы элементтерін салқындату үшін кәсіптік жабындағы бу фазасының даму моделі бу көпіршігінің пайда болу механизмін, оның жойылуына дейін өсуін түсіндіруге мүмкіндік береді. Жоғары температурада жұмыс істейтін энергетикалық қондырғылар мен металлургиялық қондырғыларды салқындату үшін капиллярлы-кәсіптік жабындардың қолданылуы көрсетілген. Кәсіптік салқындатқыш жабын қуатты меншікті жылу ағындарын жоюға қабілетті, асқан қиындықсыз және қосымша энергия шығынынсыз салқындату жүйесінің сенімділігі мен қозғалғыштығын арттырады. Салқындату жүйесінің сенімділігі капиллярлық және массалық күштердің бірлескен әрекетімен анықталады.

Әдебиеттер тізімі

1. Grigoriev V.A., Pavlov U.M., Amestitov E.V. Boiling of cryogenic liquids, Moscow, Energy, P. 288, 1977.
2. Cuper M.G., Merry D.M. The evaporation of microlayer at nucleate boiling. *V kn.: Teplo-massoperenos. Minsk, Nauka i tekhnika*, 1972, V. 9, part 1, pp. 233-257.
3. Polyayev V.M., Genbach A.A. The speed of growth of steam bubbles in porous structures, *Isvestiya vuzov. Mashinostroyeniye*, 1990, N 10, pp. 61-65.
4. Genbach A.A., Jamankulova N.O. Characteristics of the single steam bubble in cells of capillary-porous structure // The bulletin of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016, №6 (364), pp. 5-11.
5. Polyayev V.M., Genbach A.A. Management of internal characteristics of boiling in porous system, *Cryogenic equipment and conditioning: Collection of works of MGTU*, Moscow, 1991, pp. 224-237.
6. Jamialahmadi M., H. Muller-Steinbagen, et al., Experimental and theoretical studies on subcooled flow boiling of pure liquids and multicomponent mixtures, *Intern. J Hea Mass Transfer*. 51, 2008, pp. 2482-2493.
7. Ose Y., Kunugi T. Numerical study on subcooled pool boiling. *Progr. In Nucl.Sci. and Technology*, 2011, V. 2, pp. 125-129.
8. Pioro I.L., Rolsenow W., Doeffler S.S. Nucleate pool boiling heat transfer. II: assessment of prediction methods. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, V. 47, pp. 5045 – 5057.
9. Xing H., Kennig D.B.R. Identification of bubble nucleation sites. Proc. Of 8th National of Heat Transfer conf., 9-10 th Set., Oxford, 2003.
10. Polyayev V. M., et al., A limit condition of a surface at thermal influence, *Teplofizika vysokikh temperatur (TVT)*, 1991, 29 (5), pp. 923-934.
11. A.A. Genbach, N.O. Jamankulova, V.V. Bakić. Capillary-Porous Heat Exchangers for Cooling of Melting Units. *Thermal Science Journal*, 2018, Vol. 22, Suppl. 5, pp. 1359-1369.
12. Polyayev V.M., Genbach A.A. Management of internal characteristics of boiling in porous system, *Cryogenic equipment and conditioning: Collection of works of MGTU*, Moscow, 1991, pp. 224-237.
13. Genbach A.A., Jamankulova N.O. Model and mechanism of steam phase in porous structures of heat exchanges // The bulletin of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017, №6 (370), pp. 85-92.

А.А. Генбач, Н.О. Джаманкулова. ИССЛЕДОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Аннотация. В данной статье разработана физическая модель генерации одиночных пузырей пара в отдельных ячейках капиллярно-пористого покрытия. Индивидуальные характеристики пузырей важны для объяснения возникновения и развития трещин, повреждений деталей и узлов энергоустановок. Использовано решение задачи об испарении клиновидного микрослоя под паровым пузырем, растущим в ячейке пористой структуры, покрывающей металлическую поверхность нагрева. Создана модель развития паровой фазы в пористых структурах для охлаждения элементов энергоустановок, плавильных агрегатов, которая объясняет механизм зарождения, развития и гибели паровых пузырьков. Надежность системы охлаждения энергоустановок определяется совместным действием капиллярных и массовых сил.

Ключевые слова: капиллярно-пористое покрытие; паровой пузырь; тепловой поток; система охлаждения.

A.A. Genbach, N.O. Jamankulova. STUDY OF CAPILLARY-POROUS COATINGS USED IN POWER INSTALLATIONS

Abstract. This article has developed a physical model for the generation of single vapor bubbles in separate cells of a capillary-porous coating. The individual characteristics of bubbles are important for explaining the occurrence and development of cracks, damage to parts and assemblies of power plants. Solution of problem on evaporation of a clinoid microlayer under the vapor bubble growing in cell of porous structure covering metal heating surface is used. A model has been created for the development of the vapor phase in porous structures for cooling elements of power plants, melting units, which explains the mechanism of the generation, development and death of steam bubbles. The reliability of the cooling system of power plants is determined by the combined action of capillary and mass forces.

Key words: capillary-porous coating; vapor bubble; heat flux; cooling system.

Сведения об авторах

Генбач А.А., техника ғылымдарының докторы, профессор,
Джаманкулова Н.О., PhD докторанты. e-mail: dnellya@mail.ru
Алматынський университет энергетикi и связи им. Г. Даукеева,
Алматы, Казахстан