



XҒТАР: 30.19.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-282-292>

Ғылыми мақала

## Импульстік тамшылау жүктемелер кезіндегі эрозиялық зақымданулар

К.К. Сейтказенова<sup>ID</sup>, Д.С. Мырзалиев<sup>\*1 ID</sup>, О.Б. Сейдуллаева<sup>ID</sup>, А.А. Аманжол<sup>ID</sup>,  
А.Б. Усеров<sup>ID</sup>

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент

(E-mail: \*orynkul\_s@mail.ru)

**Аңдатпа.** Мақалада импульстік тамшы жүктемесіндегі материалдың әрекеті қарастырылады. Тамшының тосқауыл бетімен әрекеттесу процесі сипатталған. Қирауға қабілетті кернеулі учаскелер анықталды. Байланыс бетіне әсер ететін гидравликалық қысым көрсетілген. Сұйық бөлшектің материалмен соқтығысуы кезінде болатын процестер кезең-кезеңімен сипатталады. Бірінші кезеңде материалда және сұйықтық бөлшегінде кернеулер мен деформациялар толқындары пайда болады. Әрі қарай, сұйықтық тамшылары кедергіге енгізіледі және оларды енгізу тереңдігі сыртқы әсер ету қуатының оның қирауына сәйкес келетін материалдың деформация қуатына қатынасына байланысты.

Үшінші кезеңде материалда соққы толқындарының әлсіреуі және кратердің инерциялық кеңеюі жүреді.

Соққы жүктемесі жағдайында, ығысу кернеуі аққыштық критерийінен үлкен болған кезде, материалда пластикалық толқын пайда болады, оның жылдамдығы тұрақты емес және материалдың микро көлемдерінің деформациялық беріктендіру ерекшеліктеріне байланысты. Берілген пластикалық толқынның жылдамдығының өзгеруі әсер етудің критикалық жылдамдығын ескереді соққы  $Q_{кр}$  материалдың қирауына дейін деформациялануына жауап беретін интегралды сипаттама.

Динамикалық сипаттама ұсынылады, мысалы, деформация қуатының тығыздығының критикалық мәні немесе сыртқы әсер ету кезіндегі материалдардың энергия сыйымдылығын және олардың деформация жылдамдығына реакциясын сипаттайтын деформация энергиясының тығыздығының қауіпті (критикалық) мәні.

**Түйін сөздер:** тамшылатып жүктеу, импульстік жүктеме, эрозияға төзімділік, соққының қауіпті жылдамдығы, гидравликалық қысым, деформация қуатының тығыздығы

Түсті 17.10.2024. Жөнделді 19.10.2024. Мақұлданды 03.12.2024. Онлайн қолжетімді 31.12.2024

<sup>1\*</sup>хат-хабар үшін автор

## Кіріспе

Бу турбинысы бөліктерінің беріктігін бағалау және гидродинамикалық және діріл кавитациясындағы бөлшектердің эрозияға төзімділігін болжау үшін импульстік тамшы жүктемелеріндегі материалдардың әрекетін білу және талдау маңызды. Сыртқы әсер ету кезінде тозған материал кернеу толқындарының деформациясы мен өтуін сезінеді. Бөлшектің бетіне тамшылар мен сұйықтықтың кумулятивті ағындарының әсері бірдей заңдылықтарға ие деп санауға болады.

Импульстік жүктеме кезінде пайда болатын өте күрделі процестер кернеулердің материалдардың эрозиялық зақымдалуымен нақты байланысын орнатуға мүмкіндік бермейді. Сұйықтықтың қатты бетпен әрекеттесуін модельдеу оңай емес. Сондықтан зерттеулерде сұйықтықтың қатты бетпен әрекеттесуінің жеңілдетілген модельдері басым болады және бір өлшемді кернеу толқынын тудыратын цилиндрлік тамшының әсерін қарастырады.

Соққы толқынының өтуіндегі ортаның параметрлері массаның, қозғалыс мөлшерінің және энергияның сақталу заңдарына негізделген Рэнкин-Гюгонио қатынастарымен анықталады.

## Әдіснама

Стационарлық координаттар жүйесіндегі материал мен сұйықтық үшін бір өлшемді қысу толқындарының қозғалысы кезіндегі қысымның өзгеруі келесі өрнектермен анықталады:

$$\Delta p = \rho_m u_m \vartheta_m \approx \rho_m c_m \vartheta_m; \quad (1)$$

$$\Delta p = \rho_0 u_c \cdot (\vartheta_{y0} - \vartheta_{жс}) \approx \rho_0 c_0 \cdot (\vartheta_{y0} - \vartheta_{жс}) \quad (2)$$

мұндағы  $u_m$  және  $u_c$  – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтықтағы кернеу толқындарының жылдамдығы;

$\rho_m$  және  $\rho_0$  – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтықтың тығыздығы;

$c_m$  және  $c_0$  – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтықтағы дыбыс жылдамдығы;

$\vartheta_m$  және  $\vartheta_0$  – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтық бөлшектерінің жылдамдығы;

$\vartheta_{мен}$  – сұйықтықтың меншікті жылдамдығы.

(1) және (2) тәуелділіктерді қолдана отырып, қысымды графикалық түрде анықтауға болады  $\Delta p_m$  және қатты материал бөлшектерінің жылдамдығы  $\vartheta_m$  (тосқауылдың қозғалу жылдамдығы) сұйықтық пен тосқауыл шекарасында. Тосқауылдың қатты бетіне сыртқы қысым және оның қозғалу жылдамдығы тәуелділік графигіндегі (1) және (2) теңдеулермен сипатталған қисықтардың қиылысу  $\Delta p = f(\vartheta)$  нүктесіне сәйкес келеді.

Сұйықтық пен қатты бөлшектердің олардың шекарасындағы қысымдары мен орын ауыстыруы тең болған жағдайда және (1) және (2) теңдеулердің сызықтық жуықтауы

кезінде жанасу бетіне әсер ететін гидравликалық қысым қалыпты қатты бетке дейінгі бұрышқа және тамшының әсер ету жылдамдығының бағытына байланысты болады.

$\rho$  қысымын түзету коэффициенттеріне көбейту арқылы [1], уақыт аралығында тамшының материалдың бетімен жанасу нүктесіне әсер ететін орташа  $p_{op}$  қысымының шамасын бағалаңыз  $t_{мен}$ .

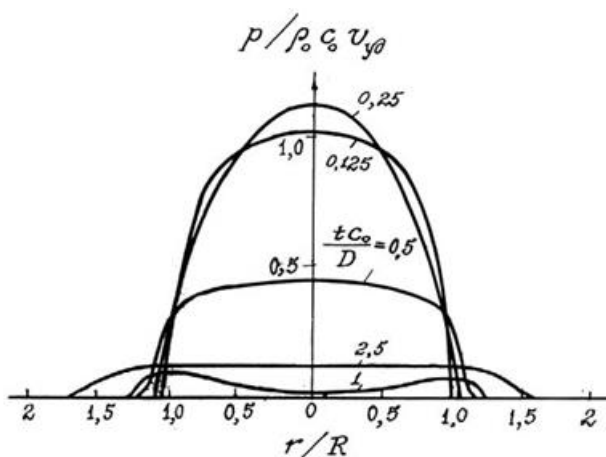
Зерттеуге сәйкес [1]  $p_{op}$  қысымы  $t_{мен}$  уақыт кезеңінде өзгермейді

$$t_{мен} \approx 1,5 R_m \vartheta_{мен} / c_0^2 \quad (3)$$

мұндағы  $R_m$  – тамшы радиусы;  $\vartheta / (c_0^2)$  – тамшының серпімді деформациясы.

### Нәтижелерді мен талқылау

$t_{мен}$  кезінде өзгеру сипаты  $h_t$  биіктіктегі цилиндр тәрізді тамшының әсер ету аймағындағы салыстырмалы қысымның таралуы, жұмыста аналитикалық түрде орнатылған бөліктің қатты бетінде [2] 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. Материалдың қатты бетіне гидросоққысы кезіндегі қысымның өзгеру кинетикасы

Есептеулерде көлемдік күштердің әсері, тұтқырлық және беттік керілу ескерілмеді, тек қысым, инерция күштері және сұйықтықтың сығылуы ескерілді. Нысана қатты деп саналды және соққы жылдамдығы 305-тен 610 м/с-қа дейін өзгерді.

Талдау көрсеткендей, 0,125 және 0,250-ге тең уақыттың бастапқы нүктелеріндегі салыстырмалы қысым диаграммалары жартылай эллипс тәрізді және жоғары кинематикалық жұптардың жанасу кезіндегі қысым диаграммаларына ұқсас. 0,5, 1,0 және 2,5 тең уақыт сәттерінде; қысым тиісінше 2,5, 10 және 12,5 есе төмендейді. Тамшының бетімен өзара әрекеттесуінің соңғы кезеңдерінде тамшының таралуына байланысты сұйықтық қысымын сезінетін жанасу аймағының шамамен үш есе артуы байқалады. Тамшының таралу жылдамдығы соққы жылдамдығынан 2-3 есе көп болуы мүмкін

екенін ескеру маңызды. Сондықтан ағып жатқан сұйықтықтың жоғары жылдамдықты ағындары айтарлықтай беттік қираударды тудыруы мүмкін [3].

1-суретке сәйкес, байланыс аймағының орталық бөлігіндегі материалдың жұқа сыртқы қабаттары және 0,8-1,0 салыстырмалы  $r/R$  радиустарында орналасқан сақина алаңының астында ең кернеулі учаскелер болып табылады. Қалыпты байланыс осі бойымен сыни тереңдікте орналасқан материалдың белгілі бір көлемі де бұзылуы мүмкін. Сонымен, зерттеуде [4] плексигласс су тамшысын дыбысқа жақын жылдамдықпен соқтығысқанда, сыни тереңдіктегі сынғыш сыну байланыс аймағының шетіндегі сақина белдеуіндегі материалдың қирауымен бір мезгілде пайда болды.

Осындай қирау сипаты полиметилметакрилат (ПМК) бетіне  $100 \div 300$  м/с жылдамдықпен галлий – индий – қалайы қорытпасының тамшыларының соққыларында байқалды [5]. Соқтығысу жылдамдығы  $160 \div 180$  м/с болғанда, ПМК мен 2Х13 болаттың бетіндегі кратерлер сақиналы ойық болды. Соқтығысу жылдамдығының 250-260 м/с дейін жоғарылауымен 2Х13 болаттың бетіндегі кратерлер жалпақ табақша пішініне ие болды, ал ПМК үлгілері мұндай жылдамдықта ойықтың орнына жарықтар пайда болған сақина аймағында сынғыш түрде жойылды.

Барлық ықтималдықтар бойынша, материалдардың бетіндегі сақина аймағындағы жарықтар жанасу нүктесінің шеттерінде ең үлкен мәнге ие радиалды созылу кернеулерінің әсерінен пайда болады. Бөлшектің материалмен соқтығысуы кезінде келесі процестер жүреді:

Бірінші кезеңде материалда және сұйықтық бөлшегінде кернеулер мен деформациялар толқындары пайда болады. Екінші кезеңде сұйықтық тамшысын тосқауылға сыртқы әсер ету қуатының беттік тығыздығының материалдың деформация тығыздығының белгілі бір қауіпті мәніне қатынасымен анықталатын тереңдікке енгізу жүреді, бұл соңғысының қирауына сәйкес келеді. Үшінші кезеңде материалда соққы толқындарының әлсіреуі және кратердің инерциялық кеңеюі жүреді.

Тәжірибелерде металдар мен металл емес материалдардың кратерлерінің бетінде  $0,008 \div 0,045$  шектерінде биіктік пен толқын қадамының арақатынасы бар перифериялық концентрлі толқындар түрінде бағытталған кедір-бұдырдың пайда болуы ПМК үшін [5] ағып жатқан сұйықтықтың әсерінен ең жұқа беткі қабат ағынының тұрақтылығын жоғалтумен байланысты. Уақыт кезінде қысымның кейбір жоғарылауы  $t_{\text{сал}}=1,0$  бар сақина алаңында  $r/R=0,8 \div 1,15$  (1-сурет) жоғары әсер ету жылдамдығында кратердің сақиналы ойық түрінде пайда болуына, сондай-ақ жарықтардың сынуына ықпал етуі мүмкін. Кратердің соңғы өлшемдері сұйықтық тамшысымен соқтығысу аймағында материалды серпімді қалпына келтіргеннен кейін соңғы кезеңде қалыптасады.

Тегіс тосқауылмен сфералық пішінді сұйықтық тамшысының соқтығысуының ерекшелігі контакт алаңын орталықтан периферияға радиалды бағытта уақыт бойынша дәйекті түрде жүктеу болып табылады [2].

ПМК бетіндегі сақиналы жарықшақтың пайда болуы трохонд тәрізді профилі бар және материалдың беті бойымен жұқа сыртқы қабатта ығысу толқындарының жылдамдығына жақын жылдамдықпен таралатын Релейдің жазық серпімді толқынынан созылу кернеулерінің әсерімен байланысты деген пікір бар [5].

Айта кету керек, тамшылатып жүктеме кезінде материалдардың беткі зақымдану дәрежесі тамшы радиусының, сұйықтықтың акустикалық кедергісінің, пайда болатын қысым мен жүктеме ұзақтығының функциясы болып табылатын пластикалық деформация жылдамдығының жоғарылауымен артады.

Сұйық тамшылардың қатты бетпен әсерлесу ерекшеліктерін талдау материалдардың эрозиялық зақымдану дәрежесін бағалау кезінде  $E_{\text{тол}}$  соққы толқындарының энергиясын ғана емес, сонымен қатар  $E_T$  тамшысының кинетикалық энергиясын материалдың бетіне енгізген кезде және  $E_a$  сұйықтығының ағып жатқан ағындарының энергиясын ескерген жөн екенін көрсетеді. Бұл жағдайда  $E_{\text{ст}}$  материалының бетіне сыртқы әсер ету энергиясын сома түрінде ұсынуға болады

$$E_{\text{ст}} = E_{\text{тол}} + E_T + E_a \quad (4)$$

Егер тамшының соққысы материалдың пластикалық деформациясын тудырса, онда идеалды икемділік жағдайлары үшін

$$a_{\text{мен}} V_k = m \mathcal{G}_{\text{ен}} C_0 + 0,5 m \cdot (\mathcal{G}_{\text{ен}}^2 + \mathcal{G}_m^2) \quad (5)$$

мұндағы  $a_{\text{мен}}$  – пластикалық деформацияның меншікті жұмысы;

$V_k$  – массасы  $m$  болатын сұйықтық тамшысымен соқтығысқан кезде материалдың бетіндегі кратер немесе шұқыршақтың көлемі;

$\mathcal{G}_{\text{вн}}$  – тосқауылға сұйықтық тамшысын енгізу жылдамдығы;

$\mathcal{G}_p$  – тамшының таралу жылдамдығы.

$$E_{\text{вн}} = E_{\text{в}} + E_k + E_c. \quad (4)$$

Диаметрі 1 мм Ga-In-Sn қорытпасының тамшылары 2X13 болат үлгілерінің бетімен тікелей соқтығысқанда, пайда болған шұқыршақтың тереңдігі 2,5-3,0 мкм-ге жетті [5]. Сондықтан, тамшының диаметрі  $D_T$  болған кезде соққы жағдайлары үшін шұқыршақтың тереңдігінен  $h_{\text{ш}}$  едәуір үлкен, қатынас  $a^2 = D_T \cdot h_{\text{ш}}$  ( $a$ -тесіктің ең үлкен радиусы).

Егер  $E_a$  энергиясы (4)  $E_k$  кинетикалық энергиясына пропорционалды деп есептесек, онда (5) өрнек жүктеме ұзақтығын ескере отырып, келесі түрді бере алады,

$$a_{\text{мен}} 2\pi R_m h_{\text{ш}}^2 \approx \rho_0 C_0 V_m \mathcal{G}_{\text{ст}} / t_{\text{мен}} + k \rho_0 V_m \mathcal{G}_{\text{ст}}^2 / t_{\text{мен}}^* = N_{\text{тол}} + k N_m \quad (6)$$

мұндағы:  $a_{\text{мен}}$  – пластикалық деформацияның меншікті қуаты;

$V_m$  – тамшы көлемі;

$t_{\text{мен}}$  – (3) формула бойынша анықталған уақыт кезеңі;

$t_{\text{мен}}^*$  – бөгет бетіне тамшыны енгізу және тарату ұзақтығы;

$N_{\text{тол}}^*$  – уақыт кезеңдеріне сәйкес келетін соққы күштері  $t_{\text{мен}}^*$  және  $t_{\text{уд}}^*$ ;

$k$  – су үшін 2-ге тең пропорционалдылық коэффициенті [6].

(6) өрнегіне сәйкес жанасудың толық ұзақтығы кезінде материалдың бетіндегі тесіктің тереңдігі,

$$h_{ш} \approx (N_{мол.} + kN_m / 2\pi R_m \alpha_{мен})^{1/2} \quad (7)$$

Алынған шамамен арақатынас эксперименталды түрде расталады. Атап айтқанда, су тамшыларымен және ПМК нысанасының Ga-In-Sn қорытпасының тамшыларымен бомбалау кезінде (7) формуламен болжанған  $h_{ш}$  және  $R_k$  арасындағы сызықтық байланыс байқалды.

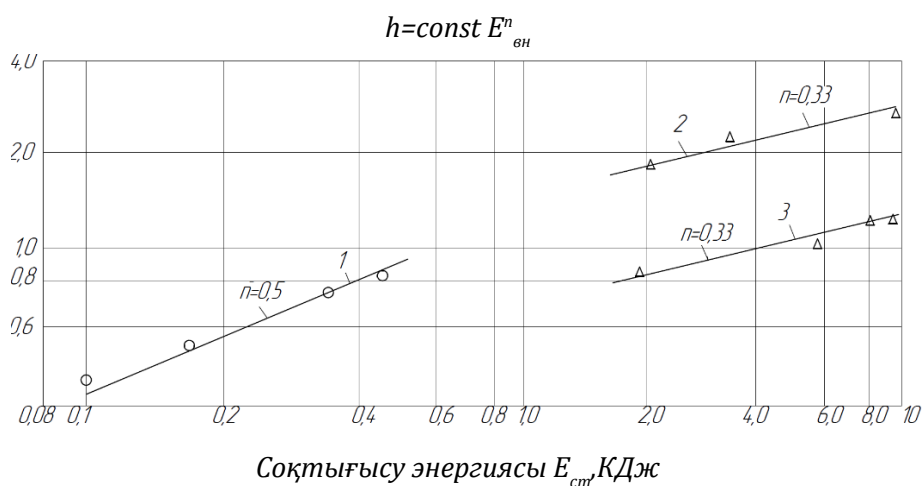
(7) өрнегінің негізінде материалдың бетіндегі шұқыршақтар үшін қарапайым формуланы жазуға болады

$$h_{ш} \approx (kE_{ст} / 2\pi R_m \alpha_{мен})^{1/2} \quad (8)$$

мұндағы:  $E_{ст}$  – кратер аймағында материалдың пластикалық деформациясына жұмсалатын энергияны қамтитын соққы энергиясы;

$k$  – материалдың серпімді деформацияларына әсер ету энергиясының шығынын ескеретін коэффициент.

(8) формула бойынша құрастырылған  $h_{ш}$ -дің  $E_{ст}$ -ге тәуелділігін алюминий нысанасына (2-суреттегі 1 және 2 қисықтар) және жұмсақ болатқа (2-суреттегі 3 қисық) металл соққышты енгізу кезінде тәжірибелік мәліметтермен салыстыру [7] есептелген және тәжірибелік нәтижелер арасында қанағаттанарлық корреляцияның бар екендігін көрсетеді. 2-қисық үшін (8) формуладағы коэффициент бірлікке жақын болды, ал 3 – қисық үшін 0,92 болды, яғни алюминий мен болаттың серпімді деформацияларына әсер ету энергиясының шығындары сәйкесінше 0 және 8% құрады.



2-сурет. Кратер тереңдігінің алюминий (1 және 2) және жұмсақ болат (3) нысандары бар диск соққыштың соқтығысу энергиясына тәуелділігі

Материал ауысу күшінен едәуір асатын кернеулердегі соққы толқыны майданының артындағы материалдың кернеу күйі жан-жақты қысылуға жақындайды, сондықтан соққы жүктемесіндегі қатты денелердің пластикалық ағынын сипаттағанда гидродинамика әдістері жиі қолданылады.

Гидродинамикалық деформация пайда болатын материал бөлшектерінің шекті жылдамдығы қатынаспен анықталады

$$\mathcal{G}_m^* = c_m \tau_{max} / G \quad (9)$$

мұндағы  $\tau_{max}$  – соққыдан кейін бірден пайда болатын ең үлкен ығысу кернеуі, оны сәйкесінше  $\sigma_r$  және  $\sigma_\theta$  – қысу және ығысу кернеулер арқылы көрсетуге болады;

$G$  – ығысу модулі;

Жұмыста бөлшектің бетімен тамшы соқтығысқан кезде кратердің тереңдігін бағалау үшін Бернулли [5] теңдеуі қолданылды.

Жүктеуге ұшыраған материал аймағының кеңеюіне және энергияның диссипациясына байланысты кернеу толқынының қарқындылығы төмендеген сайын, материалдың ығысу деформацияларына төзімділігінің соққы толқындарының таралу және әлсіреу заңдылықтарына әсері артады. Сондықтан, тамшылатып жүктеме кезінде материалдардың іс әрекетін неғұрлым сенімді сипаттау үшін серпімді-пластикалық күйге сәйкес келетін қысым саласындағы материалдардың соққы адиабатының барысына шағын пластикалық деформацияның әсері туралы ақпарат болуы керек.

Соққы жүктемесі жағдайында, ығысу кернеулері кірістілік критерийімен анықталған кернеулерден асып кетсе, соққы толқынының тұрақтылығы бұзылады және материалда пластикалық толқын пайда болады, оның жылдамдығы тұрақты емес және материалдың микро көлемдерінің деформациялық қатаю ерекшеліктеріне байланысты. Өз кезегінде, материалдың қирауына дейін бір немесе бірнеше рет деформациялануы кезінде пластикалық толқын жылдамдығының өзгеруін ескеретін интегралды сипаттама  $\mathcal{G}_k$  – бұл қауіпті соққы жылдамдығы. Сондықтан бөлшектердің эрозияға төзімділігін бағалау кезінде тозған материалдардың жаңа динамикалық сипаттамаларын қолдану қажет, мысалы, деформация қуатының критикалық тығыздығы немесе деформация энергиясының қауіпті ағынының тығыздығы, бұл тек соққы жүктемесіндегі материалдардың энергия сыйымдылығын ғана емес, сонымен қатар олардың деформация жылдамдығына сезімталдығын да ескереді [8-10].

Энергетикалық қатынас (8) материалдың бетіндегі қысымды анықтау үшін өрнек алуға мүмкіндік береді

$$p = \rho_0 c_0 (\mathcal{G}_{мен} - \mathcal{G}_m) \cdot [1 + k \cdot (\mathcal{G}_{мен} - \mathcal{G}_m / c_0)] \quad (10)$$

## Қорытынды

Импульстік тамшылатып жүктемелер кезінде тозған материал кернеу толқындарының деформациясы мен өтуін сезінеді. Тамшының бетімен әрекеттесуі кезінде тамшының

таралуына байланысты, сұйықтық қысымын сезінетін жанасу аймағының шамамен үш есе артуы байқалады, ал тамшының таралу жылдамдығы әсер ету жылдамдығынан 2-3 есе көп болуы мүмкін, бұл айтарлықтай беттік қирауларды тудырады.

Тосқауыл сұйықтық тамшысын енгізу тереңдігі сыртқы әсер ету қуатының беттік тығыздығының материалдың деформация қуатының көлемдік тығыздығының белгілі бір қауіпті мәніне қатынасы арқылы анықталады, соңғысының қирауына сәйкес келеді.

Осылайша, бөлшектердің эрозияға төзімділігін бағалау кезінде энергетикалық тәсілді қолдану және тозған материалдардың жаңа динамикалық сипаттамаларын енгізу қажет, мысалы, деформация қуатының қауіпті тығыздығы немесе деформация энергиясының қауіпті ағынының тығыздығы, әсер ету жүктемесіндегі материалдардың энергия сыйымдылығын ғана емес, сонымен қатар олардың деформация жылдамдығына сезімталдығын да ескереді.

### Авторлардың қосқан үлесі

**К.К.Сейтказенова, Д.С.Мырзалиев** – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар

**О.Б. Сейдуллаева, А.Б. Усеров, А.А. Аманжол** – мәліметтер жинау, жазу, өңдеу, талдау, визуализация, қаржыландыру

### Әдебиеттер тізімі

1. Алексеев В.К., Бодрышев В.В., Денисов Ю.Д. и др. Экспериментальное исследование прочности при импульсных каплеударных нагружениях // Проблемы прочности.–1977, №6.–С.110-113.
2. Peterson T.L. ASTM. Eros. Conf. Vail. Colorado.– 1978.–282 p.
3. Сейтказенова К.К., Арапов Б.Р., Шокобаева Г.Т., Телешева А.Б. Оценка разрушающего воздействия кавитации на конструкционные материалы // Вестник КазНУ №5 2017, ст. 140-143.
4. Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П. Повышение надежности трибосопряжений. С-ПБ.: Академия транспорта Российской Федерации, 2001. – 304с.
5. Аскарлов М.А. Кавитационное разрушение металлов и полимеров.–Тбилиси: Сабчота Сакартвелло, 1974.–140 с.
6. Coronado J. J. Effect of Abrasive Size on Wear. Abrasion Resistance of Materials 2012. 167-184 p.
7. Спринжер Дж.С. Эрозия при воздействии капель жидкости.–М.: Машиностроение, 1981.–199 с.
8. Погодаев Л.И., Сейтказенова К.К., Суендыкова К.Б. Структурно - энергетическая модель кавитационной эрозии материалов //Мат. межд. науч.-практ. конф. «Железнодорожный транспорт Казахстана: История и перспективы экономического роста».–Алматы, 2004.–С.186-188.
9. Погодаев Л. И., Кузьмин А. А., Касьянова Н. Р., Сейтказенова К. К. Трение, износ, смазка [www.tribo.ru](http://www.tribo.ru) Том 17 N63 01 июня 2015 1 Моделирование гидроэрозии материалов (часть 2\*).
10. Сейтказенова К.К.Мырзалиев Д.С., Суендыкова М.М. Асылбек М., Ергали К.Е. Анализ износостойкости материалов при кавитации в зависимости от механических и кинетических характеристик //Технология текстильной промышленности, № 5 (389) 2020, с.26-33.



**К.К.Сейтказенова, Д.С.Мырзалиев\*, О.Б.Сейдуллаева, А.А. Аманжол, А.Б. Усеров**  
*Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан*

### **Эрозионные повреждения при импульсных каплеударных нагрузениях**

**Аннотация.** В статье рассматривается поведение материала при импульсной капельной нагрузке. Описан процесс взаимодействия капли с барьерной поверхностью. Выявлены наиболее напряженные зоны, способные к разрушению. Показано гидравлическое давление, действующее на контактную поверхность. Процессы, происходящие при столкновении жидкой частицы с материалом, характеризуются поэтапно. На первом этапе в материале и частице жидкости возникают волны напряжений и деформаций. Далее капли жидкости вводятся в сопротивление и глубина их введения зависит от отношения мощности внешнего воздействия к мощности деформации материала, соответствующей его разрушению. На третьем этапе в материале происходит ослабление ударных волн и инерционное расширение кратера. В условиях ударного нагружения, когда напряжения сдвига больше критерия текучести, в материале возникает пластическая волна, скорость которой непостоянна и зависит от особенностей деформационного упрочнения микрообъемов материала. Изменение скорости данной пластической волны учитывает критическая скорость удара  $v_{кр}$  - интегральная характеристика, отвечающая за деформирование материала вплоть до разрушения.

Предложена динамическая характеристика, например, критическое значение плотности мощности деформации или критическое значение плотности энергии деформации, характеризующая энергоемкость материалов при внешнем ударном воздействии и их реакцию на скорость деформации.

**Ключевые слова:** каплеударное нагружение, импульсное нагружение, эрозионная стойкость, критическая скорость удара, гидравлическое давление, плотность мощности деформации.

**K.K.Seitkazinova, D.S. Myrzaliyev\*, O.B.Seidullayeva, A.A.Amanzhol, A.B.Usserov**  
*South Kazakhstan University named after M. Auezov, Republic of Kazakhstan, Shymkent*

### **Erosion damage under pulsed drop-impact loadings**

**Abstract.** Material behavior under impulse drop-impact loading is considered. The process of interaction of the drop with the surface of the barrier is described. The most stressed areas capable of fracture are revealed. The hydraulic pressure acting on the contact surface is shown. The processes occurring at impact of part of the liquid with a material are described step by step. At the first stage, stress and strain waves appear in the material and in part of the liquid. Further drops of liquid embed into the barrier and their depth of embedding depends on the ratio of the power of external impact to the power of deformation of the material corresponding to its destruction. During the third stage, shock wave attenuation in the material and inertial expansion of the crater occur.

Under shock loading conditions, when shear stresses are greater than the yield criterion, a plastic wave appears in the material, the speed of which is not constant and depends on the features of strain

hardening of micro-volumes of the material. The change in the velocity of this plastic wave is taken into account by the critical impact velocity  $\vartheta_{cr}$  - an integral characteristic responsible for deformation of the material up to fracture.

A dynamic characteristic, such as the critical value of strain power density or the critical value of strain energy density, characterizing the energy content of materials under external impact and their rate response to the strain is proposed.

**Keywords:** drop-impact loading, impulsive loading, erosion resistance, critical impact velocity, hydraulic pressure, strain power density

### References

1. Alekseev V.K., Bodry`shev V.V., Denisov Yu.D. i dr. E`ksperimental`noe issledovanie prochnosti pri impul`sny`x kapleudarny`x nagruzheniyax // Problemy` prochnosti.-1977, №6.-S.110-113.
2. Peterson T.L. ASTM. Eros. Conf. Vail. Colorado.- 1978.-282 p.
3. Sejtkenzenova K.K., Arapov B.R., Shokobaeva G.T., Telesheva A.B. Ocenka razrushayushhego vozdejstviya kavitacii na konstrukcionny`e materialy` // Vestnik KazNITU №5 2017, st. 140-143.
4. Pogodaev L.I., Kuz`min V.N., Dudko P.P. Povy`shenie nadezhnosti tribosopryazhenij. S-PB.: Akademiya transporta Rossijskoj Federacii, 2001. - 304s.
5. Askarov M.A. Kavitacionnoe razrushenie metallov i polimerov.-Tbilisi: Sabchota Sakartvelo, 1974.-140 s.
6. Coronado J. J. Effect of Abrasive Size on Wear. Abrasion Resistance of Materials 2012. 167-184 p.
7. Sprinzher Dzh.S. E`roziya pri vozdejstvii kapel` zhidkosti.-M.: Mashinostroenie, 1981.-199 s.
8. Pogodaev L.I., Sejtkenzenova K.K., Suendy`kova K.B. Strukturno - e`nergeticheskaya model` kavitacionnoj e`rozii materialov //Mat. mezhd. nauch.-prakt. konf. «Zheleznodorozhny`j transport Kazaxstana: Istoriya i perspektivy` e`konomicheskogo rosta».-Almaty`, 2004.-S.186-188.
9. Pogodaev L. I., Kuz`min A. A., Kas`yanova N. R., Sejtkenzenova K. K. Trenie, iznos, smazka www.tribo.ru Tom 17 N63 01 iyunya 2015 1 Modelirovanie gidroe`rozii materialov (chast` 2\*).
10. Sejtkenzenova K.K., My`rzaliev D.S., Suendy`kova M.M. Asy`lbek M., Ergali K.E. Analiz iznosostojkosti materialov pri kavitacii v zavisimosti ot mexanicheskix i kineticheskix xarakteristik //Texnologiya tekstil`noj promy`shlennosti, № 5 (389) 2020, s.26-33.

### Авторлар туралы мәлімет:

**Сейтказенова Казира Камешовна** – техника ғылымдарының докторы, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

**Мырзалиев Дархан Сапарбайұлы** – т.ғ.к., доцент, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

**Сейдуллаева Орынғұл Бахытқызы** – «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

**Аманжол Аружан Алмасқызы** – магистрант, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.ӘУЕЗОВ атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

**Усеров Алтынбек Батырбекұлы** – «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

**Сейтказенова Казира Камешовна** – доктор технических наук, факультет «Механика и нетегазовое дело» НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

**Мырзалиев Дархан Сапарбаевич** – к.т.н., доцент, факультет «Механика и нефтегазовое дело» НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

**Сейдуллаева Орынгул Бахытовна** – докторант по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

**Аманжол Аружан Алмасқызы** – магистрант, факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

**Усеров Алтынбек Батырбекович** – докторант по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

**Seitkazenova Kazira Kameshovna** – Doctor of Technical Sciences, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

**Myrzaliyev Darkhan Saparbaevich** – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

**Seidullayeva Oryngul Bakhytkyzy** – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

**Amanzhol Aruzhan Almazkyzy** – Master student, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

**Usserov Altynbek** – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).