

зону воспламенения факела приводит к адресному снижению содержания кислорода. Таким образом, возможно использование газообразного вещества, получаемого из угля и вводимого в топку с основным потоком аэросмеси, для снижения образования оксидов азота при сжигании угольной пыли.

Таким образом, переход от сжигания угля и мазута к газификации угля и сжижению полученного газа представляет собой эффективную стратегию для сокращения вредных выбросов и улучшения экологической ситуации.

Список использованных источников

1. Алияров Б.К., Алиярова М.Б., Жалмагамбетова У., Мергалимова А.К., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. «Технологии безмазутной растопки котлов и стабилизации воспламенения пылеугольного факела на тепловых электростанциях», журнал «Горение и плазмохимия», том 17, 2019 г., стр. 193-202.
2. Онгар Б., Сарсенбаев Е.А., Мергалимова А.К. Чистые угольные технологии, монография, Алматы, 2023 г. - 349 с.
3. Ходаков Ю.С. Оксиды азота и теплоэнергетика. Проблемы и решения – М.: ООО «ЭСТ-М», 2001. –432 с.
4. Пат. 2450. Способ безмазутной растопки котлоагрегатов/ Алияров Б.К., Мергалимова А.К.; опубл.30.10.2017, Бюл.№20.
5. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатом-издат, 1987.

ӘОЖ 536.8

ШАҒЫН ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БОС ЖҰМЫС ПОРШЕНІ БАР СТИРЛИНГ МАШИНАНЫ (ҚОЗҒАЛТҚЫШЫН) ЖОБАЛАУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ. 1. ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

¹Алламжарова Сымбат, ¹Тельманов Нұрлыбек, ²Ерзада Майра
allamjarovasymbat@gmail.com, nurlybek_2002.16.04@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

¹«Электроэнергетика» кафедрасы магистранттары

²PhD, «Электроэнергетика» кафедрасы доценті

Изотермиялық жуықтаудағы бос поршенді Стирлинг қозғалтқышының физикалық-математикалық моделі жасалды. Ол бұрын ұсынылғандарға қарағанда қарапайым және тек үш бөліктен тұрады: жылытқыш, салқындатқыш және регенератор.

Түйінді сөздер: электр энергиясын өндіру, бос жұмыс істейтін поршеньді стирлинг машинасы, регенератор, термодинамикалық Стирлинг циклі.

Кіріспе. Шағын тұрғын үйлерді, кәсіпорындарды, сондай-ақ ғарыш аппараттарын электр энергиясымен қамтамасыз ету үшін әртүрлі термодинамикалық циклдері [1–3] бар жылу қозғалтқыштары қарастырылуда, бұл әр түрлі жағдайда туындайтын мәселелерді сәтті шешілуі үшін [4, 5]. Олардың ішінде Стирлинг цикліне көп көңіл бөлінеді, мұндай циклді пайдаланатын Stirling қозғалтқышы құрылғылардың үлкен тобын біріктіреді (α -, β - және γ -түрлері). Олар сондай-ақ төмен потенциалды жылу көздерінен механикалық жұмыстарды және/немесе электр энергиясын өндіруге арналған перспективалы машиналар болып саналады [6–7]. Сонымен қатар, олардың жұмысын математикалық модельдеу үлкен қиындықтар алып келіп жатады және бұл Stirling машинасының жұмыс істеу принциптерін

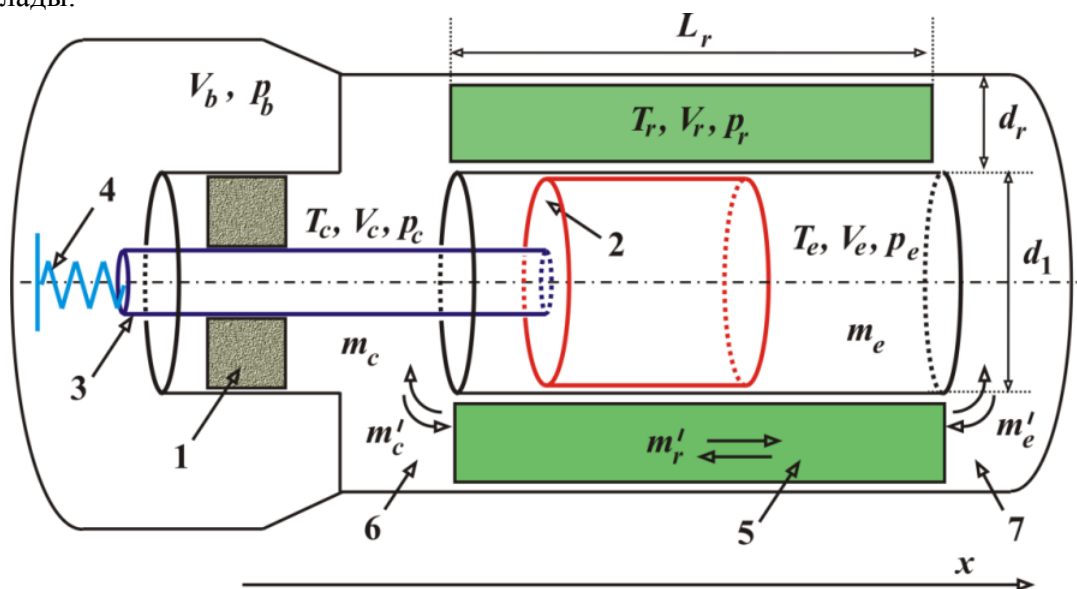
жеткіліксіз зерттелгенін көрсетеді, сонымен қатар жоғары ПӘК-пен мұндай машиналарды тез жасауға мүмкіндік бермейді.

Ұсынылған жұмыста бос жұмыс істейтін поршені бар Стирлинг машинасының жұмысы талданады; оның изотермиялық жуықтаудағы алғашқы математикалық моделі 2006 жылы ұсынылды [1] және содан бері ол көптеген теориялық және эксперименттік зерттеулерге негіз болды [8–13]. Изотермиялық жуықтау қыздырғыш пен салқындатқыштың тұрақты температурасын қабылдауды білдіреді.

Стирлинг машинасының динамикалық параметрлерінің циклдік өзгерістерін массаның, импульстің және энергияның сақталу заңдарын өрнектейтін модельдік теңдеулерді шешу нәтижесінде алу керек. Бірақ көптеген теориялық зерттеулерде, мысалы, [9, 11–13], машинаның бір немесе екі динамикалық параметрі синусоидалы функция түрінде ерікті түрде қабылданады. Әдетте, жұмыс поршені мен ығыстырғыштың (вытеснителя) координаталары осылай көрсетіледі. Зерттеудің бұл әдісінің себебі [1] модельден машина жұмыс істейтін физикалық механизмдерді түсіну қиын. Мүмкін онда негізсіз жуықтаулар мен асқынулар бар. Сондықтан бұл жұмыста бос поршені бар Стирлинг машинасының ең маңызды қасиеттерін жоғалтпай қарапайым моделін құру мақсаты қойылды.

Машина құрылымының сұлбасы. Бос жұмыс істейтін поршені бар Stirling машинасының жалпы құрылымы жұмыста [1] егжей-тегжейлі сипатталған, сондықтан бұдан әрі модельді құру үшін қажетті ұсынылған схеманың негізгі айырмашылықтары ғана көрсетілген. 1-суретте машинаның жаңа сұлбасы көрсетілген, мұнда салқындатқыш V_c көлеммен (сығымдау, 6), ал қыздырғыш V_e көлемімен (кеңейту, 7) біріктірілген.

Бұл V_c және V_e көлемдерінің мәні бойынша салқындатқыш және қыздырғыш екенін білдіреді және [1]-дегідей қысу көлемі бар жеке салқындатқыш пен кеңейту көлемі бар қыздырғышты қарастырудың қажеті жоқ. Сәйкесінше оларда тұрақты T_c және T_e температуралары сақталады. Олар машинадағы ең төменгі және максималды температураларға тең деп алынады. Көрсетілген көлемдердің әрқайсысындағы газ массалары m_c және m_e тең. Сонымен қатар, регенератор 5 машинаның тәуелсіз және маңызды құрамдас бөлігі ретінде қатысуын жалғастырады, сондықтан ол өзінің физикалық параметрлерімен сипатталады.



1–жұмыс істейтін поршень; 2–ығыстырушы; 3–ығыстырушы стержені; 4–ығыстырушы серіппесі; 5–регенератор; 6–салқындату аймағы; 7–жылыту аймағы

1-сурет. Бос поршенді және x координатаның бағыты бар Стирлинг машинасының жеңілдетілген сұлбасы

Көлемі V_b және қысым p_b бар буферлік кеңістік жұмыс [1]-ден алынған, бірақ оның машинаның жұмысына кері әсері төменде көрсетіледі, ал оның болмауы қажет. Бұл диаграмма Стирлинг қозғалтқышының нақты құрылымына дәлірек сәйкес келеді.

Жұмыс поршені 1 ығыстырғыштың 2 стерженнің 3 бойымен еркін қозғалады, соңғы екеуі бір-бірімен қатаң байланысқан, ал стерженнің бір ұшы серіппеге 4 қаттылық коэффициентімен k_d бекітілген. Ығыстырғыш ұзындығы L_r және жұмыс кеңістігінің қалыңдығы d_r цилиндрлік регенератормен қоршалған цилиндр ішінде еркін қозғала алады.

Жұмыс поршенінің қозғалысы нәтижесінде электр тогы пайда болады, 1- суретте. электр тогының генераторы көрсетілмеген, бірақ оның машинаның жұмысына кері әсері D_p демпферлік коэффициентімен ескеріледі.

Регенераторға арналған негізгі теңдеу. Стирлинг қозғалтқышы регенераторсыз жұмыс істей алмайды, бірақ [6, 7] кітаптардың авторлары мұны жоққа шығарады, бірақ регенераторсыз машинаның өте төмен ПӘК-тін көрсетеді. Осылайша, регенераторға айтарлықтай орын бөлінгенімен, ол қозғалтқыштың негізгі элементтерінің бірі емес. Шын мәнінде, «регенераторсыз» машиналарда ол әлі де бар, бірақ жасырын және жабық түрінде. Мұндағы регенератордың маңыздылығы газтурбиналық машиналардағы компрессордың маңыздылығымен бірдей. Регенератор мұнда негізгі рөлдердің бірін атқаратындықтан, ондағы процестер егжей-тегжейлі сипаттауды қажет етеді. Бұл регенератордағы газ қозғалысының теңдеуінің қажеттілігін білдіреді.

Регенератор диаметрлері d_1 және $d_2 = d_1 + 2d_r$ екі коаксиалды цилиндр арасындағы кеңістікте тар және ұзын арнамен ұсынылған. x координатасы бағытында және ρ_r тығыздығы бар ондағы бір өлшемді газ қозғалысының орташа жылдамдығы u деп белгілейміз. Элементар масса үшін импульстің сақталу теңдеуін жазайық $\Delta m = \rho_r A_r \Delta x$, мұндағы Δx ұзындық қимасындағы элементар көлем және A_r көлденең қимасының ауданы $A_r \Delta x$ тең.

Бұл элементар көлемге екі күш әсер етеді, оның біріншісі $p(x)$ кеңістігіндегі қысымның өзгеруімен байланысты, екіншісі газ ішіндегі үйкеліс күштерінің әрекеті нәтижесінде және канал қабырғасының қатты бетімен жанасу шекарасында әсер етеді. Нәтижесінде жанама кернеуі пайда болады τ . Бұл үйкеліс күші $F_r = \tau \Pi$ тең, ал гидродинамикадан [14] теңдікті қабылдаймыз

$$\tau = \text{const} \cdot \zeta \rho_r |u|u,$$

мұнда ζ –гидродинамикалық кедергі коэффициенті; Π –канал периметрі $\Pi = 2\pi(d_1 + d_r)$. Осылайша, біз аламыз

$$F_r = \frac{1}{8} \cdot \zeta \rho_r \Pi |u|u \cdot \Delta x.$$

1/8 көбейткіші төменде түсіндіріледі. Ньютонның екінші заңын былай жазуға болады

$$\Delta m \frac{du}{dt} = -A_r \cdot [p(x + \Delta x) - p(x)] - F_r.$$

Осы жерден $\Delta x \rightarrow 0$ шегіне дейін және Лагранж мағынасындағы жалпы уақыт туындысын Эйлер мағынасындағы туындымен алмастыру,

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x},$$

теңдеуін аламыз

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{8} \cdot \frac{\zeta \Pi}{A_r} |u|u. \quad (1)$$

u жылдамдығының x координатасына тәуелділігі тығыздық қатты өзгергенде пайда болады. Мұны массаның сақталу теңдеуінен көруге болады:

$$\frac{\partial \rho_r}{\partial t} + \frac{\partial \rho_r u}{\partial x} = 0.$$

Әдеттегі Стирлинг машиналарында газдың термиялық кеңеюі аз, қысымы да көп өзгермейді, ал газдың сығылғыштығы шамалы. Сондықтан уақыт бойынша тығыздықтың туындысы конвективтік тасымалдаумен салыстырғанда аз. Нәтижесінде массалық ағын $\rho_r u$ тек уақыт функциясы болуы мүмкін. Бұл регенератордағы газдың сұйықтық сияқты қозғалатынын және оның жылдамдығы тек уақытқа ғана байланысты екенін білдіреді. Сондықтан (1) орнына теңдеуді қарастыруға болады:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{8} \cdot \frac{\zeta \Pi}{A_r} |u| u,$$

мұнда уақытқа қатысты жартылай туынды толық туындымен ауыстырылады, бірақ Эйлер мағынасында.

Регенератордың ұзындығы бойынша біріктіру, ол келесідей:

$$L_r \frac{du}{dt} = \frac{1}{\rho_r} \Delta p - \frac{1}{8} \zeta \frac{L_r \Pi}{A_r} |u| u. \quad (2)$$

Қысымның Δp төмендеуі газ солдан оңға қарай ағатын болса, оң шама болады. Енді $1/8$ коэффициентінің шығу тегін түсіндірейік; стационарлық жағдайда және құбырдағы ағында белгілі Дарси-Вейсбах теңдеуін алу керек [15]. Ұзындығы L_r және диаметрі D ерікті құбыр үшін қатынасы $\Pi/A_r = 4/D$, содан кейін ол орындалады:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \zeta \rho_r \frac{L_r}{D} |u| u.$$

Бұл құбыр үшін Дарси-Вейсбах теңдеуі. Регенератор үшін (1-сурет) периметрдің ағын ауданына қатынасы тең:

$$\frac{\Pi}{A_r} = \frac{4}{d_r}.$$

Егер газ қозғалысы жолының бойында ағыс импульсі өзгертін $x = x_0$ нүктесінде жергілікті кесінді болса, онда гидравликада [15] қосымша жергілікті кедергі коэффициентін K_r енгізу арқылы ескеріледі. Содан кейін (1) оң жағына қосамыз

$$-\frac{1}{2} \delta(x - x_0) K_r \rho_r |u| u,$$

$$-\frac{1}{2} K_r \rho_r |u| u,$$

және (2) –

мұнда $\delta(x = x_0)$ – Дирактың дельта функциясы.

(2) теңдеу релаксация болып табылады, ол қысым мен үйкеліс өзгерген кезде регенератордағы газ жылдамдығының пайда болуына қажетті уақытты ескереді.

Стирлинг машинасының үлгісі. Алынған модельге регенератордағы ығыстырғыштың, поршеньдің және газдың қозғалыс теңдеулері, m_d массасы бар ығыстырғыштың координатасы $x_{d,0}$, поршеньдік координатаның x_p бастапқы күйі және m_p массасы x координатының тірек нүктесімен сәйкес келеді.

Буферлік көлемдегі газ адиабаттық жағдайда γ көрсеткішпен қысылады және кеңейеді. Сыртқы және бастапқы қысым p_0 деп белгіленеді.

Ауыстырушы мен поршеньдің қозғалыс теңдеулері [1] түрінде болады

$$m_d \frac{d^2 x_d}{dt^2} + k_d (x_d - x_{d,0}) = p_b A_{rod} + p_c A_p - p_e A_d, \quad (3)$$

$$m_p \frac{d^2 x_p}{dt^2} + D_p x'_p = (p_b - p_c) A_p. \quad (4)$$

Олар қысымды анықтауға арналған формулалармен толықтырылған:

$$p_b = p_0 \left(\frac{V_{b,0}}{V_b} \right)^\gamma, \quad (5)$$

$$p_c = \frac{R_g T_c}{V_c} m_c, \quad p_e = \frac{R_g T_e}{V_e} m_e. \quad (6)$$

Мұнда қамтылған көлемдер формулалар арқылы табылады:

$$V_c = V_{c,0} + A_p (x_d - x_{d,0} - x_p), \quad (7)$$

$$V_e = V_{e,0} - A_d (x_d - x_{d,0}), \quad V_b = V_{b,0} - A_p (x_d - x_{d,0} - x_p).$$

m_c ығыстырғыш пен қыздырғыш m_e газ массалары теңдеулерді шешу арқылы анықталады:

$$\frac{dm_c}{dt} = -m'_r, \quad \frac{dm_e}{dt} = m'_r. \quad (8)$$

Регенератордағы газдың массалық шығыны m'_r (2) теңдеуден табылады және бұл мәселе төменде талқыланады. Регенератордағы қысым p_r және температура T_r қыздырғыш пен салқындатқыштағы орташа мәндер ретінде қабылданады:

$$p_r = \frac{p_e + p_c}{2}, \quad T_r = \frac{T_e + T_c}{2}. \quad (9)$$

(9) теңдіктер регенератордағы қысым мен температураның өзгеруінің x координатасына сызықтық тәуелділікті қабылдауды білдіреді. Содан кейін регенератордағы газдың тығыздығы ρ_r күй теңдеуінен анықталады

$$\rho_r = \frac{p_e + p_c}{(T_e + T_c) R_g}. \quad (10)$$

Регенератордағы газдың массасын m_r табу үшін (10) теңдеу қажет. $p(x)$ және $T(x)$ сызықтық функцияларын және регенератор үшін күйдің газ теңдеуін пайдаланып орташа тығыздықты есептеу арқылы ρ_r өлшемін дәлірек анықтауға болады. Бірақ күрделі өрнекке әкелетін мұндай орташалау айтарлықтай артықшылықтар бермейді.

1-суретте регенератор мен V_c және V_e көлемдерінің арасында газ ағынының айналуының жергілікті учаскелері бар, олар регенераторға қосылған және K коэффициентімен сипатталады. Демек, u жылдамдығы теңдеуден табылады:

$$L_r \frac{du}{dt} = \frac{1}{\rho_r} \Delta p - \frac{1}{2} \zeta \frac{L_r}{d_r} |u| u - \frac{1}{2} K_r \cdot |u| u.$$

Оны массалық шығын үшін де жазуға болады $m'_r(t) = u(t) \rho_r A_r$. Бұл анықтаманы қолдану және тығыздықтың тұрақтылығын ρ_r ескере отырып, ағын жылдамдығының теңдеуін жазайық,

$$\frac{dm'_r}{dt} = \frac{A_r}{L_r} \Delta p - \frac{1}{2} \frac{K_\Sigma |m'_r|}{m_r} m'_r, \quad (11)$$

$$K_\Sigma = K_r + \frac{L_r}{d_r} \zeta, \quad m_r = \rho_r L_r A_r = \rho_r V_r, \quad V_r = L_r A_r. \quad (12)$$

1-суретке сәйкес газ қозғалысының оң бағыты қысымның төмендеуінің Δp оң белгісіне сәйкес келеді, сондықтан $\Delta p = p_c - p_e$.

Регенератор жұқа металл сымнан жасалған кеуекті (торлы) құрылым болғандықтан [6, 7], онда жалпы жағдайда газ көлемін V_r анықтауға кеуектілік коэффициентін қосу керек. Мұнда кеуектілік бірлікке жақын деп есептеледі.

Салқындатқыш пен қыздырғыштағы газ массаларының бастапқы мәндерін $m_{c,0}$ және $m_{e,0}$ деп белгілейік, содан кейін (8) теңдеулердің қосындысынан және интегралданғаннан кейін теңдік шығады.

$$m_c - m_{c,0} = -(m_e - m_{e,0}) \quad (13)$$

Белгіленулер

x және t – координат және уақыт;
 t_* – машинаның тұрақсыз жұмыс істеу кезеңі;
 V_c, p_c және T_c – салқындатқыштағы газдың көлемі, қысымы және температурасы;
 V_e, p_e, T_e – қыздырғыштағы газдың көлемі, қысымы және температурасы;
 V_r, p_r, T_r – регенератордағы газдың көлемін, қысымын және температурасын;
 p_b, V_b – буферлік кеңістіктің қысымы мен көлемі;
 p_0 – бастапқы және сыртқы қысым;
 m_c – салқындатқыштағы газдың массасы;
 m_e – қыздырғыштағы газдың массасы; мырза,
 m_r, m'_r – регенератордағы газдың массалық және массалық ағыны;
 ρ_r – регенератордағы газдың тығыздығы;
 k_d – ығыстырушы серіппенің қаттылық коэффициенті;
 A_d – ығыстырғыштың көлденең қимасының ауданы;
 A_p – жұмыс поршенінің көлденең қимасының ауданы;
 A_{rod} – өзекшенің көлденең қимасының ауданы (ығыстырушы);
 L_r, A_r – регенератордың ұзындығы мен жұмыс секциясының ауданы;
 u – регенератордағы газдың жылдамдығы;
 d_r – регенератордың жұмыс бөлігінің биіктігі;
 ζ, K_r – гидравликалық кедергі коэффициенттері;
 φ – ығыстырғыш пен поршеньдің тербелістері арасындағы фазалық жылжу;
 D_p – «сыртқы жүктемені» сипаттайтын коэффициент;
 x_d, x_p – орын ауыстырғыш пен поршеньдің координаталары;
 γ – адиабаталық көрсеткіш;
 R_g – газ тұрақтысы.

Пайдаланған әдебиеттер тізімі

1. Ланглуа Джастин Л.Р. Стирлинг ғарыштық ядролық энергетикалық жүйесінің динамикалық компьютерлік моделі. Trident Scholar жобасының есебі №. 345. – Аннаполис: АҚШ Әскери-теңіз академиясы, 2006.
2. Сабденов Қ.О., Ерзада М., Сүлейменов А.Т. Метан мен азотты пайдаланатын тізбекті жылу қозғалтқышы арқылы ғарышта энергияны түрлендіру мүмкіндігін зерттеу // Engineering and Physical Journal. 2019 ж. Т. 92, № 3. 596–607 б.
3. Сабденов Қ.О. Қайтымды химиялық реакциясы бар термодинамикалық Брейтон циклі // Техникалық физика журналы. 2021. Т. 91, шығарылым. 9. 1323–1330 б.
4. Конюхов Г.В., Бухаров А.В., Конюхов В.Г. Жоғары қуатты ғарыштық жүйелерден төмен потенциалды жылуды жою мәселесі туралы // Инженерлік және физикалық журнал. 2020. Т. 93, № 1. 18-бет–29.
5. Викулов А.Г., Моржухина А.В. Ғарыш аппараттарының ішкі жылу көздерінің қуатын бақылау // Инженерлік және физикалық журнал. 2021. Т. 94, N 5. S. 1125–1133.
6. Уокер Г. Стирлинг циклінде жұмыс істейтін машиналар: Transl. ағылшын тілінен – М.: Энергетика, 1978.
7. Оқырман Г., Хупер С. Стирлинг қозғалтқыштары: Аударма. ағылшын тілінен – М.: Мир, 1986.
8. Wong NM, and Goh SY Stirling қозғалтқышындағы синусоидалы қозғалысты және синусоидалы емес қозғалысты эксперименттік салыстыру. Mex. Ағылш., ғылым. (JMES). 2020, том. 14, 3-басылым, 6971–6981 б.

9. Снайман Х., Хармс Т. және Страусс Дж., Стирлинг қозғалтқыштарына арналған дизайнды талдау әдістері // Оңтүстік Африкадағы энергия журналы. 2008. том. 19, №. 3. 4–19 б.

10. Салем Гоззи, Р.Бухануф. Еркін поршеньді стирлинг қозғалтқышының жаңа механикалық орналасуын компьютерлік модельдеу // Журнал. Таза Энер. Техн., 2015. Т. 3, жоқ. 2. 140–144-беттер. DOI: 10.7763/JOCET.2015.V3.184.

11. Сутапат Кванкаоменг, Бантернг Силпсакулсук, Понгнарин Савангвонг. Еркін поршеньді қозғалтқыштың тұрақтылығы мен өнімділігін зерттеу // Энергия процедурасы. 2014, том. 52. 598–609 б.

12. Farid ZM, Faiz RM, Rosli AB and Kumaran K. Rombic drive beta-configuration Stirling қозғалтқышының термодинамикалық өнімділігін болжау // Машина жасау бойынша 1-ші халықаралық дипломнан кейінгі конференция (IPСME 2018), doi: 10.1088/1757-899/X/1/012048

13. Довгялло А.И., Некрасова С.О., Пулкина А.Ю. Еркін поршеньді Стирлинг қозғалтқышының жұмыс процесін модельдеу негіздері. – Самара: Самара университетінің баспасы, 2020.

14. Лоицнский Л.Г. Сұйық және газ механикасы.–М.: Наука, 1987.

15. Ухин Б.В., Гусев А.А. Гидравлика: Оқулық. – М.: Инфра-М, 2010.

ӘОЖ 536.8

ШАҒЫН ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БОС ЖҰМЫС ПОРШЕНІ БАР СТИРЛИНГ МАШИНАНЫ (ҚОЗҒАЛТҚЫШЫН) ЖОБАЛАУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ. 2. СИМУЛЯЦИЯ НӘТИЖЕЛЕРІ

¹Киікбаев Нұрымбет, ¹Алламжарова Сымбат, ²Ерзада Майра
allamjarovasyambat@gmail.com, nurymbetkikbaev8@gmail.com

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

¹«Электрэнергетика» кафедрасы магистранттары

²PhD, «Электрэнергетика» кафедрасы доценті

Стирлинг қозғалтқышы изотермиялық жуықтауда модельденді. Бастапқы кезеңде қозғалтқышта жоғары жиілікті ($\sim 10^2$ Герц немесе одан көп) және төмен жиілікті (~ 10 Герц немесе одан аз) тербелістер пайда болады. Жұмыс поршені мен орын ауыстырғыштың қозғалысы төмен жиілікті тербелістерге сәйкес келеді. Қыздырғыш пен салқындатқыштың арасында минималды температура айырмашылығы бар, одан төмен бос поршеньді қозғалтқыш жұмыс істемейді, бірақ Стирлинг қозғалтқышының басқа түрі сияқты жұмыс істей алады.

Түйінді сөздер: электр энергиясын өндіру, бос жұмыс істейтін поршеньді Стирлинг машинасы, регенератор, термодинамикалық Стирлинг циклі.

Кіріспе. Модельдеу үшін келесі теңдеулер жүйесі қолданылады:

$$m_d \frac{d^2 x_d}{dt^2} + k_d (x_d - x_{d,0}) = p_b A_{rod} + p_c A_p - p_e A_d, \quad (1)$$

$$m_p \frac{d^2 x_p}{dt^2} + D_p x'_p = (p_b - p_c) A_p. \quad (2)$$

Қысымды анықтау формулалары: