

ӘОЖ 65.011.56
ҒТАМР 44.01.77

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2021-1-16-21>

«ЖАНАРМАЙ – ҚАЗАНДЫҚТАҒЫ БУ ҚЫСЫМЫ» КАНАЛЫ БОЙЫНША БУ ӨНДІРУ ҚАЗАНДЫҒЫНЫҢ БЕРІЛІС ФУНКЦИЯСЫ

¹М.А. ДЖАМАНБАЕВ, ¹Е.Қ. МУСАБАЕВ

(¹«Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан)
E-mail: dzhamanbaev@mail.ru

Мақалада бу өндіру қазандығындағы бу қысымы мен қазандыққа берелетін жанармай мөлшерінің араларындағы аналитикалық тәуелділік (математикалық модель) алынған. Математикалық модель «жанармай – қазандықтағы бу қысымы» каналы бойынша тәжірибелік жолмен алынған сипаттамаға сүйене отырып анықталған. Тәжірибелік сипаттама өз кезегінде М.П. Симою және Е.П. Стефани тәсілі арқылы өңделді. Бу қазандығындағы будың өзгеру динамикасы Matlab (Simulink) модельдеу ортасында модельденген. Мақалада келтірілген нәтижелер бу өндірудегі бу қысымын тұрақтандыру жүйесін құруда қолданыс табады. Дәлірек айтсақ, автоматты реттеуіштің орнықтылық аймағын тұрғызуда, сол сияқты, технологиялық процесстерге қойылатын талаптарды қанағаттандыратындай реттеуіштің баптау параметрлерінің оптималдық мәндерін есептеуде пайдаланады.

Негізгі сөздер: басқарылатын объект, математикалық модель, тәжірибелік өтпелі сипаттама, беріліс функциясы, дифференциалдық теңдеу, аудан тәсілі.

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ПАРОВОГО КОТЛА ПО КАНАЛУ «ПОДАЧА ТОПЛИВА – ДАВЛЕНИЕ ПАРА НА ВЫХОДЕ КОТЛА»

¹М.А. ДЖАМАНБАЕВ, ¹Е.Қ. МУСАБАЕВ

(¹АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан)
E-mail: dzhamanbaev@mail.ru

В статье получена аналитическая зависимость (математическая модель) между давлением пара на выходе парового котла и топлива, подаваемого в котел. Математическая модель определена на основе характеристик, полученных экспериментально по каналу «топливо - давление пара в котле». Обработка экспериментальных данных осуществлена методом М.П. Симою и Е.П. Стефани. Динамика изменения давления пара в паровом котле моделируется в среде моделирования Matlab (Simulink). Полученная модель будет использована при разработке автоматической системы регулирования процесса парообразования. В частности, при установлении и области устойчивой работы регулятора, при выборе оптимальных значений параметров настройки регулятора, удовлетворяющих заданные показатели качества технологических процессов.

Ключевые слова: объект управления, математическая модель, экспериментальная переходная характеристика, метод площадей, передаточная функция, дифференциальное уравнение.

STEAM BOILER TRANSFER FUNCTION THROUGH FUEL SUPPLY - STEAM PRESSURE AT BOILER OUTLET

¹M.A. DJAMANBAYEV, ¹E.K. MUSABAEV

(¹«Almaty Technological University» JSC, Almaty, Kazakhstan)
E-mail: dzhamanbaev@mail.ru

The article provides an analytical relationship (mathematical model) between the steam pressure at the exit of the steam boiler and the fuel supplied to the boiler. The mathematical model was determined on the basis of the characteristics obtained experimentally through the channel "fuel - steam pressure in the boiler". The experimental data were processed by the method of M.P. Simo and E.P. Stephanie. The dynamics of the change in steam pressure in a steam boiler is simulated in the Matlab (Simulink) simulation environment. The resulting model will be used to develop an automatic control system for the vaporization process. In particular, when establishing the region of stable operation of the regulator, when choosing the optimal values of the tuning parameters of the regulator that satisfy the given quality indicators of technological processes.

Key words: control object, mathematical model, experimental transient response, area method, transfer function, differential equation.

Kіpіcne

Қазіргі заманғы энергетика негізін ірі жылу электр станциялары (ЖЭО), өндірістік жылыту қазандықтары, өндірістерді жылумен жабдықтау жүйелері, әр түрлі мақсаттағы тоңазытқыш қондырғылар, кептіру қондырғылары және т.б. құрайды. Солардың ішінде қазандық қондырғысы жылу станциясының негізгі буындарының бірі болып табылады, оның сенімді және тиімді жұмысы тұтастай жылу-энергетикалық жүйелердің тиімділігін айқындайды деседі болады. Жылу қазандықтарын пайдалану барысында әдетте біраз мәселелер туындайды. Мысалға, механикалық тұрғыда – қазандық элемент-

терінің механикалық зақымданулары [1], экологиялық тұрғыда - атмосфераға кететін отынның жану өнімдеріндегі (түтін газдары) экологиялық қауіпті заттар концентрациясын төмендету проблемалары [2]. Осындай олқылықтарды мейлінше азайту барысында әдетте автоматтандыру мәселесі көтеріледі [3].

Әдетте бу қазандығында өтетін процесстерді автоматты реттеу үшін басқарылатын объектілердің (бу қазаны) математикалық модельдері белгілі болуы қажет. Практикалық тұрғыда объектілердің математикалық модельдерін алудың бірден бір жолы – тәжірибелік жолмен алынған екпін қисығын өңдеу. Өңдеудің әдетте түрлі тә-

сілдері бар, дегенімен дәлдігі жоғары тәсілдің бірі – М.П. Симою және Е.П. Стефани тәсілі. Кейде бұл тәсілді «аудандар тәсілі» депте атайды [4,5].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттелетін объект ретінде бу өндіру қазандығы қарастырылады.

Мақаланың негізгі мақсаты, бу қысымы мен қазандыққа берелетін жанармай мөлшерінің араларындағы тәжірибелік тәуелділікті өңдеу арқылы, «жанармай – қазандықтағы бу қысымы» каналы бойын-

ша бу қазандығының математика-лық модельін айқындау.

Зерттеу тәсілі – тәжірибелік екпін қисығын М.П. Симою және Е.П. Стефани тәсілі арқылы өңдеу

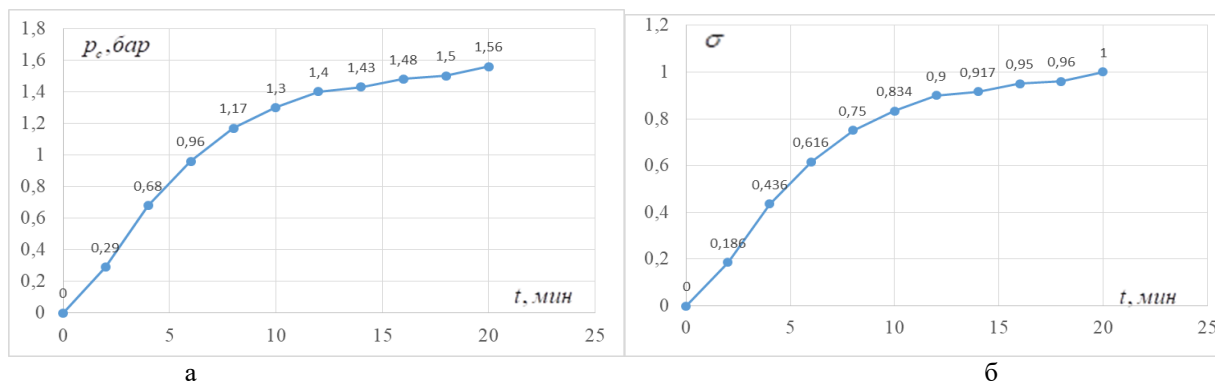
Нәтижелер және оларды талқылау

Объектінің математикалық моделін объектiнiң кiрiстiк және шығыстық шамаларының араларындағы тәжірибелік жолмен алынған сипаттамаға сүйене отырып анықтауға болады. Осындай тәжірибелік сипаттаманың бірі [6] еңбекте келтірілген (1 кесте).

1-кесте. Тәжірибелік мәліметтердің орта мәндері. μ , % - реттеуші органның ашылу дәрежесі, p_c – қысым (объектінің шығыстық шамасы), σ – шығыстық шаманың өлшемсіз түрдегі ауытқуы

μ , %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
p_c , бар	0	0,29	0,68	0,96	1,17	1,3	1,4	1,43	1,48	1,5	1,56
t, мин	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$\sigma = \frac{P_c}{P_c(\infty)}$	0	0,186	0,436	0,616	0,75	0,834	0,9	0,917	0,95	0,96	1,0

Кестелік мәліметтерге сүйеніп, екпін қисығын тұрғызамыз (1 сурет)



1 сурет. а - тәжірибелік екпін қисығы, б - салыстырмалы бірліктегі екпін қисығы

Полиномдар коэффициенттерінің оң мәндерін қанағаттандыратындай беріліс функциясының макеті келесі түрде аламыз

$$W_0(s) = \frac{b_1 s + 1}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} \quad (1)$$

Беріліс функциясының алымындағы және бөліміндегі полиномдардың коэффициенттері жалпы жағдайда келесі теңдеулер жүйесінен табылады [7]

$$a_i = F_i + b_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_j F_{i-j} \quad (2)$$

Біздің жағдайда бұл теңдеулер жүйесі мынаған тең

$$\begin{aligned} a_1 &= F_1 + b_1 \\ a_2 &= F_2 + b_1 F_1 \\ 0 &= F_3 + b_1 F_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Ал интегралдық аудандар F_i келесі формуладан анықталады [7]

$$F_i = F_1^i \int_0^\infty (1 - \sigma) \left[\frac{(-\theta)^{i-1}}{(i-1)!} + \frac{(-\theta)^{i-2}}{(i-2)!} + \sum_{j=0}^{i-3} \frac{F_{i-j-1} (-\theta)^j}{F_1^{i-j-1} j!} \right] d\theta \quad (4)$$

Біздің жағдайда белгісіз коэффициенттер саны үшке тең, сол себепті есептелетін интегралдық аудандар саны да үшке тең болуы қажет. Практикалық тұрғыда (4)

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \Delta t \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)] - 0.5[1 - \sigma(0)] \right\} \\
 F_2 &= F_1^2 \Delta \theta \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)] [1 - \theta(i\Delta t)] - 0.5[1 - \sigma(0)] \right\} \\
 F_3 &= F_1^3 \Delta \theta \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)] \left[1 - 2\theta(i\Delta t) + \frac{1}{2}\theta^2(i\Delta t) \right] - 0.5[1 - \sigma(0)] \right\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

мұнда Δt – уақыт интервалы ($\Delta t = 2$ мин), $\theta(i\Delta t)$ – салыстырмалы уақыт

$$\theta(i\Delta t) = \frac{i\Delta t}{F_1} \tag{6}$$

Есептеу кезеңдері:

2-кестеде F_1 ауданын есептеуге арналған мәліметтер келтірілген.

2-кесте. F_1 ауданын есептеуге арналған мәліметтер

t	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	Σ
p	0	0,29	0,68	0,96	1,17	1,3	1,4	1,43	1,48	1,5	1,56	
$\sigma(i\Delta t)$	0	0,186	0,436	0,616	0,75	0,834	0,9	0,917	0,95	0,96	1,0	
$1 - \sigma(i\Delta t)$	1	0,814	0,564	0,384	0,25	0,166	0,1	0,083	0,05	0,04	0	3,451

2 кестедегі мәліметті пайдалана отырып, (5) формуладан F_1 ауданның мәнін

есептеп табамыз: $F_1 = 5,9$; Қалған аудандарды есептеу үшін 3 кестені құамыз

3 кесте. F_2 және F_3 аудандарын есептеу үшін қажеті мәліметтер

$1 - \sigma(i\Delta t)$	1	0,814	0,564	0,384	0,25	0,166	0,1	0,083	0,05	0,04	0
$\theta(i\Delta t)$	0	0,34	0,677	1,017	1,356	1,695	2,034	2,373	2,712	3,051	3,39
$\theta^2(i\Delta t)$	0	0,116	0,458	1,034	1,839	2,873	4,137	5,631	7,355	9,309	11,5
$1 - \theta(i\Delta t)$	1	0,66	0,323	-0,02	-0,36	-0,69	-1,03	-1,37	-1,71	-2,05	-2,39

Есептеу нәтижелері төменде келтірілген: $F_2 = 7,35$; $F_3 = -3,48$;

Аудандардың мәндерін (3) теңдеу жүйесіне қойып, полиномдар коэффициенттерін анықтаймыз. Есептеу нәтижелері:

$$b_1 = 0,473; \quad a_1 = 6,37; \quad a_2 = 10,12;$$

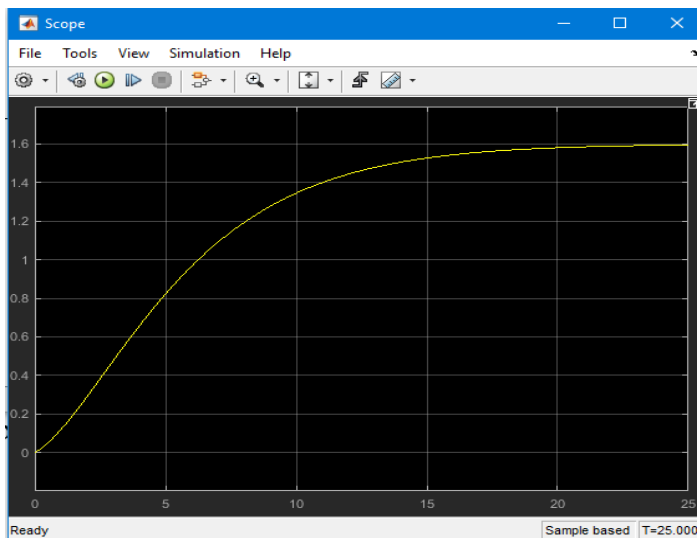
$$W_0(p) = k_0 \frac{b_1 s + 1}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} = \frac{0,76s + 1,6}{10,12s^2 + 6,37s + 1} \tag{7}$$

Бұл жағдайда бу қазандығы тұрақты коэффициентті екінші ретті сызықты дифференциал теңдеумен өрнектеледі

Беріліс коэффициенті k_0 [6] еңбекте есептелген, есептеу нәтижесі бойынша $k_0 = 1,6$ тең. Беріліс коэффициентін есепке ала отырып, бу қазандығының «жанармай-бу қысымы» каналы бойынша беріліс функциясын былайша жазамыз

$$10,12 \frac{d^2 p_c(t)}{dt^2} + 6,37 \frac{dp_c(t)}{dt} + p_c(t) = 0,76 \frac{d\mu(t)}{dt} + 1,6\mu(t) \quad (8)$$

3 суретте *Matlab(Simulink)* модельдеу ортасының стандартты блогын *Transfer Function* қолдану арқылы өтпелі сипаттама тұрғызылған [8].



3 сурет. «Жанармай-бу қысым» каналы бойынша тұрғызылған екпін қисығы

3 суреттен байқайтынымыз, алынған математикалық модель тәжірибелік жолмен алынған сипаттаманы адекватты сипаттайты.

Қорытынды

1. Бу қазандығының «жанармай-бу қысымы» каналы бойынша алынған тәжірибелік деректерді пайдалана отырып, бу қазандығының математикалық модельі айқындалды. Бу қазандығы екінші ретті сызықты дифференциал теңдеуімен сипатталады.

2. Бу қазандығының өтпелі сипаттамасы *Matlab(Simulink)* модельдеу ортасының стандартты блогын *Transfer Function* қолдану арқылы тұрғызылды. Модельдеу нәтижесі математикалық модельдің бу қазандығында өтетін процессті адекватты сипаттайтынын көрсетті.

3. Мақалады келтірілген нәтижелер болашақта бу өндіру процесстерін автоматтандыруда қолданыс табады

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Костюк А.Г., Куменко А.И., Некрасов А.Л., Калинин С.В., Медведев С.В. Эксперимен-

тальный анализ пульсаций давления в пароподводящих органах турбоагрегата.- //Теплоэнергетика, 2000.- № 6.- С. 50-57.

2. Росляков П.В., Закиров И.А., Егорова Л.Е., Ионкин И.Л., Чадаев А.В., Райсфельд А.А. Система непрерывного контроля и регулирования процесса горения и вредных выбросов в атмосферу.- //Теплоэнергетика, 2000.- № 6.- С. 35-40.

3. Голдобин Ю.М., Павлюк Е.Ю. Автоматизация теплоэнергетических установок : учеб. пособие /.— Екатеринбург : УрФУ, 2017.— 186 с.

4. Шишкин О. П., Парфенов А. Н. Основы автоматки и автоматизация производственных процессов. Учебник для нефт. вузов и фак. – М.: Недра, 1965. - 340 с.

5. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. 2-е изд., – М.: Энергия, 1972. – 376 с.

6. Пиотровский Д. Л. и др. Моделирование процесса стабилизации давления пара в паровом котле.- //КубГАУ.- №92(08).- 2013.- С. 237-239.

7. Мартыненко И.И. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматки.- М.: «Колос», 1981.-304 с.

8. Дьяков В.П. MATLAB. Полный самоучитель.-М.: ДМК Пресс, 2012.-768 с.

REFERENCES

1. Kostyuk A.G., Kumenko A.I., Nekrasov A.L., Kalinin S.V., Medvedev S.V. Ekhspерimental'nyi analiz pul'satsii davleniya v paro-podvodyashchikh organakh

turboagregata.- //Тепло-энергетика, 2000.- № 6.- S. 50-57. (in Russian)

2. Roslyakov P.V., Zakirov I.A., Egorova L.E., Ionkin I.L., Chadaev A.V., Raisfel'd A.A. Sistema nepreryvnogo kontrolya i regulirovaniya protsessa goreniya i vrednykh vybrosov v atmosferu.- //Теплоэнергетика, 2000.- № 6.- S. 35-40. (in Russian)

3. Goldobin YU.M., Pavlyuk E.YU. Avtomatizatsiya teploenergeticheskikh ustanovok : ucheb. posobie /.— Ekaterinburg : URFU, 2017.— 186 s. (in Russian)

4. Shishkin O. P., Parfenov A. N. Osnovy avtomatiki i avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov. Uchebnik dlya nef. vuzov i fak. – M.: Nedra, 1965. - 340 s. (in Russian)

5. Stefani E.P. Osnovy rascheta nastroiки regulyatorov teploenergeticheskikh protsessov. 2-e izd., – M.: Ehnergiya, 1972. – 376 s. (in Russian)

6. Piotrovskii D. L. i dr. Modelirovanie protsessa stabilizatsii davleniya para v parovom kotle.- //KuBGAU.- №92(08).- 2013.- S. 237-239. (in Russian)

7. Martynenko I.I. Proektirovanie, montazh i ehkspluatatsiya sistem avtomatiki.- M.: «KoloS», 1981.-304 s. (in Russian)

8. D'yakov V.P. MATLAB. Polnyi samouchitel'.-M.: DMK Press, 2012.-768 s. (in Russian)