

Теплотворная способность смеси топлив

ИСАЕВ Валерий Львович, к.т.н., доцент, *ivl.47@bk.ru*,
НЕШИНА Елена Геннадьевна, к.т.н., зав. кафедрой, *e.neshina@ktu.edu.kz*,
КАЛЫТКА Валерий Александрович, PhD, ассоциированный профессор, *kalytka@mail.ru*,
***КАЛИНИН Алексей Анатольевич**, PhD, зав. кафедрой, *a.kalinin@ktu.edu.kz*,
САВЧЕНКО Наталья Каримовна, магистр, старший преподаватель, *sav_nata@mail.ru*,
 НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
 пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
 *автор-корреспондент.

Аннотация. Рассматривается задача повышения тепловой эффективности котельных установок за счёт использования смесей различных видов топлива. Представлена методика расчёта теплотворной способности таких смесей с учётом долей компонентов. Исследование охватывает расчёт тепловой мощности горелки при различных пропорциях угля, метана и водорода. Проведён переход к условным топливным единицам, что позволяет унифицировать расчёты. Построена зависимость между расходами компонентов и требуемой мощностью, проиллюстрированная графически. Установлены диапазоны параметров, при которых достигается нормативная мощность горелки. Полученные результаты применимы при оптимизации сжигания в энергетических установках.

Ключевые слова: энергоресурсы, условное топливо, смеси топлив, теплотворная способность, тепловая мощность горелки, энергетическая эффективность, оптимизация сгорания, комбинированное сжигание.

Введение

Ожидаемое истощение запасов природного топлива обуславливает актуальную задачу по поиску рациональных технологий подготовки к сжиганию и совершенствованию топочных процессов на их базе. Активные темпы добычи и использования природного топлива значительно выше скорости формирования новых альтернативных источников, что ведет к полному истощению залегаемых запасов [1]. На сегодня вопрос изыскания новых типов топлив для традиционных источников энергии и повышения теплотворной способности смеси этих топлив является актуальным. Это позволит повысить эффективность теплоэнергетики за счет активизации топочных процессов и снизить темпы использования топливных ресурсов [2].

Капиталовложения ТЭЦ определяются многими факторами, в том числе от вида сжигаемого топлива. Так, являются экономически неблагоприятными низкокалорийные, с малой теплоотдачей, привозные виды топлива, по сравнению с высококалорийными (с высокой теплоотдачей при сжигании), используемые вблизи мест их добычи. Экономически и экологически благоприятными являются ТЭЦ на природном газе. Для ТЭЦ показательными работами служат отпуски

электрической энергии \mathcal{E} и тепла $Q_{\text{отп}}$ за принятый период. Количество B сжигаемого топлива на тепловое потребление $B_{\text{п}}$ зависит от производительности D , разности энтальпий пара и питательной воды, КПД брутто котла и низшей теплоты сгорания рабочей массы топлива:

$$B_{\text{п}} = \frac{D(i - i_{\text{пв}})}{\eta_{\text{кв}} Q_{\text{н}}^{\text{п}}}, \quad (1)$$

где i – энтальпия пара, $i_{\text{пв}}$ – энтальпия питательной воды, $\eta_{\text{кв}}$ – КПД котла, $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ – низшая теплота сгорания.

Расход топлива на выработку электрической энергии $B_{\text{э}}$ с учётом известных соотношений ($1 \text{ кг/Дж} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}$, $1 \text{ кг/Дж} = 4,19 \cdot 10^9 \text{ кг/Гкал}$) находится как разность $B_{\text{э}} = B - B_{\text{п}}$ [3].

Коэффициент использования тепла топлива $k = \frac{\mathcal{E} + Q_{\text{отп}}}{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}}$ как отношение суммы полезной выработанной электрической энергии и отпущенной тепловой энергии к теплу, полученному от сжигания конкретного топлива $B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}$, позволяет характеризовать экономичность расхода топлива и тепла в зависимости от выделения конкретного топлива $B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ и долей $k_{\text{э}}$, $k_{\text{т}}$ использования выработанного тепла $B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ на производство электрической \mathcal{E} и тепловой $Q_{\text{отп}}$ энергии

[3]:

$$k = \frac{k_э + k_T}{B}, \quad (2)$$

где $k_э = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot Q_H^P}, k_T = \frac{Q_{отп}}{B \cdot Q_H^P}$.

Коэффициент k показывает, что увеличение количества B сжигаемого низкокалорийного топлива или снижение количества B сжигаемого высококалорийного топлива для получения равного значения тепла либо снижает, либо повышает значение коэффициента k . В связи с ограниченными запасами добычи и использованием высококалорийных топлив и необходимостью использования экономически целесообразных по добыче низкокалорийных (карьерных) углей, поддержание значения коэффициента использования тепла k перспективно использованием для сжигания на ТЭЦ смесей низкокалорийных углей с другими видами высококалорийных топлив, жидких и газообразных, доли которых в смеси топлив обеспечат топочный процесс с нормативным для конкретного котла тепловыделением (рисунок 1).

Экспериментальная часть

Топливо – это органическое вещество, которое выделяет тепло при сгорании. Основными горючими элементами в топливе являются углерод и водород.

Низшая теплота сгорания – количество теплоты, выделяемое единицей топлива, без учета теплоты конденсации водяного пара.

Исходными данными для расчета низшей теплоты сгорания смеси топлив являются значения видов, долей топлив и низшей теплоты сгорания каждого компонента смеси. Выборочные значения низшей теплотворной способности угля, метана и водорода в кДж/кг представлены в таблице 1.

Определение низшей теплоты сгорания смеси трех топлив:

$$Q_{р.смеси}^H = k_1 \cdot Q_{р.топливо1}^H + k_2 \cdot Q_{р.топливо2}^H + k_3 \cdot Q_{р.топливо3}^H, \quad (3)$$

где k_1, k_2, k_3 – доли трех топлив, причем $k_1 + k_2 + k_3 = 1$; $Q_{р.топливо1}^H$ – низшая теплота сгорания метана, $Q_{р.топливо2}^H$ – низшая теплота сгорания водорода, $Q_{р.топливо3}^H$ – низшая теплота сгорания угля, причем $0.1 < k_1, k_2, k_3 < 0.8$. Для расчета долей смеси топлив используется матрица (таблица 2).

Физическое топливо $B_{ф} \cdot Q_H^P$ переведено в условное $B_y = B_{ф} \cdot \frac{Q_H^P}{Q_y}$, $Q_{усл} = \frac{Q_H^P}{Q_y}$, $Q_{усл} = 7000$ ккал/кг = 29307 кДж/кг. Для твердого и жидкого топлив $B_{ф}$, кг, $Q_{усл}$, кДж/кг; газообразных топлив $B_{ф}$, м³, $Q_{усл}$, кДж/м³. В таблице 3 дан перевод топлив в условные единицы.

$k_{(B=1)}$	k_T	$k_{эT} = k_э / k_T$
0,3	0,2	0,5
0,6	0,4	
0,9	0,6	
1,2	0,8	
1,5	1	
0,34	0,2	0,7
0,68	0,4	
1	0,6	
1,36	0,8	
1,7	1	
0,36	0,2	0,8
0,72	0,4	
1,08	0,6	
1,44	0,8	
1,8	1	
0,4	0,2	1,0
0,8	0,4	
1,2	0,6	
1,6	0,8	
2	1	

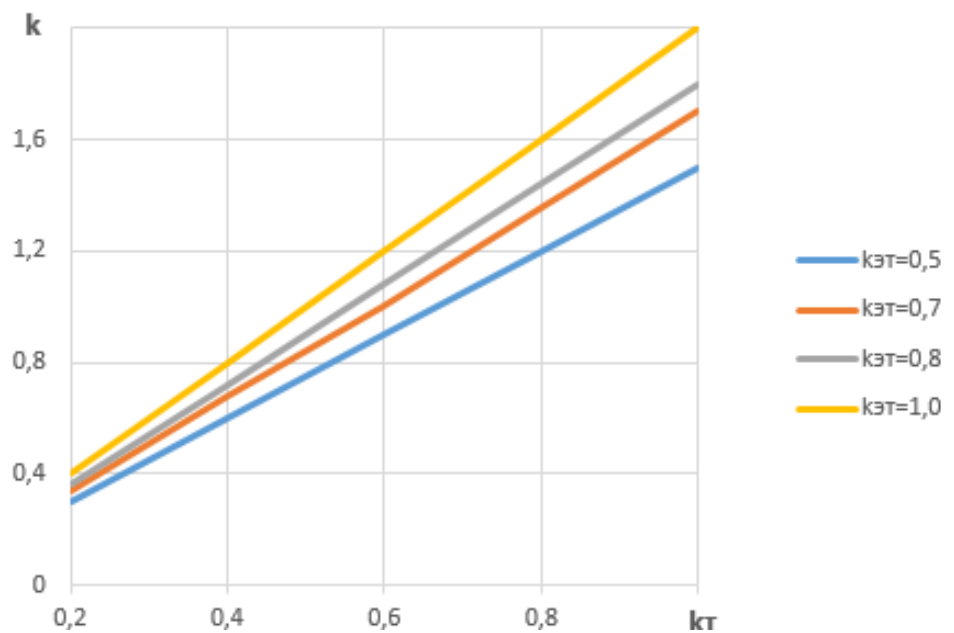


Рисунок 1 – Табличная и графическая зависимость коэффициента использования типа топлива от долей выработанного тепла на производство тепловой энергии k_T и электрической энергии $k_э$

Таблица 1 – Низшая теплота сгорания топлив

Топливо	Низшая Q_p^H , кДж/кг	Низшая Q_p^H , кДж/м ³
Уголь	16748	-
Водород	120376	10760
Метан	50030	35820

Одной из главных задач поддержания нормативных значений тепловой мощности горелки является правильная и бесперебойная работа котла $Q_{гор}$, кВт [4, 5]:

$$Q_{гор} = Q_H^T * b_p, \tag{4}$$

где $Q_{гор}$ – тепловая мощность горелки, кДж/ч; Q_H^T – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; b_p – расход топлива через горелку, кг/ч.

Тепловая мощность горелки $Q_{гор}$ индивидуально подбирается для каждого котла индивидуально, опираясь на его паспортные данные.

Из результатов расчетов ООО «Сибэнергомаш-БКЗ» [6] для котла КВ-Т-128-150 используем следующие данные – номинальная теплопроизводительность котла 103 Гкал/ч (в переводе на ГДж/ч имеем: 103 Гкал/ч = 432 ГДж/ч).

Принято допущение, что в экспериментальном топочном устройстве содержатся

четыре экспериментальных горелочных устройства, способных сжигать смеси трех топлив, имеем на одну горелку $Q_{гор}$:

$$\frac{432 \text{ ГДж/ч}}{4} = 108 \text{ ГДж/ч} = 108 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.} \tag{5}$$

Имея переменные значения расходов трех топлив b_1, b_2, b_3 (кг/ч), $Q_{усл(1)}, Q_{усл(2)}, Q_{усл(3)}$ и доли трех топлив k_1, k_2, k_3 , составим уравнение тепловой мощности горелки для сжигания смеси трех топлив:

$$Q_{гор} = k_1 b_1 Q_{усл(1)} + k_2 b_2 Q_{усл(2)} + k_3 b_3 Q_{усл(3)}. \tag{6}$$

Значения $Q_{усл(1)}, Q_{усл(2)}, Q_{усл(3)}$ представлены в таблице 2.

Рассмотрим влияние расходов условных топлив на тепловыделение горелки относительно заданного ранее условия ($k_1 + k_2 + k_3 = 1$), при $k_1 = k_2 = k_3 = 0,333$.

Для подбора изменяемых значений условных расходов топлив b_1, b_2, b_3 в уравнении (6) учтены значения тепловой мощности горелки и доли топлив из уравнения ($k_1 = k_2 = k_3 = 0,333$):

$$108 \cdot 10^6 = 0,333 b_1 Q_{усл(1)} + 0,333 b_2 Q_{усл(2)} + 0,333 b_3 Q_{усл(3)}, \tag{7}$$

$$108 \cdot 10^6 = 0,1881 \cdot b_1 + 1,353 \cdot b_2 + 0,561 \cdot b_3. \tag{8}$$

Выполним построение трехмерного графика по уравнению (8) – рисунок 2.

Таблица 2 – Расчет матрицы по определению низшей теплоты сгорания смеси

Доля угля	Доля водорода	Доля метана		Q_p^H топлива		Q_p^H смеси трех топлив
0,1	0,1	0,8	x	16748	=	53736,4
0,1	0,2	0,7		120376		60771
0,1	0,3	0,6		50030		67805,6
0,1	0,4	0,5				74840,2
...
0,7	0,2	0,1				40801,8
0,8	0,1	0,1				30439

Таблица 3 – Перевод топлив в условные единицы

Топливо	Q_p^H , кДж/кг	$Q_{усл}$ эквивалент условного топлива
Каменный уголь (Екибастузский)	16748	0,57
Водород	120376	4,1
Метан	50030	1,7

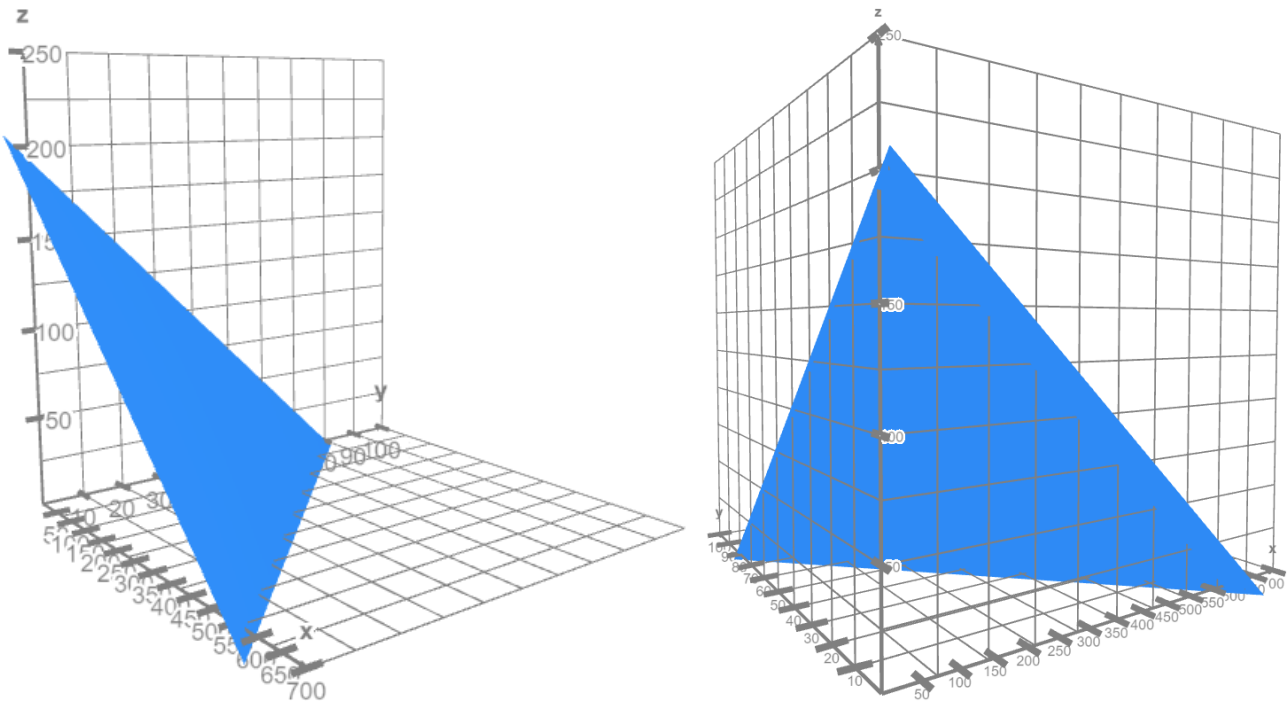


Рисунок 2 – Области значений условных расходов топлив в смеси

Пусть $b_1 = x$, $b_2 = y$, $b_3 = z$, x, y, z – оси координат. Тогда уравнение (8) примет вид: $108 \cdot 106 = 0,1881 \cdot x + 1,353 \cdot y + 0,561 \cdot z$.

На рисунке 2 синяя область является множеством значений расходов топлива b_1, b_2, b_3 , при условии $k_1 = k_2 = k_3 = 0,333$.

Для определения одного из множества условных расходов топлив в смеси, необходимо на рисунке 2 от синей области опустить на оси x, y, z перпендикуляры, координаты точек на плоскостях будут значениями условных расходов топлив. Например, после определения значений расходов составляющих трех топлив для сжигания смеси при условии $k_1 = k_2 = k_3 = 0,333$ для тепловой мощности горелки $Q_{гор} = 108 \cdot 106$ кДж/ч получаем $b_1 = 324,45$, $b_2 = 14,5$, $b_3 = 48,8$ условных единицы (рисунок 3).

Таким образом, тепловая мощность горелки обеспечивается при равных долях для трех топлив в их смеси и значений расходов топлив в синей области значений условных расходов топлив.

Заключение

Определено количество сжигаемой топливной смеси, удовлетворяющей условию равенства долей топлив в смеси, необходимой для поддержания стабильной тепловой мощности горелки. Смеси различных топлив – актуальный способ повышения эффективности использования топливных ресурсов.

Использование области значений условных расходов в смеси решает вопрос по

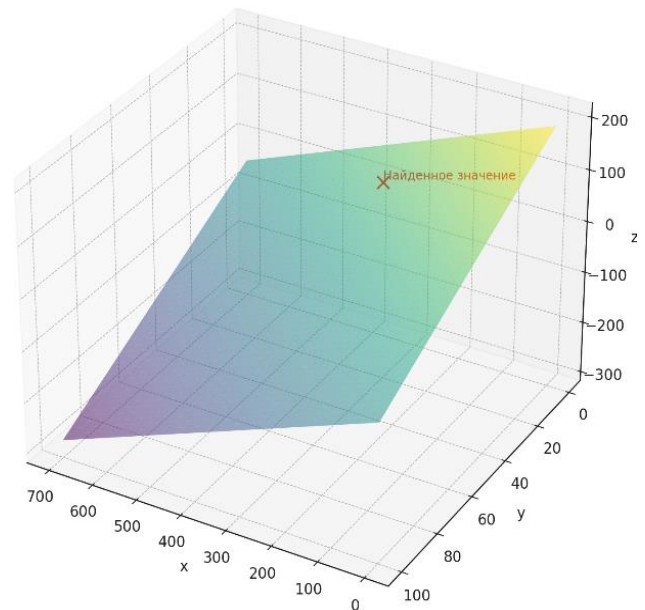


Рисунок 3 – Визуальное решение уравнения для заданной тепловой мощности горелки

поиску альтернативного вида топлива. Это позволяет экономично использовать существующие топлива взамен дефицитных, при этом сохраняя нормативную мощность горелочного устройства.

Разработанный расчетный подход может быть использован при проектировании и мо-

дернизации котельных установок, использующих смешанное топливо. Он способствует не только улучшению экономических показателей, но и снижению выбросов вредных веществ за счёт более полного сгорания

топлива. Применение данной методики целесообразно как в рамках промышленных ТЭЦ, так и в перспективных энергетических системах на альтернативных источниках топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верстин Н.А. Формирование вариантов развития теплоэнергетики страны с учетом комплексной характеристики ее состояния (на примере Казахстана) // Экономика Центральной Азии. 2024. Том 8. № 1. С. 11-28. DOI: 10.18334/asia.8.1.120724.
2. Лалджебаев М., Исаев Р., Саухимов А. Возобновляемые источники энергии в Центральной Азии: потенциал, использование, перспективы и барьеры // Высшая школа развития Университета Центральной Азии. 2022. № 71. С. 1-27. DOI: 10.2139/ssrn.3516826.
3. Литвин А.М. Основы теплоэнергетики. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1973. 168 с.
4. Соколов Б. А. Котельные установки, работающие на твердом топливе. М.: Энергия, 2013. 666 с.
5. Хзмалян Д.М. Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. М.: Энергия, 1976. 488 с.
6. ООО «Сибэнергомаш – БКЗ». Сводная таблица результатов расчетов / ТЭЦ-1. АО «Астана-Энергия». Астана, 2018. 25 с.

Отын қоспасының жылу сыйымдылығы

ИСАЕВ Валерий Львович, т.ғ.к., доцент, ivl.47@bk.ru,
НЕШИНА Елена Геннадьевна, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, e.neshina@ktu.edu.kz,
КАЛЫТКА Валерий Александрович, PhD, қауымдастырылған профессор,
kalytka@mail.ru,
***КАЛИНИН Алексей Анатольевич**, PhD, кафедра меңгерушісі, a.kalinin@ktu.edu.kz,
САВЧЕНКО Наталья Каримовна, магистр, аға оқытушы, sav_nata@mail.ru,
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Әртүрлі отын түрлерінің қоспаларын қолдану арқылы қазандық қондырғыларының жылу тиімділігін арттыру мәселесі қарастырылады. Мұндай қоспалардың компоненттер үлесін ескере отырып, олардың жылу сыйымдылығын есептеу әдістемесі ұсынылған. Зерттеу көмір, метан және сутегінің әртүрлі қатынастарында жанарғының жылулық қуатын есептеуді қамтиды. Есептеулерді біріздендіруге мүмкіндік беретін шартты отын бірліктеріне ауысу жүргізілді. Компоненттердің шығындары мен талап етілетін қуат арасындағы тәуелділік графикалық түрде көрсетілді. Жанарғының нормативтік қуаты қамтамасыз етілетін параметрлердің диапазоны анықталды. Алынған нәтижелер энергия қондырғыларындағы жану процесін оңтайландыруда қолданылуы мүмкін.

Кілт сөздер: энергия ресурстары, шартты отын, отын қоспалары, жылу сыйымдылығы, жанарғының жылулық қуаты, энергетикалық тиімділік, жануды оңтайландыру, аралас жағу.

Heat Capacity of Fuel Mixtures

ISAEV Valery, Cand. of Tech. Sc., Docent, ivl.47@bk.ru,
NESHINA Yelena, Cand. of Tech. Sc., Head of Department, e.neshina@ktu.edu.kz,
KALYTKA Valery, PhD, Associate Professor, kalytka@mail.ru,
***KALININ Alexey**, PhD, Head of Department, a.kalinin@ktu.edu.kz,
SAVCHENKO Natalia, Master's Degree, Senior Lecturer, sav_nata@mail.ru,
 NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56,
 Karaganda, Kazakhstan,
 *corresponding author.

Abstract. The issue of increasing the thermal efficiency of boiler units through the use of fuel mixtures is considered. A calculation method for the heat capacity of such mixtures, considering component ratios, is presented. The study includes the calculation of burner thermal power using different proportions of coal, methane, and hydrogen. A transition to conventional fuel units was made, allowing for standardized calculations. A graphical representation of the relationship between component consumption and required power is provided. Parameter ranges ensuring the rated burner power are established. The results are applicable for optimizing combustion processes in energy installations.

Keywords: energy resources, conventional fuel, fuel mixtures, heat capacity, burner thermal power, energy efficiency, combustion optimization, combined combustion.

REFERENCES

1. Verstin N.A. Formirovanie variantov razvitiya teploenergetiki strany s uchetom kompleksnoj harakteristiki ee sostoyaniya (na primere Kazahstana) // Ekonomika Central'noj Azii. 2024. Tom 8. № 1. Pp. 11-28. DOI: 10.18334/asia.8.1.120724.
2. Laldzhebaev M., Isaev R., Sauhimov A. Vozobnovlyaemye istochniki energii v Central'noj Azii: potencial, ispol'zovanie, perspektivy i bar'ery // Vysshaya shkola razvitiya Universiteta Central'noj Azii. 2022. № 71. Pp. 1-27. DOI: 10.2139/ssrn.3516826.
3. Litvin A.M. Osnovy teploenergetiki. 7-e izd., pererab. i dop. Moscow: Energiya, 1973. 168 p.
4. Sokolov B. A. Kotel'nye ustanovki, rabotayushchie na tverdom toplive. Moscow: Energiya, 2013. 666 p.
5. Hzmalyan D.M. Kagan YA.A. Teoriya goreniya i topochnye ustrojstva. Moscow: Energiya, 1976. 488 p.
6. OOO «Sibenergomash – BKZ». Svodnaya tablica rezul'tatov raschetov / TEC-1. AO «Astana-Energiya». Astana, 2018. 25 p.