

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/GMYR4462>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/UOJD6207>

***В. Л. Исаев¹, В. А. Калытка²,
С. Н. Камарова³, Е. Г. Нешина⁴**

^{1,2,4}Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда;

³Қарагандинский индустриальный университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1187-4638>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3232-1285>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

*e-mail: cfekt.rfvfhjdf@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА УГОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С УЧЁТОМ ОБОБЩЁННОГО ГРАФИКА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

В статье представлен обоснованный подход к формированию и планированию расхода угольной смеси, предназначенной для сжигания на тепловых электрических станциях (ТЭС), с учётом обобщённых графиков теплопотребления для городов Казахстана. Основой для расчётов послужили характерные климатические параметры регионов и показатели продолжительности тепловой нагрузки. Методика включает моделирование состава рабочей топливной смеси, сформированной из двух или трёх типов углей, отобранных на основе показателей их удельной теплотворной способности в рабочем состоянии.

Актуальность статьи связана с необходимостью повышения эффективности теплоснабжения в городах Казахстана за счёт рационального использования угля. Предложенный метод формирования угольных смесей с учётом климатических условий и графиков теплопотребления позволяет оптимизировать состав топлива, обеспечить стабильную работу ТЭС и сократить затраты.

Полученные результаты позволяют значительно повысить эффективность топливоподачи и адаптировать состав смеси к нормативным характеристикам топлива, обеспечивая при этом

согласованность с оптимальными режимами горения в топочных устройствах котлов. Такой подход способствует максимальному извлечению теплоты и её рациональному использованию в условиях изменяющихся климатических нагрузок, тем самым укрепляя устойчивость и экономическую обоснованность функционирования систем теплоснабжения в отопительный период.

Ключевые слова: тепловая нагрузка, рабочая смесь, теплотворная способность, рабочая масса, климатические параметры, устойчивость теплоснабжения.

Введение

Моделирование комбинированного топлива для котлов ТЭЦ, заменяющего нормативное, отражает стремление к экономии и эффективному использованию углей, заменяя дорогостоящие или труднодоступные виды топлива. Замена марки угля и топочных характеристик может ухудшить топочные процессы, снизив эффективность выработки пара для производства тепловой и электрической энергии. Методологический подход к прогнозированию запасов условного топлива и планированию метеорологической нагрузки в отопительный период с учетом региональной специфики. Практика прогнозирования запасов условного топлива и планирования метеорологической нагрузки на отопительный период важна для учета региональных особенностей и оптимизации теплоэнергетических ресурсов. Задача расчета расхода условного топлива на основе обобщенных графиков продолжительности тепловой нагрузки актуальна для обеспечения энергоэффективности в городах страны. Основной целью данной статьи является обоснование рецептур смесей углей для замены нормативного топлива, подходящих для теплофикации городов Казахстана и прогнозирования годового расхода условного топлива [1, С. 43].

Материалы и методы

Конкретизация выбора городов была основана на показателях минимальных температур в течение отопительного сезона, так как именно они определяют верхнюю границу температурной генерации на тепловых электростанциях, а также оказывают влияние на величину удельного расхода условного топлива при производстве тепловой энергии. Прежде чем приступить к построению графика длительности действия тепловой нагрузки, была выполнена разработка зависимостей между тепловой нагрузкой и температурой наружного воздуха, учитывающая различные типы теплопотребления и фиксированные значения температуры окружающей среды: момент начала отопительного периода, расчетные температуры для систем отопления и вентиляции. Далее, на основе годовых графиков

продолжительности действия тепловой нагрузки, характерных для разных городов, был сформирован обобщённый усреднённый график [2, с. 55]. Для его построения применялись признанные расчетные подходы, обеспечивающие надёжность и обоснованность полученного результата [2, С. 56]; [3], С. 87].

Результаты и обсуждение

Одним из ключевых направлений повышения эффективности топливоподачи на тепловых электрических станциях (ТЭС) является рациональное формирование топливных смесей с учётом их теплотворной способности. Для достижения характеристик, приближенных к нормативному условному топливу, предлагается использовать аналитический подход к расчёту рецептур смесей на основе доступных марок угля, включая Карагандинский уголь марки К. Критерием оптимальности состава смеси выступает относительный показатель теплотворной способности в рабочем состоянии $Q_{рн}$, определяемый как отношение низшей теплоты сгорания конкретной марки угля к максимальному значению этого параметра среди всех углей, используемых в расчётах [4, С. 98]. В качестве эталонного значения принят показатель Кузнецкого угля, для которого $Q_{рн}^0 = 1$, соответствующий теплотворной способности 22,84 МДж/кг. Другие марки углей характеризуются пониженными значениями $Q_{рн}$ приведёнными в таблице 1.

Для получения смеси, угольная пыль различных марок дозируется в соответствии с расчетной рецептурой. Дозирование осуществляется известными пылевыми дозаторами, а процесс подготовки включает индивидуальное измельчение каждой марки угля в шаровых барабанных мельницах. Это позволяет обеспечить стабильные параметры тонкости помола и равномерность смешивания [5, С. 2124].

Таблица 1 – Характеристики разных марок углей

Уголь	Относительный показатель $Q_{рн}$	$Q_{рн}^0$, МДж/кг
Кузнецкий марка Д, класс Р,СШ	1	22,84
Шубаркольский марка Д, класс Р	0,985	22,5
Карагандинский марка К	0,939	21,33
Экибастузский марка СС, класс Р	0,734	16,76
Карагандинский(низкосортный) марка К, класс ШМ	0,712	16,26

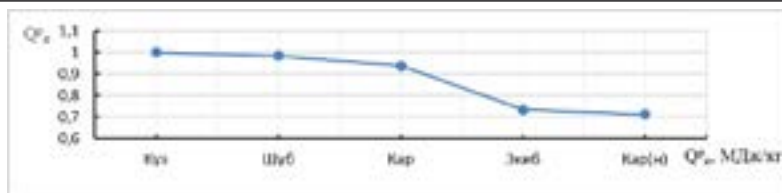


Рисунок 1 – Качество угля по относительному показателю.

В рамках настоящего исследования поставлена задача формирования топливной смеси с относительным показателем теплоты сгорания $Q_{рн}$ приближенным к значению, характерному для Карагандинского угля (0,939). Были проведены расчёты для смеси 2-х и 3-х углей угольных композиций, составленных из углей различных марок, с варьированием массовых долей компонентов в диапазоне от 0,15 до 0,80. Подбор соотношений осуществлялся таким образом, чтобы итоговая смесь обеспечивала достижение заданного значения $Q_{рн} = 0,939$. На основе полученных расчётов аналитически выявлены функциональные зависимости между процентным содержанием компонентов смеси и результирующим значением относительного показателя теплоты сгорания. Установленные зависимости позволяют формировать угольные смеси с допустимым отклонением в пределах $\pm 0,05$ от целевого значения.

Расчет низшей теплоты сгорания для смеси из двух углей. Расчет смеси углей будет производиться с использованием методов [6, Р. 77; 7], для двух углей по критерию низшей теплоты сгорания рабочей массы 21,33 Дж/кг без учета физико-химического состава по сере и азоту.

Кузнцкий (с показателем Π_{y1}), Карагандинский низкосортный (с показателем Π_{y2}) критерий искомой смеси двух топлив должен стремиться к 0,939:

$$\frac{\Pi_{y1} + \Pi_{y2}}{2} \rightarrow 0,939 \quad (1)$$

Таблица-2 – Низшая теплота сгорания n-ого процента топлива для смеси из двух углей

Уголь	20 %	40 %	60 %	80 %
Кузнцкий	4,57	9,136	13,704	18,272
Шубаркольский	4,5	9	13,5	18
Карагандинский	4,266	8,532	12,798	17,064
Экибастузский	3,352	6,704	10,056	13,408
Карагандинский(низкосортный)	3,252	6,504	9,756	13,008

В дальнейших расчетах производится подбор смеси через процентное соотношение каждого угля в пропорциях 0,2–0,8, 0,4–0,6, 0,6–0,4, 0,8–0,2. И построение графика по расчетным относительным показателям $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$. При пересечении линий «смесь углей» и «нормативный уголь» на графике, получается смесь, подходящая для замены нормативного угля для котлов ТП-13. В дальнейшем по графику берется точное соотношение смеси.

Таблица 3 – Смесь двух углей Шубарколь- Экибастуз

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$	17,908	19,056	20,204	21,352
$Q_{\text{рi}}^{\text{н}} / Q_{\text{рmax}}^{\text{н}}$	0,784	0,834	0,884	0,935

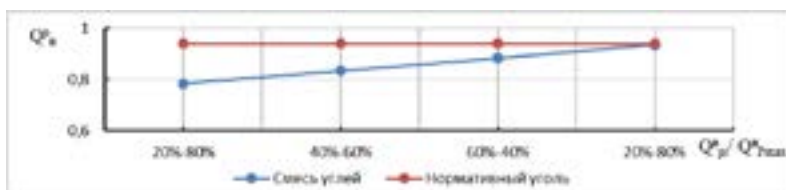


Рисунок 2 – Смесь двух углей Шубарколь-Экибастуз

Таблица 4 – Смесь двух углей Кузнецкий-Шубаркольский

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$	22,57	22,636	22,704	22,772
$Q_{\text{рi}}^{\text{н}} / Q_{\text{рmax}}^{\text{н}}$	0,988	0,991	0,994	0,997

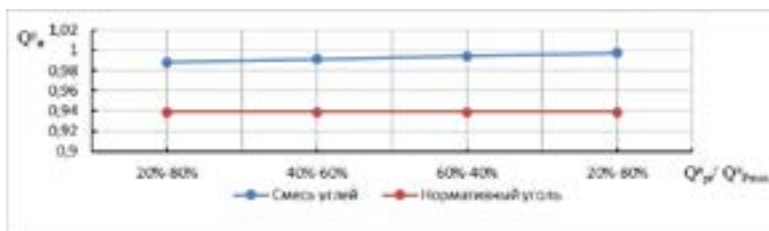


Рисунок 3 – Смесь двух углей Кузнецкий-Шубаркольский

Таблица 5 – Смесь двух углей Шубаркольский–Карагандинский (низкосортный)

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$	17,508	19,056	20,004	21,252
$Q_{\text{рi}}^{\text{н}} / Q_{\text{рmax}}^{\text{н}}$	0,766	0,834	0,876	0,93

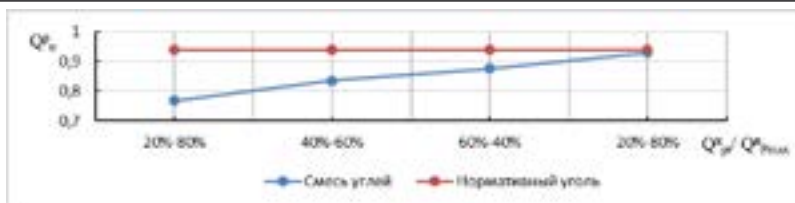


Рисунок 4 – Смесь двух углей Шубаркольский-Карагандинский (низкосортный)

Таблица 6 – Смесь двух углей Шубаркольский-Карагандинский

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
Q_p^n	21,564	21,798	22,032	22,262
$Q_p^n / Q_p^n_{max}$	0,944	0,954	0,964	0,975

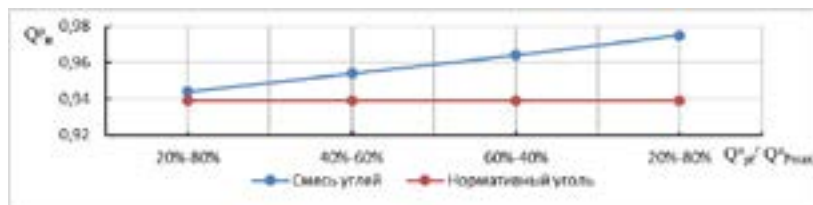


Рисунок 5 – Смесь двух углей Шубаркольский-Карагандинский

Таблица 7 – Смесь двух углей Кузнецкий-Карагандинский

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
Q_p^n	21,634	21,934	22,236	22,538
$Q_p^n / Q_p^n_{max}$	0,947	0,96	0,973	0,986

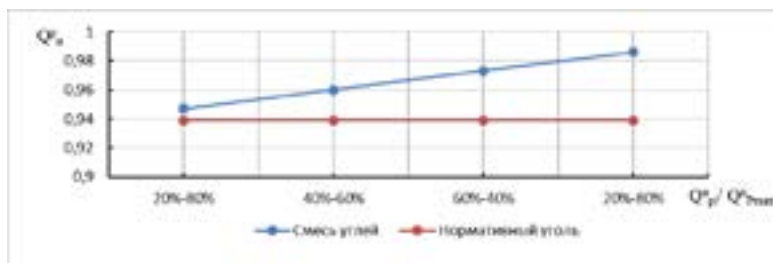


Рисунок 6 – Смесь двух углей Кузнецкий-Карагандинский

Таблица 8 – Смесь двух углей Кузнецкий-Экибастузский

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
Q_p^p	17,978	19,192	20,408	21,624
Q_p^u / Q_{pmax}^u	0,787	0,84	0,893	0,946

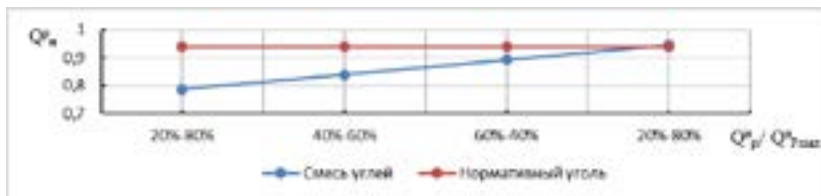


Рисунок 7 – Смесь двух углей Кузнецкий-Экибастузский

Таблица 9 – Смесь двух углей Кузнецкий-Карагандинский (низкосортный)

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
Q_p^p	17,578	18,892	20,208	21,524
Q_p^u / Q_{pmax}^u	0,769	0,827	0,885	0,942

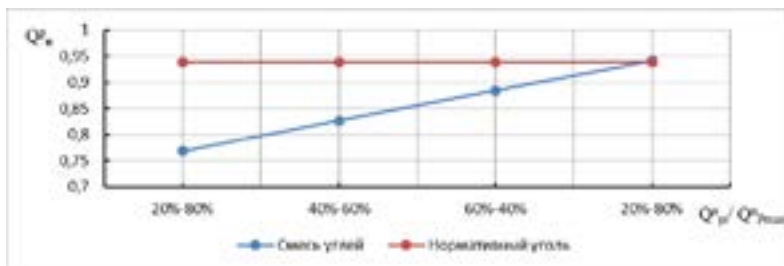


Рисунок 8 – Смесь двух углей Кузнецкий-Карагандинский (низкосортный)

Таблица 10 – Смесь двух углей Карагандинский-Экибастузский

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
Q_p^p	17,674	18,588	19,302	20,416
Q_p^u / Q_{pmax}^u	0,774	0,814	0,854	0,893

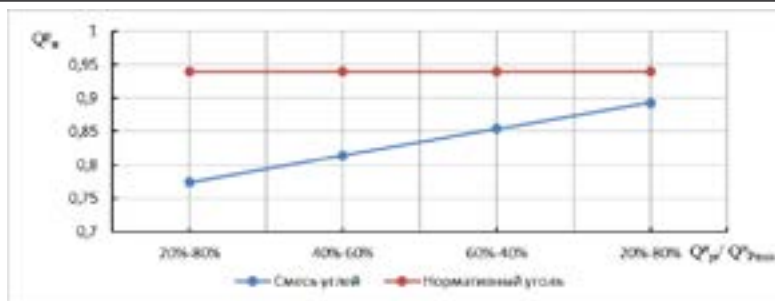


Рисунок 9 – Смесь двух углей Карагандинский-Экибастузский

Таблица-11 – Смесь двух углей Экибастузский-Карагандинский (низкосортный)

	20 %-80 %	40 %-60 %	60 %-40 %	80 %-20 %
Q^p_n	16,36	16,46	16,56	16,66
Q^H_{pi} / Q^H_{pmax}	0,716	0,72	0,725	0,729

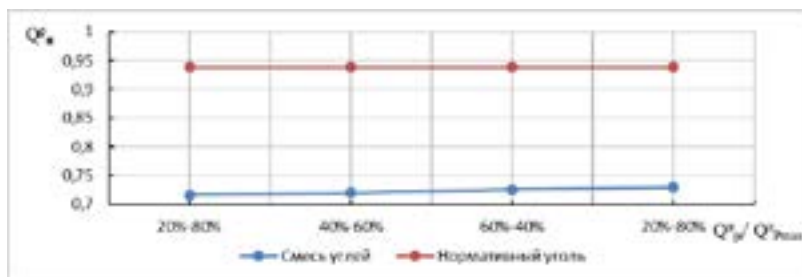


Рисунок 10 – Смесь двух углей Экибастузский-Карагандинский (низкосортный)

После расчетов было получено 4 смеси, удовлетворяющие показателю низшей теплоты сгорания Q^p_n Карагандинского угля равной 0,937 относительного показателя:

- 1 Шубаркольский уголь – Карагандинский низкосортный уголь в соотношении 83 %–17 %;
- 2 Кузнецкий уголь – Экибастузский уголь в соотношении 76 %–24 %;
- 3 Кузнецкий уголь – Карагандинский низкосортный уголь в соотношении 77 %–23 %;
- 4 Шубаркольский уголь - Экибастузский уголь в соотношении 80 %–20 %.

Расчет низшей теплоты сгорания для смеси из трех углей [6, р. 77], для трех углей по критерию низшей теплоты сгорания рабочей массы 21, 33 Дж/кг без учета содержания серы и азота в физико-химическом составе.

Кузнецкий (с показателем Π_{y1}), Карагандинский (с показателем Π_{y3}), Карагандинский низкосортный (с показателем Π_{y3}) критерий искомой смеси двух топлив должен стремиться к 0,939:

$$\frac{\Pi_{y1} + \Pi_{y3} + \Pi_{y3}}{3} \rightarrow 0,939 \quad (2)$$

Таблица 12 – Низшая теплота сгорания n-ого процента топлива для смеси из трех углей

Уголь	15 %	25 %	33 %	50 %	70 %
Кузнецкий	3,426	5,71	7,613	11,42	15,988
Шубаркольский	3,375	5,625	7,5	11,25	15,75
Карагандинский	3,199	5,332	7,039	10,665	14,931
Экибастузский	2,514	4,19	5,587	8,38	11,732
Карагандинский(низкосортный)	2,439	4,065	5,42	8,13	11,382

Таблица – 13 – Смесь трех углей Кузнецкий-Шубаркольский-Карагандинский

	(15 - 15 - 70)%	(15 - 70 - 15) %	(70 - 15 - 15) %	(33 - 33 - 33)%	(25-25-50) %	(25 - 50 - 25) %	(50-25-25) %
Q_p^u	21,732	22,375	22,562	22,152	22	22,292	22,377
Q_p^u / Q_{pmax}^u	0,951	0,979	0,988	0,97	0,963	0,976	0,98

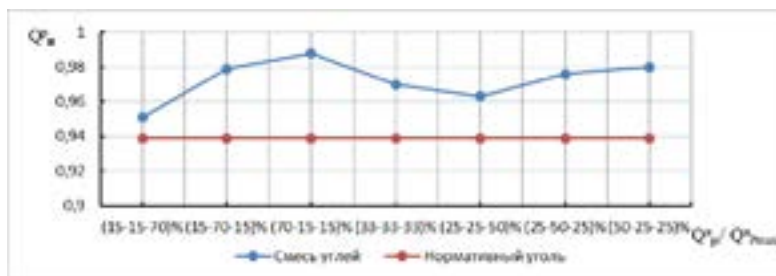


Рисунок 11 – Смесь трех углей Кузнецкий-Шубаркольский-Карагандинский

Таблица 14 – Смесь трех углей Кузнецкий-Шубаркольский-Экибастузский

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p	18,533	21,69	21,877	20,7	19,715	21,15	21,235
Q_p / Q_{pmax}	0,811	0,949	0,958	0,906	0,863	0,926	0,929

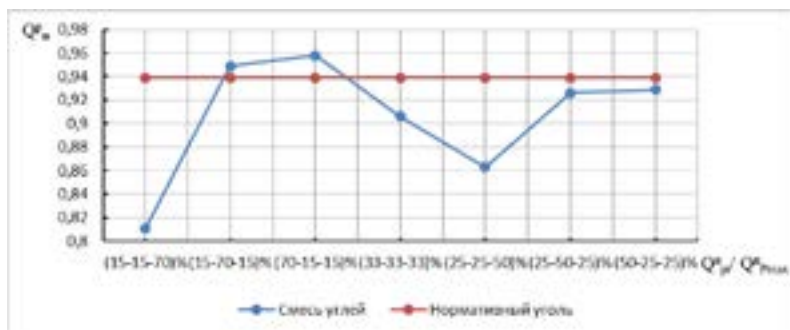


Рисунок 12 – Смесь трех углей Кузнецкий-Шубаркольский-Экибастузский

Таблица 15 – Смесь трех углей Кузнецкий-Шубаркольский-Карагандинский (низкосортный)

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p	18,183	21,615	21,802	20,533	19,465	21,025	21,11
Q_p / Q_{pmax}	0,796	0,946	0,953	0,899	0,852	0,92	0,924

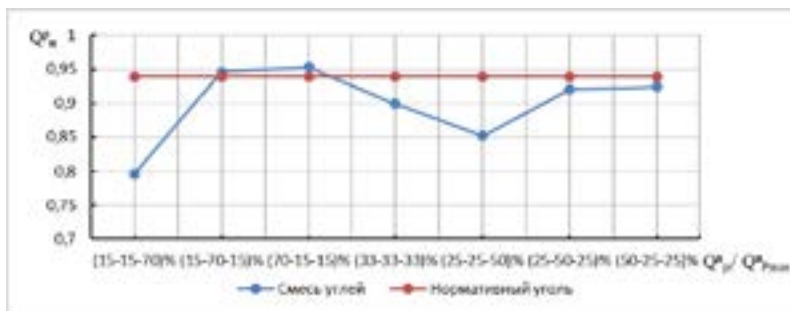


Рисунок 13 – Смесь трех углей Кузнецкий-Шубаркольский-Карагандинский (низкосортный)

Таблица 16 – Смесь трех углей Шубаркольский-Карагандинский-Экибастузский

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p	18,306	20,82	21,463	20,126	19,087	20,48	20,772
Q_p / Q_{pmax}	0,801	0,911	0,939	0,881	0,835	0,896	0,909

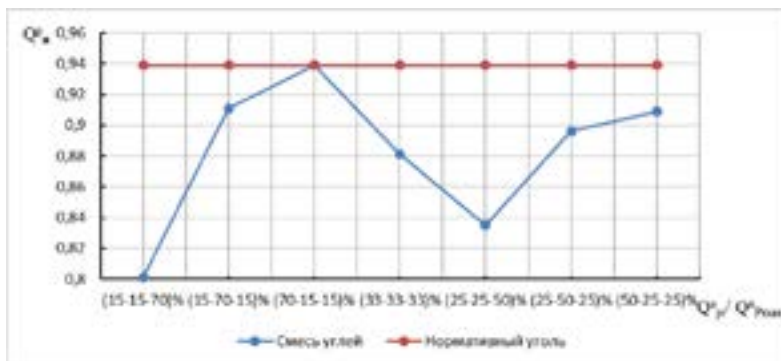


Рисунок 14 – Смесь трех углей Шубаркольский-Карагандинский-Экибастузский

Таблица 17 – Смесь трех углей Шубаркольский- Карагандинский- Карагандинский (низкосортный)

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p	17,956	20,745	21,388	19,959	19,087	20,335	20,647
Q_p / Q_{pmax}	0,786	0,908	0,936	0,874	0,836	0,891	0,903

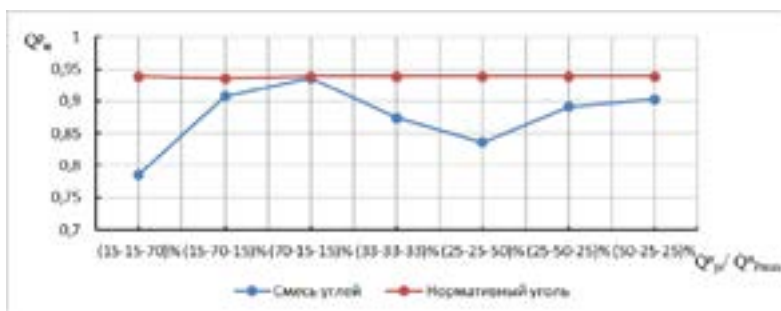


Рисунок 15 – Смесь трех углей Шубаркольский-Карагандинский-Карагандинский (низкосортный)

Таблица 18 – Смесь трех углей Кузнецкий-Карагандинский- Экибастузский

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p	18,357	20,871	21,701	20,239	19,422	20,535	20,942
Q_p / Q_{pmax}	0,803	0,913	0,950	0,886	0,85	0,899	0,916

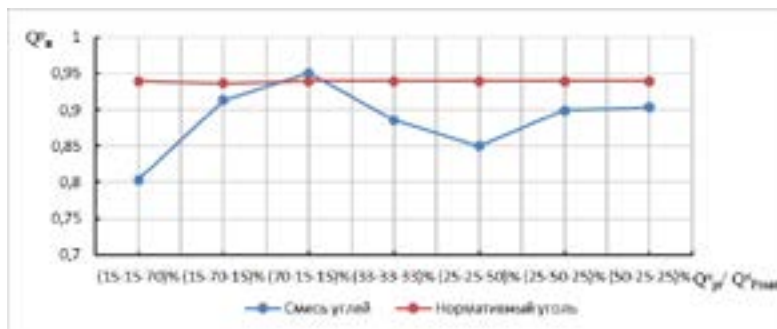


Рисунок 16 – Смесь трех углей Кузнецкий-Карагандинский-Экибастузский

Таблица 19 – Смесь трех углей Кузнецкий-Карагандинский- Карагандинский (низкосортный)

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p	18,007	20,796	21,626	20,072	19,172	20,44	20,817
Q_p / Q_{pmax}	0,788	0,91	0,946	0,879	0,839	0,895	0,911

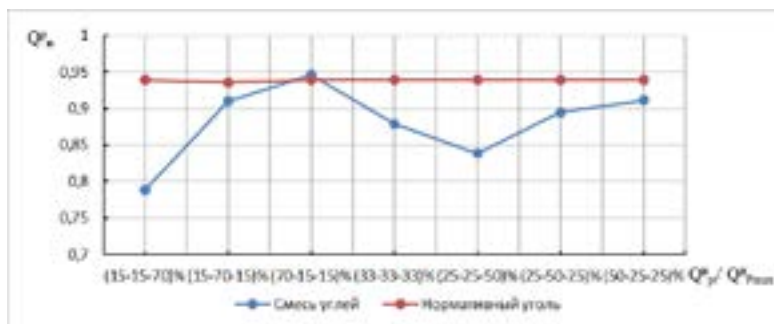


Рисунок 17 – Смесь трех углей Кузнецкий-Карагандинский-Карагандинский (низкосортный)

Таблица 20 – Смесь трех углей Кузнецкий-Экибастузский- Карагандинский (низкосортный)

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p^u	17,322	17,597	20,941	18,62	18,03	18,155	19,675
Q_p^u / Q_{pmax}^u	0,758	0,77	0,916	0,815	0,789	0,794	0,861

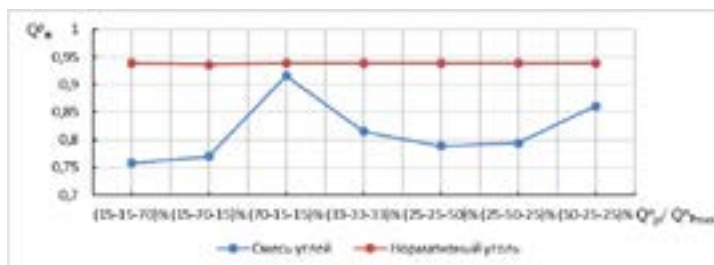


Рисунок 18 – Смесь трех углей Кузнецкий-Экибастузский- Карагандинский (низкосортный)

Таблица 21 –Смесь трех углей Шубаркольский-Экибастузский- Карагандинский (низкосортный)

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
Q_p^u	17,271	17,546	20,703	18,507	17,945	18,07	19,505
Q_p^u / Q_{pmax}^u	0,756	0,768	0,906	0,81	0,786	0,791	0,853

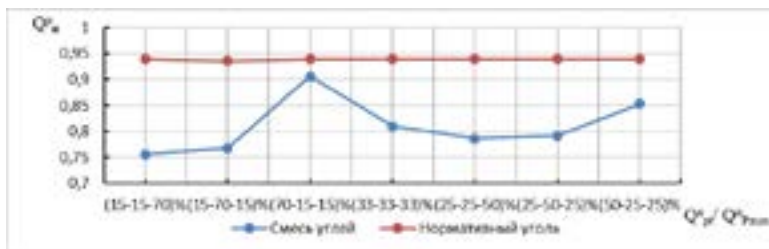


Рисунок 19 – Смесь трех углей Кузнецкий-Экибастузский- Карагандинский (низкосортный)

Таблица 22 – Смесь трех углей Карагандинский-Экибастузский- Карагандинский (низкосортный)

	(15-15-70)%	(15-70-15)%	(70-15-15)%	(33-33-33)%	(25-25-50)%	(25-50-25)%	(50-25-25)%
--	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

$Q_{\text{н}}$	17,095	17,37	19,884	18,046	17,652	17,777	18,92
$Q_{\text{н}} / Q_{\text{нmax}}$	0,748	0,76	0,87	0,79	0,773	0,778	0,828

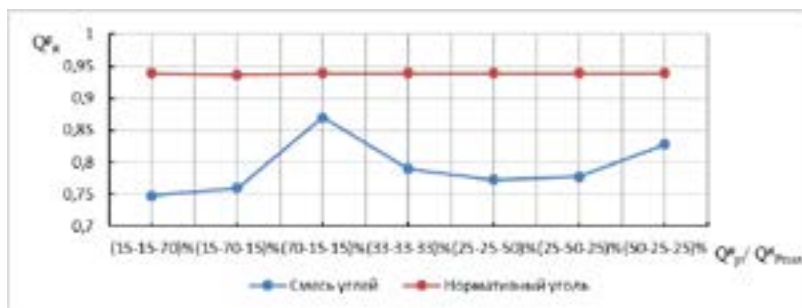


Рисунок 20 – Смесь трех углей Карагандинский-Экибастузский-Карагандинский (низкосортный)

После расчетов было получено 9 смеси удовлетворяющие показателю низшей теплоты сгорания $Q_{\text{н}}$ Карагандинского угля равной 0,937 относительного показателя:

Кузнецкий уголь – Шубаркольский уголь – Экибастузский уголь в соотношении 15 %–65 %–20 %, 62%–15 %–23 %.

Кузнецкий уголь – Шубаркольский уголь – Карагандинский низкосортный уголь в соотношении 15 %–66 %–19%, 70 %–10 %–20 %, 50 %–30 %–20 %.

Шубаркольский уголь – Карагандинский уголь – Экибастузский уголь в соотношении 60 %–26 %–14 %.

Кузнецкий уголь – Карагандинский уголь – Экибастузский уголь в соотношении 71 %–9 %–20 %, 65 %–15 %–20 %.

Кузнецкий уголь – Карагандинский уголь – Карагандинский низкосортный уголь в соотношении 71 %–10 %–19 %.

Смешение отдельных марок угля осуществляется непосредственно на складе ТЭС, перед подачей в мельницы и пылеприготовление с учетом текущего графика тепловой нагрузки. Такой подход позволяет гарантировать однородность смеси до стадии помола и исключает необходимость доизмельчения на котле.

Требуется установить дополнительно для дозирования силосы – накопители для каждой марки угля, соединенной автоматизированной системой управления. Необходимо в раз смену проводить лабораторные проверки проб по ГОСТ 147-2013 (ISO 1928:2009) «Твердое топливо минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания.

Смесь угольной пыли снижает разброс частиц по размерам, что будет повышать качество тонкодисперсного помола и увеличивать степень тонкости. Электроэнергия, затрачиваемая на подготовку угольной пыли и системы дозирования, составляет порядка 0,05–0,1 % от выработки станции ($\approx 0,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т смеси}$), дополнительного расхода не требуется, так как смешивание производится в сухом виде.

С учетом длительности тепловой нагрузки возможно обоснование рациональных угольных композиций для замены стандартного вида топлива, которые подходят для использования в системах теплофикации городов Казахстана.

Построение зависимости тепловой нагрузки от показателей наружной температуры воздуха позволяет формировать стратегии обеспечения потребностей в тепле по различным категориям теплопотребления при изменяющихся температурных условиях – от начала отопительного сезона до расчетных температур, применяемых при проектировании систем отопления и вентиляции [8, с. 55].

Аналитические данные, полученные в ходе исследований, способствуют совершенствованию процессов сжигания угля и рациональному использованию выделяемой тепловой энергии [9, с. 275], что особенно важно для поддержания устойчивой работы энергосистем в условиях сезонных климатических колебаний и увеличенных тепловых нагрузок в зимний период в городах с ТЭЦ.

Такие подходы позволяют не только прогнозировать необходимые объемы топлива на предстоящий отопительный сезон, но и производить расчет эквивалента условного топлива в соответствии с разработанными рецептурами топливных смесей.

В процессе анализа отопительных потребностей крупных городов республики были учтены климатические особенности населенных пунктов: применялись параметры температурных режимов и длительности отопительного сезона для пяти наиболее холодных и пяти самых теплых городов Казахстана [10, с. 9]. Дополнительно был построен сопоставительный график, отражающий средние температурные значения января в этих городах, что позволило выделить региональные различия в нагрузках на теплоснабжение.

Таблица 23 – Климатологические параметры для самых холодных и самых теплых городах Казахстана [10, с. 9]

Город	Абсолютная минимальная температура (°C)	Температура воздуха на наиболее холодной пятидневки (°C)	Температура в январе (°C)	Продолжительность отопительного периода
Петропавловск	-45,0	-37,8	-16,8	25.09-01.05
Усть-Каменогорск	-48,9	-37,3	-15,8	04.10-24.04
Павлодар	-45,5	-34,6	-16,6	02.10-25.04
Кокшетау	-44,8	-33,7	-14,9	28.09-30.04
Астана	-51,6	-31,2	-15,1	29.09-26.04
Туркестан	-38,6	-20,6	-3,9	28.10-24.03
Алматы	-37,7	-20,1	-5,3	22.10-03.04
Актөбе	-48,5	-15,1	-13,3	04.10-20.04
Ақтау	-27,7	-14,9	-1,2	07.11-02.04
Шымкент	-30,3	-14,3	-1,5	06.11-22.03

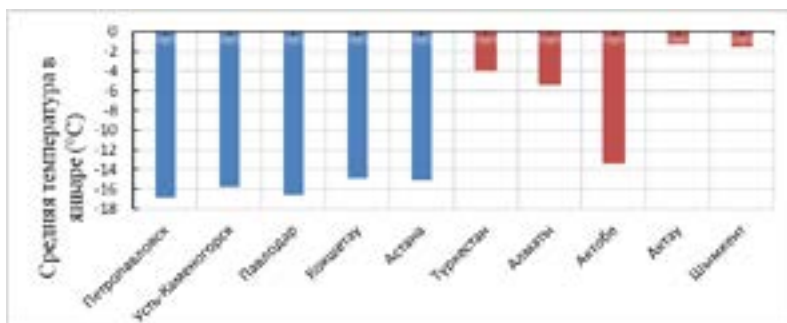


Рисунок 21 – Сравнительный анализ января: от самых тёплых до самых холодных городов Казахстана

Выводы

В настоящем исследовании анализируются пути повышения энергетической эффективности угольного топлива, применяемого на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) в условиях Республики Казахстан. Основное внимание уделено вопросам адаптации характеристик топливной смеси к специфике климатических условий региона, а также совершенствованию процессов подготовки и сжигания угля с целью достижения более полного теплового использования топлива и снижения технологических потерь. В центре внимания – создание моделей смесей углей различных марок, включая Кузнецкий, Шубаркольский, Карагандинский и Экибастузский, с

целью повышения их энергетической ценности и улучшения параметров тепловых процессов в холодный сезон. Авторы выполнили анализ различных вариантов комбинирования указанных углей, варьируя их соотношение, что позволило выявить более рациональные топливные составы. Кроме того, в статье представлены сводные графики, отражающие продолжительность климатических нагрузок для ряда казахстанских городов. Эти данные используются для учета погодных условий при прогнозировании и планировании потребления топлива на ТЭЦ в отопительный период.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Жданова, Н. К., Гончаров, В. И.** Методы оптимизации расхода топлива на ТЭЦ [Текст] // Энергетические технологии и ресурсы, – 7 (1). – 2022. – С. 42–49.

2 **Манюк, В. И., Каплинский, Ю. И., Хиж, Е. Б., Манюк, А. И., Ильин, В. К.** Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей [Текст]. – М. : Стройиздат, – 2018. – 432 с.

3 **Сафаров, А. П.** Сборник задач по теплотфикации и тепловым сетям [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 2015. – 232 с.

4 **Маркина, Т. М., Морозова, Е. И.** Моделирование тепловых нагрузок в условиях переменчивого климата [Текст] // Теплоэнергетика, – 59(2). – 2020. – С. 59–66.

5 **Vasquez, R., Rodríguez, A. L.,** Coal blends and their application to power plants [Текст] // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 41(17). – 2019. – P. 2122–2134.

6 **Никифоров, И. В., Павлов, В. В.** Анализ теплоснабжения в промышленных регионах [Текст] // Журнал энергетических исследований – 28(4). – 2021. – С. 77–83.

7 **Kuznetsov G. V., Yankovsky S. A., A. A. Tolokolnikov, Zenkov A. V., Cherednik I. V.** Conditions and characteristics of mixed fuel granules ignition based on coal and finely dispersed wood [Текст] // Energy Volume 194. – 1 March, – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116896>

8 **Исаев В. Л.** Расход условного топлива по обобщенному графику продолжительности тепловой нагрузки городов ЕАЭС [Текст] // Научный журнал. Механика и технологии – 2021. – №3(73). – С. 50–57.

9 **Петров, А. Г., Казанцев, Р. В.** Прогнозирование расхода угля для отопительных сезонов [Текст] // Теплотехника. – 54(4). – 2016. – С. 273–281.

10 СП РК 2.04-01-2017 Строительная климатологи, Астана. – 2017. Дата введения – 2017–12–20.

REFERENCES

- 1 **Zhdanova, N. K., Goncharov, V. I.** Metody optimizacii rashoda topliva na TETS [Methods for optimizing fuel consumption at a thermal power plant] [Text] // Energy Technologies and Resources. – 7(1). – 2022. – P. 42–49.
- 2 **Manyuk, V. I., Kaplinskiy, Yu. I., Khizh, E. B., Manyuk, A. I., Il'in, V. K.** Naladka i ekspluatatsiya vodyanykh teplovykh setej [Installation and operation of water heating networks] [Text]. – М. : Strojizdat, – 2018. – 432 p.
- 3 **Safonov, A. P.** Sbornik zadach po teplotifikacii i teplovym setyam [Collection of tasks on heating and heating networks] [Text]. – М. : Energoatomizdat, – 2015. – 232 p.
- 4 **Markina, T. M., Morozova, E. I.** Modelirovanie teplovykh nagruzok v usloviyakh peremenchivogo klimata [Modeling of thermal loads in a changeable climate] [Text] // Thermal power engineering, – 59(2). – 2020. – P. 59–66.
- 5 **Vasquez, R., Rodriguez, A. L.** Coal blends and their application to power plants [Text] // Energy Sources. – Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 41(17). – 2019. – P. 2122–2134.
- 6 **Nikiforov, I. V., Pavlov, V. V.** Analiz teplosnabzheniya v promyshlennyykh regionakh [Analysis of heat supply in industrial regions] [Text] // Journal of Energy Research, 28(4). – 2021. – P. 77–83.
- 7 **Kuznetsov, G. V., Yankovsky S.A., A. A. Tolokolnikov., Zenkov A. V., Cherednik I. V.** Conditions and characteristics of mixed fuel granules ignition based on coal and finely dispersed wood [Текст] // Energy Volume 194. – 1 March, – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116896>
- 8 **Isaev, V. L.** Raskhod uslovnogo topliva po obobshchennomu grafikhu prodolzhitel'nosti teplovoj nagruzki gorodov EAES [The consumption of conventional fuel according to the generalized schedule of the duration of the heat load of the cities of the EAEU] [Text] // Scientific Journal. Mechanics and Technologies. – 2021. – No. 3(73). – P. 50–57.
- 9 **Petrov, A. G., Kazantsev, R. V.** Prognozirovanie raskhoda uglya dlya otopitel'nykh sezonov [Forecasting coal consumption for heating seasons] [Text] // Thermal engineering, – 54(4). – 2016. – P. 273–281.
- 10 SP RK 2.04-01-2017. Stroitel'naya klimatologiya [Construction Climatology] [Text]. – Astana. – 2017. The date of introduction – 2017–12–20.

19.02.25 ж. баспаға түсті.

07.08.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*В. Л. Исаев¹, В. А. Калытка², С. Н. Камарова³, Е. Г. Нешина⁴

^{1,2,4}Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

³Қарағанды индустриалды университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

Поступило в редакцию 19.02.25.

Поступило с исправлениями 07.08.25.

Принято в печать 05.12.25.

ЖАЛПЫЛАНҒАН ЖЫЛУ ТҰТЫНУ ГРАФИГІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, КӨМІР ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫН МОДЕЛЬДЕУ

Мақалада Қазақстан қалалары үшін жылу тұтынудың жалпыланған кестелерін ескере отырып, жылу электр станцияларында (ЖЭС) жағуға арналған көмір қоспасының шығынын қалыптастыруға және жоспарлауға негізделген тәсіл ұсынылған. Есептеулерге аймақтарға тән климаттық параметрлер мен жылу жүктемесінің ұзақтығы алынды. Әдістеме жұмыс күйіндегі меншікті жану жылуы бойынша таңдалған екі немесе үш түрлі көмір түрінен тұратын жұмыс отынының құрамын модельдеуді қамтиды.

Мақаланың өзектілігі Қазақстан қалаларында көмірді ұтымды пайдалану арқылы жылумен жабдықтаудың тиімділігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Климаттық жағдайлар мен жылу тұтыну кестелерін ескере отырып, көмір қоспаларын қалыптастыру әдісі отын құрамын оңтайландыруға, ЖЭС-тің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер отынмен қамтамасыз етудің тиімділігін едәуір арттыруға және қоспа құрамын отынның нормативтік сипаттамаларына бейімдеуге мүмкіндік береді, бұл қазандықтардың жану құрылғыларында оңтайлы жану режимдеріне қол жеткізуге жағдай жасайды. Мұндай тәсіл жылу энергиясын барынша алуға және оны климаттық жүктемелер өзгеріп отыратын жағдайда ұтымды пайдалануға ықпал етеді, осылайша жылыту кезеңінде жылумен жабдықтау жүйелерінің тұрақтылығы мен экономикалық тиімділігін арттырады.

Кілтті сөздер: жылу жүктемесі, жұмыс қоспасы, жылу шығарғыштық қабілеті, жұмыс массасы, климаттық параметрлер, жылумен жабдықтаудың тұрақтылығы.

*V. L. Isaev¹, V. A. Kalytka² S. N. Kamarova³, E. G. Neshina⁴

^{1,2,4}Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

³Karaganda industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau.

Received 19.02.25.

Received in revised form 07.08.25.

Accepted for publication 05.12.25.

MODELING OF COAL BLEND COMPOSITION CONSIDERING THE GENERALIZED HEAT DEMAND CURVE

The article presents a well-founded approach to the formation and planning of coal mixture consumption intended for combustion at thermal power plants (TPPs), taking into account generalized heat consumption schedules for cities in Kazakhstan. The calculations are based on the characteristic climatic parameters of the regions and the duration of heat load. The methodology includes modeling the composition of a working fuel mixture consisting of two or three types of coal, selected based on their specific calorific value in working condition.

The relevance of the article lies in the need to improve the efficiency of heat supply in Kazakhstan's cities through the rational use of coal. The proposed method of forming coal mixtures, considering climatic conditions and heat consumption schedules, allows for optimization of the fuel composition, ensures stable operation of TPPs, and reduces costs.

The results obtained significantly increase the efficiency of fuel supply and allow the fuel mixture to be adapted to regulatory characteristics, while ensuring compatibility with optimal combustion modes in boiler furnaces. This approach contributes to the maximum extraction and rational use of heat energy under changing climatic loads, thereby enhancing the stability and economic viability of heat supply systems during the heating period.

Keywords: heat load, working fuel blend, calorific value, working mass, climatic parameters, heat supply resilience.

Теруге 17.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4494

Сдано в набор 17.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4494

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz