

# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА



УДК 699.86

DOI:10.30724/1998-9903-2025-27-6-156-170

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В УЛАН-БАТОРЕ (МОНГОЛИЯ)

Цэрэндорж Ц.<sup>1</sup>, Ахметова И.Г.<sup>2</sup>, Султангузин И.А.<sup>1</sup>, Калякин И.Д.<sup>1</sup>, Лувсандорж Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

<sup>3</sup>Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Улан-Батор,  
Монголия

TserendorzhT@mpei.ru

**Резюме:** ЦЕЛЬ исследования – предложить более эффективный вариант сохранения тепла путем утепления ограждающих конструкций зданий. Проведен анализ расчетов с помощью программного обеспечения PHPP (Passive House Planning Package). В результате проведенных исследований и расчетов было выяснено, что утепление ограждающих конструкций может существенно снизить потребление энергии на отопление. Проанализировано влияние этих мер на топливно-энергетический баланс Монголии. ЗНАЧИМОСТЬ. Научная значимость исследования заключается в комплексной оценке влияния утепления ограждающих конструкций зданий на снижение теплопотерь, энергопотребления и выбросов CO<sub>2</sub> в условиях Монголии. МЕТОДЫ. В исследовании использованы методы аналитического и расчетного характера. Для оценки тепловых потерь и потенциальной экономии энергии применялось программное обеспечение PHPP, позволяющее моделировать энергетические характеристики зданий с различными вариантами толщины утепления ограждающих конструкций. РЕЗУЛЬТАТЫ. Все существующие старые здания относятся к классу энергоэффективности D. Для достижения энергоэффективности эти здания должны быть классифицированы как энергоэффективные или класса A, а все ограждения должны иметь изоляцию толщиной не менее 250 мм и коэффициентом теплопроводности 0,04 Вт/(м·К). Для панельных многоквартирных домов, при условии утепления окон энергосберегающими стеклопакетами, годовое потребление составит 133,8 ГВт·ч. Реализация этой меры могла бы сэкономить 368,6 ГВт·ч тепловую энергию и снизить 263,3 тыс. тонн CO<sub>2</sub>, что соответствует целям Парижского соглашения на 2030 год. Для кирпичных многоквартирных домов годовое потребление составит 99,1 ГВт·ч. Реализация этой меры позволит сэкономить 305,3 ГВт·ч тепловую энергию и снизить 218,2 тыс. тонн CO<sub>2</sub>. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В настоящее время годовое потребление тепла панельными зданиями в Улан-Баторе составляет 502,1 ГВт·ч (431,7 тыс. Гкал), а кирпичными – 404,4 ГВт·ч (347,7 тыс. Гкал). Этот показатель охватывает 53 процента тепловой энергии в топливно-энергетическом балансе Монголии.

**Ключевые слова:** энергоэффективность здания; удельный годовой расход; класс энергоэффективности; теплопотери; теплоизоляционный материал.

**Для цитирования:** Цэрэндорж Ц., Ахметова И.Г., Султангузин И.А., Калякин И.Д., Лувсандорж Б. Повышение энергоэффективности многоквартирных домов в Улан-Баторе (Монголия) // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 6. С. 156-170. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-6-156-170.

## IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF APARTMENT BUILDINGS IN ULAANBAATAR, MONGOLIA

Tserendorj Ts.<sup>1</sup>, Akhmetova I.G.<sup>2</sup>, Sultanguzin I.A.<sup>1</sup>, Kalyakin I.D.<sup>1</sup>, Luvsandorj B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

<sup>3</sup>Mongolian University Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

TserendorzhT@mpei.ru

**Abstract:** *THE PURPOSE* of the study was to propose a more effective option for heat conservation through the insulation of building envelopes. Calculations were analyzed using PHPP (Passive House Planning Package) software. Research and calculations revealed that insulating building envelopes can significantly reduce energy consumption for heating. The impact of these measures was analyzed on the fuel and energy balance of Mongolia. **SIGNIFICANCE.** The scientific significance of the study lies in its comprehensive assessment of the impact of insulating building envelopes on reducing heat loss, energy consumption, and CO<sub>2</sub> emissions in Mongolia. **METHODS.** The study utilized analytical and computational methods. PHPP software, which allows for the modeling of energy performance of buildings with different insulation options and envelope thicknesses, was used to assess heat loss and potential energy savings. **RESULTS.** All existing older buildings belong to energy efficiency class D. To achieve energy efficiency, these buildings must be classified as energy efficient or class A, and all building envelopes must have insulation at least 250 mm thick and a thermal conductivity of 0.04 W/(m·K). For panel apartment buildings, assuming windows insulated with energy-saving double-glazed windows, the annual consumption is calculated to be 133.8 GWh. The implementation of this measure could save 368.6 GWh of thermal energy and reduce 263.3 thousand tons of CO<sub>2</sub>, which is in line with the Paris Agreement targets for 2030. For brick apartment buildings, the annual consumption is calculated to be 99.1 GWh. Implementing this measure would save 305.3 GWh of thermal energy and reduce 218.2 thousand tons of CO<sub>2</sub>. **CONCLUSION.** Currently, the annual heat consumption of panel buildings is 502.1 GWh (431,700 Gcal), and that of brick buildings is 404.4 GWh (347,700 Gcal) in Ulaanbaatar. This figure accounts for 53 percent of the thermal energy in fuel and energy balance of Mongolia.

**Keywords:** *energy efficiency of a building; specific annual consumption; energy efficiency class; heat loss; thermal insulation material.*

**For citation:** Tserendorj Ts., Akhmetova I.G., Sultanguzin I.A., Kalyakin I.D., Luvsandorj B. Improving the energy efficiency of apartment buildings in Ulaanbaatar, Mongolia. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2025; 27 (6): 156-170. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-6-156-170.

### **Введение (Introduction)**

В развивающихся странах, таких как Монголия, где в качестве источника энергии в основном используется уголь, выбросы парниковых газов становятся основной проблемой. Объемы строительства увеличиваются с каждым годом, что, в свою очередь, увеличивает потребление тепловой энергии. По мере увеличения потребления тепловой энергии увеличивается и расход топлива. Это ведет не только к изменению климата, но также увеличивает загрязнение воздуха, которое, в свою очередь, влияет на здоровье населения.

В 2016 году Монголия ратифицировала Парижское соглашение Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Данное соглашение устанавливает цель по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> на 231 тыс. тонн к 2030 году за счет утепления панельных многоквартирных домов.

Это позволит значительно сократить выбросы углерода, вызванные сжиганием угля для получения тепловой энергии, а утепление здания – минимизировать потери тепла через ограждающие конструкции, что, в свою очередь, приведет к снижению потребности в отоплении. Результаты исследования показывают, что существует реальная возможность снизить энергетические потери и выбросы CO<sub>2</sub> в столице Монголии за счет усовершенствования строительства и отопления зданий. Улучшение качества воздуха в

городе, в свою очередь, даст возможность сделать жизнь в столице более комфортной и экологичной.

Улан-Батор – самая холодная столица в мире. Зимой наружная расчётная температура воздуха составляет  $-39^{\circ}\text{C}$  на отопление. Отопительный сезон здесь значительно продолжительнее, чем в других странах, и длится осенью, зимой и весной. Большинство зданий были построены в период с 1965 по 2000 год. Эти многоэтажные дома обладают высокими теплопотерями, что влечет за собой высокое потребление тепловой энергии [1].

В Улан-Баторе 1077 (блоков) панельных жилых домов, построенны во второй половине XX века по старым правилам (табл. 1) и расположены преимущественно в центральных частях города. Качество строительных материалов и технологий того времени было невысоким, поэтому теплоизоляционные свойства этих зданий часто оставляют желать лучшего: холодные помещения зимой и высокие счета за отопление.

В последние годы был проведен ряд исследований по оценке категорий энергоэффективности, капитального ремонта и инвестиций [2]. Также упоминается исследование [3] факторов, влияющих на энергоэффективность жилых зданий, с учетом региональных и климатических различий.

В работе рассматривается применение теплоизоляционных материалов для утепления ограждающих конструкций зданий и увеличения их толщины. Теплопроводность изоляционного материала принимается равной  $0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Для снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции используются теплоизоляционные материалы, обладающие низкой теплопроводностью. В работе [4] рассмотрены разработки технологий легких бетонов на основе диатомитовых пород.

Эти жилые дома разную этажность. Из 1077 панельных жилых домов, 34 – 12-этажные, 780 – 9-этажные и 263 – 5-этажные [5].

Таблица 1

Table 1

Количество панельных зданий по району в Улан-Баторе  
*Number of panel buildings by district in Ulaanbaatar*

Район	Количество зданий	Количество блоков	Квартиры
Баянзурх	136	285	11282
Хан-Уул	30	73	2239
Баянгол	180	293	15990
Сухбаатар	61	135	5527
Чингэлтэй	27	42	1786
Сонгинохайрхан	82	249	11092
Всего	516	1077	47916

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Также в Улан-Баторе построены не только панельные дома, но и кирпичные многоквартирные дома, которые составляют 60% всех типов зданий. Проведение теплоизоляционных работ приведет к существенной экономии тепловой энергии и улучшению комфорта проживания. Это также положительно повлияет на экологию, поскольку уменьшит выбросы в атмосферу продуктов сгорания топлива, используемого для отопления.

#### *Ограждающая конструкция многоэтажных домов в Улан-Баторе*

– Пятиэтажный дом. В Улан-Баторе старых панельных пятиэтажных многоквартирных домов насчитывается 263 блока. Один вход в здание считается одним блоком. Типовые серии<sup>1</sup> некоторых многоквартирных домов в Монголии похож на конструкцию старых зданий в России подобной серии. Материалы, использованные при строительстве, могут отличаться.

• Рисунок 1 – Серия: К7. Стены: трехслойные железобетонные панели с утеплителем – толщиной 320 мм; высота потолков: 2,5.

• Рисунок 2 – Серия: 1-511. Стены: кирпичные – толщиной 640 мм; высота потолков: 2,5. Для кирпичных домов построено 489 зданий до 2000 года.

<sup>1</sup>Источник: ЦЭНЭФ-XXI по данным сайта <http://www.kvmeter.ru>



Рис. 1. Пятиэтажный панельный дом

Fig. 1. Five-story panel building

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.



Рис. 2. Пятиэтажный кирпичный дом

Fig. 2. Five-story brick building

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

– Девятиэтажный дом. В Улан-Баторе насчитывается 780 блоков старых панельных девятиэтажных многоквартирных домов.

- Рисунок 3 – Серия: П-49. Стены и облицовка: материал внешних стен – однослойные керамзитобетонные плиты толщиной 350 мм. Внутренние стены и перекрытия – сборные железобетонные панели толщиной 160 мм. Высота потолков: 2,7.



Рис. 3. Девятиэтажный панельный дом

Fig. 3. Nine-story panel building

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.



– Двенадцатизэтажный дом. В Улан-Баторе насчитывается 263 блока старых панельных двенадцатизэтажных многоквартирных домов. Один вход в здание считается одним блоком.

- Рисунок 4 – Серия: КМС-101. Трехслойные железобетонные панели с утеплителем – толщина 300 мм; высота потолков: 2,7.

- Рисунок 5 – Серия: П-67. Наружные стены – кирпичные, толщиной 640 мм; высота потолков: 2,7.



Рис. 4. Двенадцатизэтажный панельный дом

Fig. 4. Twelve-story panel building

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.



Рис. 5. Двенадцатизэтажный кирпичный дом

Fig. 5. Twelve-story brick building

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

#### Годовое тепловое потребление для многоквартирных домов с помощью PHPP

PHPP (Passive House Planning Package) – это основное программное обеспечение, используемое для проектирования и перепроектирования зданий в соответствии с концепцией пассивного дома [6, 7]. Оно оценивает потребление энергии, обеспечивает детализированный расчет потерь тепла через ограждающие конструкции, а также оценивает эффективность их изоляции. На рисунке 6 показана модель панельного здания. Преимущество программы PHPP состоит в том, что она позволяет учитывать различные типы ограждающих конструкций здания, внутренние тепловыделения и теплопоступления от солнечной радиации, рассчитывать большое количество тепловых схем с применением тепловых насосов, газовых котлов, приточно-вытяжных установок с рекуперацией тепла, солнечных коллекторов, солнечных панелей и т. д. [8, 9].

Выражение, используемое для расчета годового потребления на отопление:

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_{Gw} \cdot (Q_S + Q_I) \quad (1)$$

где:  $Q_H$  – годовое потребление на отопление, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год);

- $Q_T$  – трансмиссионные тепловые потери, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год);
- $Q_V$  – теплопотери вентиляции, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год);
- $Q_S$  – теплоприток за счет солнечного излучения, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год);
- $Q_I$  – теплопритока за счёт внутренних тепловыделений, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год);
- $\eta_{GW}$  – коэффициент использования свободного тепла.

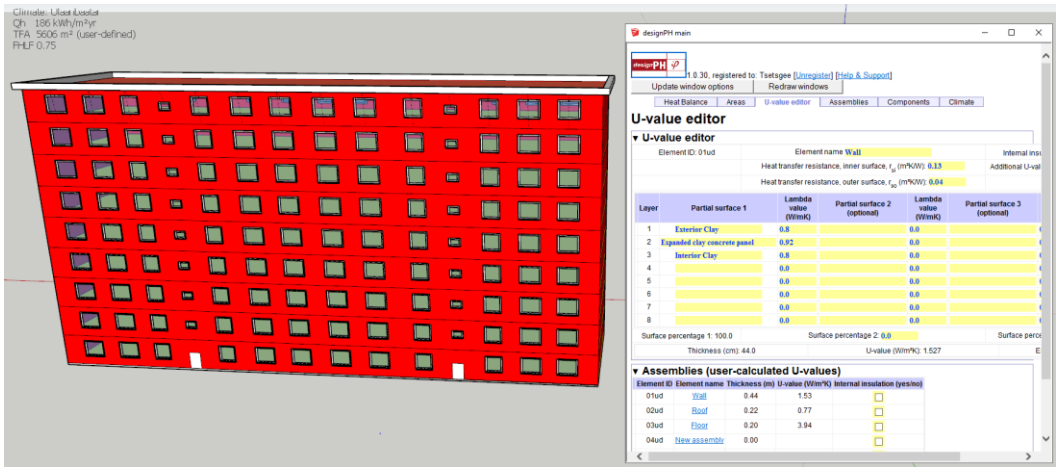


Рис. 6. Моделирование панельного здания Fig. 6. Modeling of a panel building (9th floor)  
(9 этаж)

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Таблица 2  
Table 2

Фактические показатели на отопление и вентиляцию здания  
Actual indicators for heating and ventilation of the building

№	Этаж	Тип здания	Площадь, м <sup>2</sup>	Удельный годовой расход	Тепловая нагрузка, кВт	Годовое потребление, кВт·ч/год	Количество блоков
1	5	Панель	3900	191	286	770316	4
2		Кирпич	4030	174	306	830069	4
3	9	Панель	5606	196	380	1040588	2
4	12	Панель	3780	243	327	919715	1
5		Кирпич	4704	144	239	676524	1

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На рисунке 6 представлено моделирование панельных и кирпичных зданий с помощью программного обеспечения designPH, в котором можно моделировать любое здание. Для проведения теплотехнического расчета здания оно сначала моделируется с помощью программы designPH, а результаты преобразуются и рассчитываются в программе PHPP.

На рисунке 7 представлены удельный годовой расход, его соотношение между тепловым сопротивлением стены и окон. Теплопроводность изоляционного материала составит 0,04 Вт/(м·К). Теплоизоляционным материалом (ТИМ) может быть пенополистирол или базальт. Чем толще изоляция здания, тем ниже удельный годовой расход, замена окон также снижает удельный годовой расход. В таблице 3 показано сравнение толщины изоляционного материала и годового удельного расхода. Предполагается, что все ограждения, за исключением окон, изолированы.

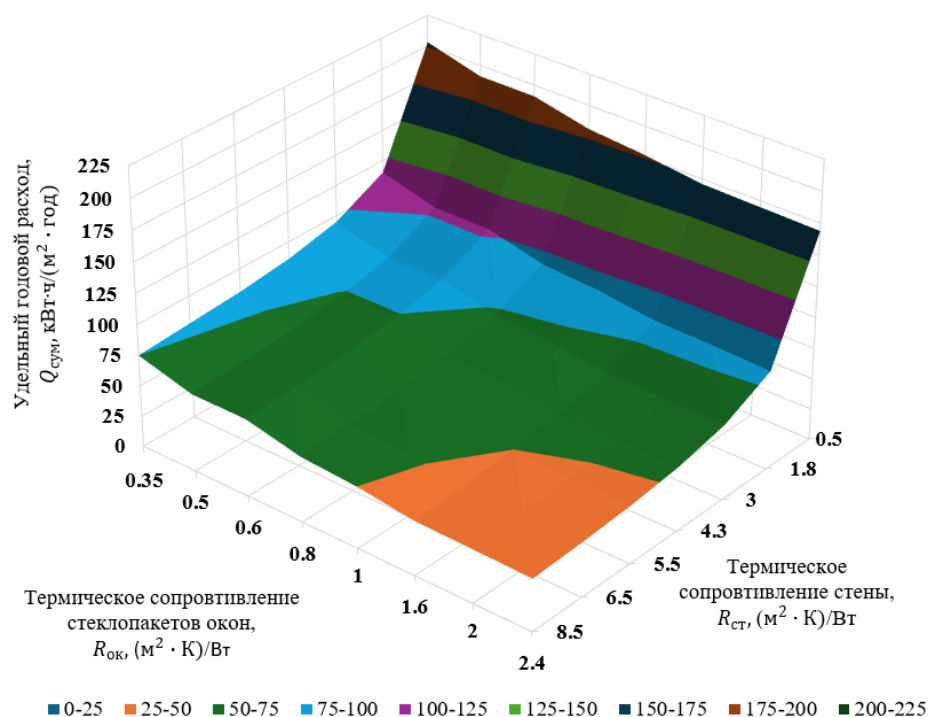


Рис. 7. Соотношение между толщиной изоляционного материала, тепловым сопротивлением окна и годовым удельным потреблением тепла

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В настоящее время в Улан-Батаре при поддержке Немецкой общины проводится утеплительная кампания, в основном с использованием пенополистирола толщиной 150 мм. В таблице 3 показаны результаты для случая, когда ограждающие конструкции зданий утеплены, а в таблице 4 – для случая, когда энергоэффективные окна заменены на энергоэффективные. Для энергосбережения стеклопакетов термическое сопротивление составит  $R = 1,56 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ , а пропускание солнечной энергии составит  $g = 42\%$ .

Таблица 3

Table 3

Сравнение толщины ТИМ и годового удельного расхода

Comparison of the thickness of thermal insulation materials and annual specific consumption

Толщина слоя теплоизоляции, мм	Удельный годовой расход на отопление и вентиляцию, кВт·ч/(м²·год)				
	5-этажный дом (панель)	5-этажный дом (кирпич)	9-этажный дом (панель)	12-этажный дом (панель)	12-этажный дом (кирпич)
факт	191	174	196	243	144
50	103	101	103	117	111
100	83	82	83	93	98
150	74	74	74	83	91
200	69	69	69	77	87
250	67	66	66	73	84
300	64	63	64	70	82

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В сводных правилах [10] для Улан-Батора показатель градусо-суток отопительного периода (ГСОП) составит 7000. Термическое сопротивление стены составит  $3,85 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ . На рисунке 8 представлена, толщина изоляции существующей ограждающей конструкции, которая должна составлять не менее 150 мм для соблюдения строительных норм. Красная линия на рисунке показывает норму.

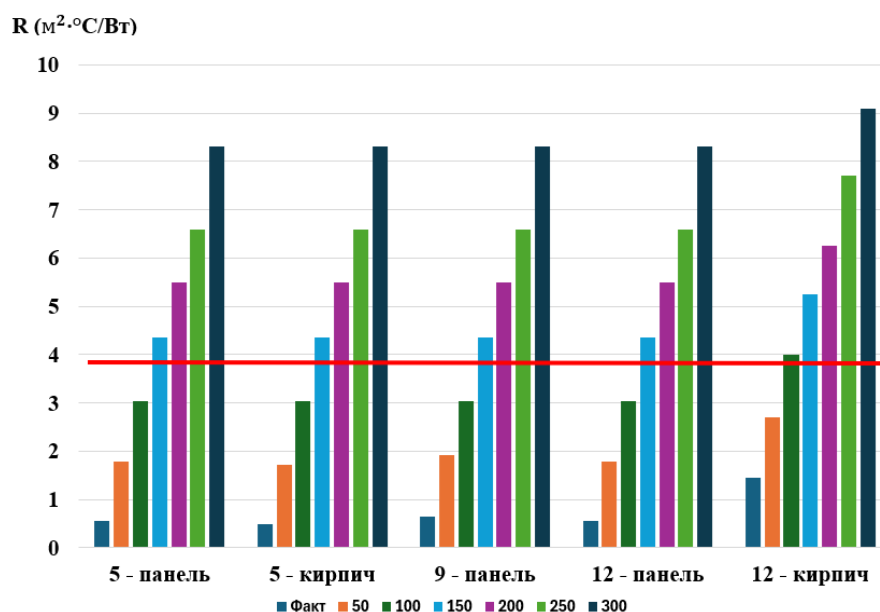


Рис. 8. Термическое сопротивление стены Fig. 8. Thermal resistance of the wall  
 \*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Таблица 4  
 Table 4

В случае утепления здания и замены окон на энергосберегающие  
 In case of building insulation and replacement of windows with energy-saving

Толщина слоя теплоизоляции, мм	Удельный годовой расход на отопление и вентиляцию, кВт·ч/(м²·год)				
	5-этажный дом (панель)	5-этажный дом (кирпич)	9-этажный дом (панель)	12-этажный дом (панель)	12-этажный дом (кирпич)
факт	191	174	196	243	144
50	87	85	89	101	93
100	67	66	69	77	80
150	58	58	60	66	73
200	53	53	55	61	69
250	50	50	52	57	66
300	47	47	50	54	64

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Согласно концепции пассивного дома, удельный годовой расход тепла составляет 15-30 кВт·ч/м²·год в зависимости от региона. В международной классификации энергоэффективности зданий значение 50 кВт·ч/м²·год и ниже считается энергоэффективным или классом А. В нашей стране стремятся достичь этого значения. Для достижения этого показателя недостаточно просто утеплить ограждающие конструкции. Поэтому в качестве меры энергосбережения рекомендуется заменить все стеклопакеты на энергосберегающие. Для энергоэффективности класса А, здание должно быть построено с использованием изоляционных материалов с коэффициентом теплопроводности 0,04 Вт/(м·К) или менее, толщиной не менее 250 мм, а все окна должны быть заменены на энергосберегающие. Такое здание можно считать классом А или энергоэффективным.

В таблице 5 показано годовое потребление на отопление и вентиляцию и соответствующие выбросы эквивалента CO<sub>2</sub>.



Таблица 5

Table 5

Годовое потребление на отопление и вентиляцию и эквивалент CO<sub>2</sub> (с энергосбережением окон)Annual heating and ventilation consumption and CO<sub>2</sub> equivalent (with energy saving windows)

Толщина слоя теплоизоляции, мм	5-этажный дом (панель)	Эквивалент CO <sub>2</sub>	5-этажный дом (кирпич)	Эквивалент CO <sub>2</sub>	9-этажный дом (панель)	Эквивалент CO <sub>2</sub>
	кВт·ч/год	тн/год	кВт·ч/год	тн/год	кВт·ч/год	тн/год
факт	770316	551	830069	593,4	1100145	786,6
50	348960	249,7	354004	252,2	494213	353,6
100	269957	193,4	271616	194,7	385717	275,5
150	234160	167,4	235013	168,5	336779	240
200	213543	152,5	214050	153	308794	221,4
250	200163	143,6	200498	143,3	290859	208
300	190887	136,6	191125	136,3	156102	111,8
Толщина слоя теплоизоляции, мм	12-этажный дом (панель)	Эквивалент CO <sub>2</sub>	12-этажный дом (кирпич)	Эквивалент CO <sub>2</sub>		
	кВт·ч/год	тн/год	кВт·ч/год	тн/год		
факт	919715	658,7	676524	483		
50	382164	273,8	437711	313,9		
100	290376	207,8	376353	269,9		
150	250937	179,2	344134	246,3		
200	229152	163,3	324380	231		
250	215291	154,7	311053	222,8		
300	205701	147,9	301415	215,8		

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

## Топливо-энергетический баланс Монголии

Топливо-энергетический баланс (ТЭБ) отражает соотношение объемов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), поступающих от производства или импорта и уменьшающихся за счет потребления или экспорта для некоторой территории или экономического объекта [11, 12].

Энергетический баланс топлива состоит из трех основных компонентов:

- Раздел «ПОСТАВКА – первичный ресурс» включает данные о топливе, произведенном в стране и ее городах, а также о топливе, импортированном из других стран и городов или экспортированном в них, и об изменениях в ресурсах.

- Раздел преобразования источников энергии «ПРИМЕНЕНИЕ – Распространение» включает данные о количестве энергии, преобразованной из одного вида источника энергии в другой, количестве источников, использованных в процессе преобразования, внутренних потребностях процесса преобразования, а также потерях, понесенных при производстве и транспортировке.

- Раздел энергетического баланса «КОНЕЧНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ», посвященный конечному использованию, включает данные о потреблении энергии потребителями [13].

Математическая модель топливно-энергетического баланса [14] Монголии выражается как:

$$\sum E_{\text{пер. и}} = E_{\text{про}} + E_{\text{и}} - E_{\text{э}} \pm E_{\text{и. п}} \quad (2)$$

Здесь:  $\sum E_{\text{п. и}}$  – сумма первичных источников,  $E_{\text{про}}$  – производство энергии,  $E_{\text{и}}$  – импорт энергии,  $E_{\text{э}}$  – экспорт энергии,  $E_{\text{и. з}}$  – изменение запасов.

$$\sum E_{\text{пот. з}} = Q_{\text{про. т}} + N_{\text{про. з}} + F_{\text{уголь}} + F_{\text{НП}} \quad (3)$$

$$\sum E_{\text{ист}} = E_{\text{кот}} + E_{\text{ТЭЦ}} + E_{\text{ВИЭ}} \quad (4)$$

$$\sum E_{\text{пре}} = Q_{\text{ТЭЦ}} + Q_{\text{котель}} + N_{\text{про. з}} + F_{\text{НП}} \quad (5)$$

$$\sum E_{\text{кон. п}} = E_{\text{и. з}} + E_{\text{пре}} + E_{\text{пот}} + E_{\text{сн}} \quad (6)$$

$$\Delta E_{\text{ст. и}} = \sum E_{\text{кон. п}} - \sum E_{\text{жэр}} \quad (7)$$

Здесь:  $\sum E_{\text{пот. э}}$  – потребляемая энергия,  $Q_{\text{про.т}}$  – производство теплоэнергии,  $N_{\text{про.э}}$  – производство электроэнергии,  $F_{\text{уголь}}$  – добыча угля,  $F_{\text{нп}}$  – нефтепродукты,  $E_{\text{ист}}$  – источник энергии,  $E_{\text{кот}}$  – котел,  $E_{\text{ТЭЦ}}$  – теплоэлектроцентраль,  $E_{\text{ВИЭ}}$  – возобновляемая энергия,  $\sum E_{\text{пре}}$  – преобразование энергии,  $Q_{\text{ТЭЦ}}$  – производство теплоэнергии ТЭЦ,  $Q_{\text{кот}}$  – производство тепловой энергии из котлов,  $E_{\text{кон. п}}$  – конечное потребление,  $E_{\text{пот}}^{\text{пере}}$  – потери при передаче,  $E_{\text{сн}}$  – собственные нужды,  $\Delta E_{\text{ст. и}}$  – статистическое изменение,  $\sum E_{\text{пот}}$  – потребление отрасли (население, сельское хозяйство, промышленность, транспорт, прочие).

В таблице 6 представлен топливно-энергетический баланс Монголии, рассчитанный на основе статистических показателей 2023 года. Данные по углю взяты из Национальной статистической комиссии [15], а данные по экспорту и импорту угля – из документа «Введение в сектор внешней торговли на 2023 год» [16], подготовленного Комиссией.

Таблица 6

Table 6

Комбинированный топливно-энергетический баланс в натуральных единицах, 2023 год

*Combined fuel and energy balance in natural units, 2023*

ИСТОЧНИК	Уголь, тыс. Тн	У.про, тыс. Тн	Нефть, тыс. баррель	Н. про, тыс. Баррель	ВИЭ, тыс. МВт·ч	Электро- энергия, тыс. МВт·ч	Тепло- энергия, тыс. Гкал
<b>ПОСТАВКА /первичный ресурс/</b>							
Производство	71323		4889		773		
Импорт	23		0	2436		2448	
Экспорт	-61715	-13940	-4732			-25	
Изменение запасов	1844		-157				
<b>Резервная сумма</b>	<b>11475</b>			<b>2436</b>	<b>773</b>	<b>2423</b>	
<b>ПРИМЕНЕНИЕ /Распространение/</b>							
Преобразование энергии	-9398	-13940	0	-19.00	-773	8528	16802
Производство электрической энергии				-0.50	-773	773	0
Производство тепловой энергии	-1185						1254
ТЭЦ	-8213			-18.50		7755	15548
Обогащение угля		-13940					
Собственные нужды						-1318	-1483
Потери при передаче	-532					-1378	-3064
<b>КОНЕЧНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ</b>	<b>1545</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2417</b>	<b>0</b>	<b>8255</b>	<b>12255</b>
Промышленность	145					4950	3602
Транспорт	19			2417		248	437
Население	552					2231	5174
Сельское хозяйство	2					83	65
Прочие виды экономической деятельности	827					743	2978
<b>СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАЗНИЦА</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Примечание: угольная продукция (У.про), нефте-продукты (Н.про), возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Данные по нефти и нефтепродуктам взяты из статистики минеральных ресурсов, ежемесячно составляемой Департаментом минеральных ресурсов и нефти, исполнительным агентством Министерства минеральных ресурсов и нефти [16, 17]. Данные по ВИЭ, электричеству и теплу собраны Комиссией по регулированию энергетики в «Энергетической статистике 2023». ТЭБ рассчитывается путем перевода

единиц измерения топливно-энергетических товаров в стандартные международные единицы измерения, а именно: тонны угольного эквивалента (ТУЭ) и тонны нефтяного эквивалента (ТНЭ) [18].

Детальный расчет и моделирование ТЭБ (рис. 9) позволяют оценить потенциальную экономию энергии в секторах [19], распределяющих энергию, а также соответствующее сокращение выбросов парниковых газов за счет снижения зависимости от угля как основного источника энергии [20].

Таблица 7

Table 7

Комбинированный топливно-энергетический баланс в тоннах угольного эквивалента (т у.т), 2023 год

*Combined fuel and energy balance in tons of coal equivalent (tce), 2023*

ИСТОЧНИК	Уголь	У.про	Нефть	Н. Про	ВИЭ	Электро-энергия	Тепло-энергия	Всего
<b>ПОСТАВКА /первичный ресурс/</b>								
Производство	54776		937		95			55808
Импорт	18			486		301		805
Экспорт	-47397	-10706	-907			-3		-59013
Изменение запасов	1416		-30					1386
<b>Резервная сумма</b>	<b>8813</b>			<b>486</b>	<b>95</b>	<b>298</b>		<b>9692</b>
<b>ПРИМЕНЕНИЕ /Распространение/</b>								
Преобразование энергии	-7218	-10706		-28.3	-95	1049	2497	-14501
Производство электрической энергии				-0.7	-95	95		-1
Производство тепловой энергии	-910						186	-724
ТЭЦ	-6308			-13		954	2310	-3056
Обогащение угля		-10706						-10706
Собственные нужды						-162	-220	-383
Потери при передаче	-409					-169	-455	-1033
<b>КОНЕЧНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ</b>	<b>1187</b>			<b>483</b>		<b>1015</b>	<b>1821</b>	<b>4506</b>
Промышленность	112					609	535	1256
Транспорт	15			483		31	65	594
Население	424					274	769	1467
Сельское хозяйство	1					10	10	21
Прочие виды экономической деятельности	635					91	443	1169
<b>СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАЗНИЦА</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

*\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

### **Закключение (Conclusion)**

В настоящее время годовое потребление тепла панельными зданиями составляет 502,1 ГВт·ч или 431,7 тыс. Гкал, и кирпичными зданиями составляет 404,4 ГВт·ч или 347,7 тыс. Гкал в Улан-Баторе. Этот показатель охватывает 53 процента тепловой энергии в топливно-энергетическом балансе Монголии.

На Парижском соглашении установлена цель по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> на 231 тыс. тонн к 2030 году за счет утепления многоквартирных домов. В настоящее время совместно с немецкими компаниями реализуется проект по утеплению стен зданий полистиролом толщиной 150 мм. Утепление только наружных стен без замены существующих окон позволило бы сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 160,4 тыс. тонн, что не достигло бы целевого показателя, установленного в соглашении.

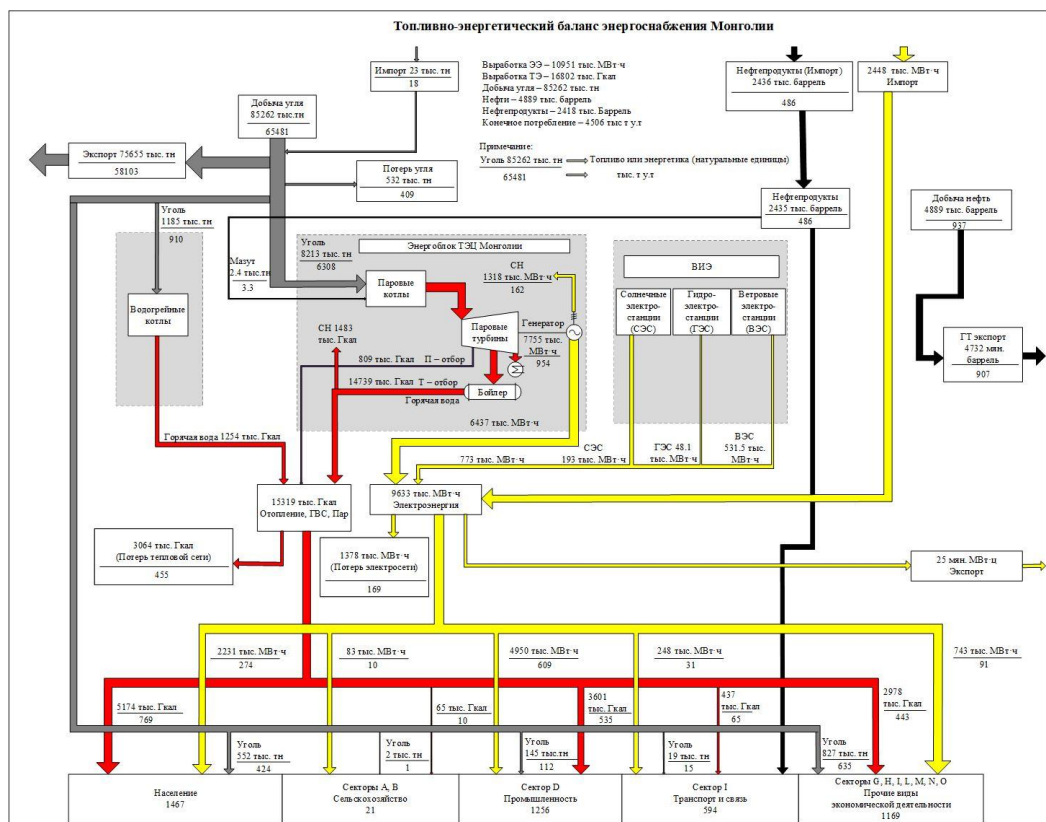


Рис. 9. ТЭБ Монголии (2023)

Fig. 9. Mongolia's fuel and energy balance (2023)

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Все существующие старые здания относятся к классу энергоэффективности D. Для достижения энергоэффективности эти здания должны быть классифицированы как энергоэффективные или класса A, а все ограждения должны иметь изоляцию толщиной не менее 250 мм и коэффициентом теплопроводности 0,04 Вт/(м·К). Для панельных многоквартирных домов если учесть, что окна утеплены энергосберегающими стеклопакетами, то годовое потребление рассчитается в состав 133,8 ГВт·ч. Реализация этой меры могла бы сэкономить 368,6 ГВт·ч тепловую энергию и снизить 263,3 тыс. тонн CO<sub>2</sub>. Это позволило бы достичь цели, поставленной на 2030 год.

А также для кирпичных многоквартирных домов годовое потребление рассчитается в состав 99,1 ГВт·ч. Реализация этой меры могла бы сэкономить 305,3 ГВт·ч тепловую энергию и снизить 218,2 тыс. тонн CO<sub>2</sub>.

### Литература

1. Цэрэндорж Ц, Султангузин И.А., Яворовский Ю.В., Яцок Т.В. Результаты расчета теплотеря здания в Улан-Баторе с помощью программ PHPP, DesignPH и ArchiCAD // Вестник МЭИ. 2025. №2. С. 102-109. DOI: 10.24160/1993-6982-2025-2-102-109.
2. Башмаков И.А., Башмаков В.И., Борисов К.Б., Дзедзичек М.Г., Луний А.А., Лебедев О.В., Мышак А.Д. Потенциал экономии энергии в многоквартирных домах России и возможности его реализации. Часть 1. Современные тренды в регулировании повышения энергоэффективности зданий// Энергосбережение. - 2023. - № 4. -С. 36-41.
3. Борисов К.Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий// Энергосбережение. - 2024. - № 4. -С. 44-51.
4. Силицын А.А., Соловьева О.В., Ахметова И.Г., Ваньков Ю.В., Закревская Л.В., Ананьев М.С., Шакурова Р.З. Результаты разработки технологии лёгких бетонов на основе диатомитовых пород и приборное исследование его теплопроводности. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(6):124-132. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-6-124-132>
5. Санжмолон Давааням, Исследование теплотехнических инноваций многоквартирных панельных домов // Диссертация, Университет Науки и Технологии. – 2021. – С. 5-19. (на Монгольском языке)

6. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов / перевод с немецкого с дополнениями под редакцией А.Е.Елохова. – М.: ООО «КОНТИ ПРИНТ»: – Москва: – 2015. – С.142.

7. Passive House Institute (PHI), The independent institute for outstanding energy efficiency in buildings, URL: <https://passivehouse.com/index.html>

8. Яворовский Ю. В., Султангузин И. А., Кругликов Д. А., Калякин И. Д., Яцюк Т. В. Сравнение результатов энергетического моделирования жилого дома с помощью разных программных средств // Вестник МЭИ. 2020. № 3. С. 31–39.

9. Султангузин И.А., Говорин А.В., Яцюк Т.В., Калякин И.Д., Яворовский Ю.В., Чайкин В.Ю., Бу Дакка Б., Цэрэндорж Ц. Достижение нулевого углеродного следа в единой системе «энергоэффективный дом – электромобиль». Часть 1. // Энергосбережение. - 2024. - № 5. –С. 16-22.

10. Сводный правил, «Тепловая защита зданий», СП 25-01-20, (на Монгольском языке)

11. Яворовский Ю.В., Султангузин И.А., Бартенев А.И., Калякин И.Д., Яшин А.П. Методология стратегического планирования развития города на основе моделирования и оптимизации топливно-энергетического баланса // Журнал СОК, № 9, 2022. С. 44 – 50.

12. Б.Намхайням, «Методология составления национального топливно-энергетического баланса», МГУНТ – Институт теплотехники и промышленной экологии, стр.27, 2024. (на Монгольском языке)

13. Яворовский Ю.В. Оптимизация топливно-энергетического баланса металлургических предприятий на основе применения парогазовых технологий // Вестник МЭИ. 2024. №6. С. 101-110. DOI: 10.24160/1993-6982-2024-6-101-110

14. Y. V. Yavorovsky, I. A. Sultanguzin, A. I. Bartenev, I. D. Kalyakin and A. P. Yashin, "Development of a program for creation of the fuel and energy balance of the city," 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731495.

15. Национальный статистический комитет, статистические данные, «национальный баланс угля», «тепловой баланс», «производство основных видов промышленной продукции в целом по стране», 2023. URL: <https://www.1212.mn/mn/statistic/statcate/573060/table/573060> (на Монгольском языке)

16. Национальный статистический комитет, «Обзор сектора внешней торговли», Внешняя торговля 2023. URL: <http://web.nso.mn/onlinechat/index.ph> (на Монгольском языке)

17. Правительственное агентство по реализации: Министерство минеральных ресурсов и нефти, Статистика минеральных ресурсов, 2023/1, URL: <http://mrpm.gov.mn>, (на Монгольском языке)

18. Приказ Министерства энергетики РФ от 29 октября 2021 г. № 1169 "Об утверждении Порядка составления топливно-энергетических балансов субъектов Российской Федерации, муниципальных образований", Регистрационный № 65788, УТВЕРЖДЕН приказом Минэнерго России от 29.10.2021 г. № 1169 URL: [www.garant.ru](http://www.garant.ru)

19. Monakov, Y., Tarasov, A., Ivannikov, A., Murzintsev, A., & Shutenko, N. (2023). Optimization of Equipment Operation in Power Systems Based on the Use in the Design of Frequency-Dependent Models. Energies, 16(18), 6756. <https://doi.org/10.3390/en16186756>.

20. Proceedings of the international conference on energy transition: technology and ecology (ICETTE-2025), Contributing to Strategic Energy Planning Through the Optimization of Fuel and Energy Balance of Mongolia // -2025. - pp. 9-16.

#### Авторы публикации

**Цэрэндорж Цэцгээ** – ассистент и аспирант кафедры Промышленных теплоэнергетических систем ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия. ORCID\*: <https://orcid.org/0009-0009-4827-7221>. [tserendorzhT@mpei.ru](mailto:tserendorzhT@mpei.ru)

**Ахметова Ирина Гареевна** – д-р техн. наук, проректор по развитию и инновациям Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, Россия. [irina\\_akhmetova@mail.ru](mailto:irina_akhmetova@mail.ru)

**Султангузин Ильдар Айдарович** – д-р техн. наук, профессор кафедры Промышленных теплоэнергетических систем ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия. ORCID\*: <https://orcid.org/0000-0001-6324-5214>. [SultanguzinIA@mpei.ru](mailto:SultanguzinIA@mpei.ru)

**Калякин Иван Дмитриевич** – канд. техн. наук, кафедры Промышленных теплоэнергетических систем ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия. ORCID\*: <https://orcid.org/0009-0007-2285-9309>. [KaliakinID@mpei.ru](mailto:KaliakinID@mpei.ru)



**Лувсандорж Батмэнд** – аспирант кафедры автоматизации и теплоснабжения Монгольского государственного университета науки и технологии, г. Улан-Батор, Монголия. ORCID\*: <https://orcid.org/0009-0003-1342-1955>. [batmend@yandex.com](mailto:batmend@yandex.com)

#### References

1. Tserendorzh Ts., Sultanguzin I.A., Yavorovsky Yu.V., Yatsuk T.V. The Heat Loss Calculations for Buildings in Ulaanbaatar by Using the PHPP, DesignPH and ArchiCAD Computer Programs. Bulletin of MPEI. 2025;2:102-109. (in Russ) DOI: 10.24160/1993-6982-2025-2-102-109.
2. Bashmakov I.A., Bashmakov V.I., Borisov K.B., Dzedzicek M.G., Lunin A.A., Lebedev O.V., Myshak A.D. Energy saving potential in apartment buildings in Russia and the possibilities of its implementation. Part 1. Modern trends in regulating the improvement of energy efficiency of buildings// Energy saving. - 2023. - No. 4. –P. 36-41. (In Russ.)
3. Borisov K.B. Analysis of factors influencing the increase in energy efficiency of apartment buildings, taking into account territorial and climatic differences // Energy saving. - 2024. - No. 4. –P. 44-51. (In Russ.)
4. Sinitin A.A., Soloveva O.V., Akhmetova I.G., Vankov Y.V., Zakrevskaya L.V., Ananiev M.S., Shakurova R.Z. Results of the development of the technology of light-weight concrete based on diatomite rocks and instrument study of its thermal conductivity. Power engineering: research, equipment, technology. 2022;24(6):124-132. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-6-124-132>
5. Sanjmolom Davaanyam, Research of thermal innovations of multi-apartment panel buildings // Dissertation, University of Science and Technology. - 2021. - P. 5-19. (In Mon.)
6. Feist V. Basic principles for the design of passive houses / translation from German with additions edited by A.E. Elokhov. - M.: OOO "KONTI PRINT": - Moscow: - 2015. - P. 142. (In Russ.)
7. Passive House Institute (PHI), The independent institute for outstanding energy efficiency in buildings, URL: <https://passivehouse.com/index.html>
8. Yavorovsky Yu. V., Sultanguzin I. A., Kruglikov D. A., Kalyakin I. D., Yatsyuk T. V. Comparison of the results of energy modeling of a residential building using different software. Bulletin MPEI. 2020. No. 3. pp. 31–39. (In Russ.)
9. Sultanguzin I.A., Govorin A.V., Yatsyuk T.V., Kalyakin I.D., Yavorovsky Yu.V., Chaikin V.Yu., Bu Dakka B., Tserendorzh Ts. Achieving zero carbon footprint in a single "energy-efficient house - electric car" system. Part 1. // Energy saving. - 2024. - No. 5. –P. 16-22. (In Russ.)
10. Building codes and regulations, "Thermal performance of buildings", SP 25-01-20, (In Mon.)
11. Yavorovsky Yu.V., Sultanguzin I.A., Bartenev A.I., Kalyakin I.D., Yashin A.P. Methodology of strategic planning of city development based on modeling and optimization of the fuel and energy balance // SOK Magazine, No. 9, 2022. Pp. 44–50. (In Russ.)
12. B. Namkhainyam, "Methodology for compiling a national fuel and energy balance," MSUNT – Institute of Thermal Engineering and Industrial Ecology, p. 27, 2024. (In Mon.)
13. Yavorovsky Yu.V. Optimization of the fuel and energy balance of metallurgical enterprises based on the use of combined-cycle technologies. Bulletin MPEI. 2024. No. 6. P. 101-110. DOI: 10.24160/1993-6982-2024-6-101-110
14. Y. V. Yavorovsky, I. A. Sultanguzin, A. I. Bartenev, I. D. Kalyakin and A. P. Yashin, "Development of a program for creation of the fuel and energy balance of the city," 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731495.
15. National Statistical Committee, statistical data, "national coal balance", "heat balance", "production of main types of industrial products in the country as a whole", 2023. (In Mon.) URL: <https://www.1212.mn/mn/statistic/statcate/573060/table/573060>
16. National Statistical Committee, "Foreign Trade Sector Review", Foreign Trade 2023. URL: <http://web.nso.mn/onlinechat/index.ph> (In Mon.)
17. Government implementing agency: Ministry of Mineral Resources and Petroleum, Mineral Resources Statistics, 2023/1, URL: <http://mrpam.gov.mn>, (In Mon.)
18. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated October 29, 2021 No. 1169 "On approval of the Procedure for compiling fuel and energy balances of constituent entities of the Russian Federation, municipalities", Registration No. 65788, APPROVED by Order of the Ministry of Energy of Russia dated October 29, 2021 No. 1169 URL: [www.garant.ru](http://www.garant.ru) (In Russ.)
19. Monakov, Y., Tarasov, A., Ivannikov, A., Murzintsev, A., & Shutenko, N. (2023). Optimization of Equipment Operation in Power Systems Based on the Use in the Design of Frequency-Dependent Models. Energies, 16(18), 6756. <https://doi.org/10.3390/en16186756>.
20. Proceedings of the international conference on energy transition: technology and ecology (ICETTE-2025), Contributing to Strategic Energy Planning Through the Optimization of Fuel and Energy Balance of Mongolia // -2025. - pp. 9-16.

**Authors of the publication**

***Tsetsgee Tserendorj*** – National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia. *ORCID\**: <https://orcid.org/0009-0009-4827-7221>. *tserendorzhT@mpei.ru*

***Irina G. Akhmetova*** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. *irina\_akhmetova@mail.ru*

***Ildar A. Sultanguzin*** – National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia. *ORCID\**: <https://orcid.org/0000-0001-6324-5214>. *SultanguzinIA@mpei.ru*

***Ivan D. Kalyakin*** – National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia. *ORCID\**: <https://orcid.org/0009-0007-2285-9309>. *KaliakinID@mpei.ru*

***Batmand Luvsandorj*** – Mongolian University Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia. *ORCID\**: <https://orcid.org/0009-0003-1342-1955>. *batmend@yandex.com*

*Шифр научной специальности: 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника*

***Получено*** ***01.10.2025 г.***

***Отредактировано*** ***22.10.2025 г.***

***Принято*** ***02.11.2025 г.***