

The principles of energy efficiency and environmental friendliness for multifunctional complexes

Los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente para complejos multifuncionales

O. Ivanovna ^{1*}

* Kiev National University of Civil Engineering and Architecture – Kiev, UKRAINE

Fecha de Recepción: 20/08/2020
Fecha de Aceptación: 22/10/2020
PAG 308-320

Abstract

Originality/value: Energy efficiency and environmental friendliness, as important principles of sustainability for multifunctional complexes, are here considered in the context of the international experience, enabling an identification of the main aspects that are applicable when designing such buildings in Ukraine. Purpose: The purpose of this article is to study the principles of improving energy efficiency and environmental friendliness of multifunctional complexes in Ukraine and thereby enrich the national experience in designing sustainable architecture. Results: On the basis of the study, scientific principles and recommendations are developed that contribute to improving the energy efficiency and environmental friendliness of such complexes. Conclusion: It is concluded that the use of alternative energy sources can cover at least 15-20% of the total energy consumption, and by optimizing the plan it is possible to increase the energy efficiency of a building by up to 14%.

Keywords: Sustainability in architecture; energy efficiency; environmental friendliness; multifunctional complex; plan optimization

Resumen

Originalidad/valor: La eficiencia energética y el respeto al medio ambiente, en su calidad de principios importantes de sostenibilidad para complejos multifuncionales, se revisan en el contexto de la experiencia internacional, permitiendo identificar los principales aspectos aplicables en el diseño de ese tipo de edificios en Ucrania. Propósito: El propósito de este artículo consiste en estudiar los principios para mejorar los complejos multifuncionales en Ucrania en cuanto a eficiencia energética y respeto al medio ambiente y, por tanto, enriquecer la experiencia nacional en el diseño arquitectónico sostenible. Resultados: En base al estudio, se desarrollan principios científicos y recomendaciones que contribuyen a mejorar la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente por parte de dichos complejos. Conclusión: Se concluye que el uso de energías alternativas puede cubrir al menos un 15-20% del consumo total de energía y que – con optimizaciones – es posible aumentar la eficiencia energética de un edificio en hasta un 14%.

Palabras clave: Sostenibilidad en arquitectura; eficiencia energética; respeto al medio ambiente; complejo multifuncional; optimización de planes

1. Introducción

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible formulados por las Naciones Unidas (ONU) en 2019, el desarrollo de energía e infraestructura sostenibles es una de las áreas prioritarias al implementar los principios del desarrollo sostenible. Una de las metas para lograr el Objetivo 11 "Ciudades y asentamientos humanos sostenibles" consiste en reducir para 2030 el impacto ambiental negativo de las ciudades, mientras que el Objetivo 7 "Energía limpia y barata" puede lograrse, entre otras cosas, duplicando los indicadores mundiales de eficiencia energética hasta 2030. La energía es la base de la sociedad moderna (Amasyali y El-Gohary, 2018). Por lo tanto, las medidas orientadas al logro de estos Objetivos de Desarrollo Sostenible deben abarcar diversas áreas, incluido el diseño arquitectónico de los edificios, ya que estos, cuando se diseñan de acuerdo con los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente, pueden contribuir a un desarrollo urbano sostenible y a reducir el impacto ambiental.

Al mismo tiempo, según estudios publicados por la transnacional de petróleo y gas BP en la revisión anual de las tendencias energéticas globales para 2019, uno de los principales desafíos de la energía global es el crecimiento del consumo energético. Mientras tanto, aumenta en todo el mundo el número de edificios y complejos arquitectónicos con impacto negativo sobre el medio ambiente (Krarti, 2018), mientras que la demanda mundial de energía - con los edificios comerciales y residenciales ocupando el tercer lugar en términos de consumo de energía (Proskuryakova, 2017) - aumentará en un tercio para 2040 (BP, 2019), lo que puede llevar a una degradación ambiental a escala mundial. En este sentido, arquitectos de diferentes países, entre ellos EE.UU.,

¹ Autor de Correspondencia:

Kiev National University of Civil Engineering and Architecture
– Kiev, UKRAINE
E-mail: zhovkva.knu@inbox.ru



Reino Unido, Alemania y Rusia, se encuentran desarrollando principios para la sostenibilidad de los edificios y estructuras, destacándose el estudio de la posibilidad de utilizar fuentes de energía alternativas para reducir el consumo y aumentar la eficiencia energética de los edificios, mientras se exploran métodos para reducir el impacto negativo de los objetos arquitectónicos sobre el medio ambiente.

A lo largo de los años, científicos tales como (Tabunshchikov, 1998), (Desideri, 2018), (Krarti, 2017), (Shukla, 2018), (Troi, 2014), (Gracia y Cabeza, 2015) así como (Chel y Kaushik, 2018) contribuyeron al estudio de los principios para mejorar la eficiencia energética de los edificios. En 2017, Krarti, un profesional de la Universidad de Colorado en el campo de los sistemas eléctricos energéticamente eficientes para edificios, publicó una descripción general de los principales sistemas de energía de los edificios, proponiendo un enfoque sistemático y práctico para el análisis y diseño de edificios eficientes desde el punto de vista de la energía, destacando que se debe prestar especial atención al análisis de los costos operativos. En la monografía "Advanced Energy Efficient Building Envelope Systems" (Sistemas avanzados de envolventes energéticamente eficientes de edificios), publicada en el mismo año, Krarti presentó los últimos desarrollos en materia de innovadores sistemas de envolvente de edificios que responden a los cambios en las condiciones ambientales, proporcionando condiciones confortables dentro del edificio. Krarti también destacó la importancia de la elección de materiales para la construcción de las envolventes de edificios en función de sus características térmicas, las que tienen influencia directa en el grado de eficiencia energética de los edificios. En el libro "Optimal Design and Retrofit of Energy Efficient Buildings, Communities, and Urban Centres" (Diseño óptimo y modernización de edificios, comunidades y centros urbanos energéticamente eficientes), publicado un año después, el investigador presentó una visión general de los métodos y tecnologías modernos destinados a mejorar la eficiencia energética de los edificios, que le asignan un papel importante a la elección de materiales de aislamiento y al uso de iluminación LED y controles de luz natural. Asimismo, Krarti destacó la importancia del objetivo de diseñar edificios con energía cero o positiva, es decir, edificios que generen energía a partir de fuentes renovables y la consuman en cantidades iguales o menores, respectivamente (Krarti, 2018). Mientras tanto, Desideri, profesor de la Universidad de Pisa, y Azdrubali, profesor de la Tercera Universidad de Roma, en su "Handbook of Energy Efficiency in Buildings" (Manual de eficiencia energética en edificios) publicado en 2018, examinaron cuestiones relacionadas con la evaluación del ciclo de vida de los edificios con cero consumo de energía, desde su construcción hasta su operación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que hasta la fecha (la investigación es de diciembre de 2019), no se había construido un solo complejo multifuncional con energía cero o con tendencia a cero en la práctica a escala internacional. Investigadores de Shukla y Sharma, así como del Instituto de Tecnología del Petróleo Rajiv Gandhi, en su libro de 2018 titulado "Sustainability through Energy-Efficient Buildings" (Sostenibilidad a través de edificios energéticamente eficientes), investigaron cómo utilizar la calefacción y refrigeración pasivas en edificios. Con un sistema de calefacción de este tipo, el calor necesario para calefaccionar los edificios se genera a partir de fuentes no tradicionales, como el calor generado por los propios usuarios del edificio, donde el aire caliente es capturado por el sistema de ventilación y transferido para calentar el fluido del sistema de calefacción. La ecología y la arquitectura fueron abordadas por (Bauer, 2007), (Wines, 2000), (Schmidt, 2016), (Ghosh, 2015), así como en lo antes mencionado (Krarti, 2018). Bauer, Mosle y Schwartz, autores del libro "Green building. Konzepte für nachhaltige Architektur" (Edificios verdes. Conceptos de arquitectura sostenible), afirman que el sector de la construcción en todo el mundo consume hasta el 40% de la energía primaria (Bauer et al., 2007) y, en consecuencia, piden a los arquitectos que adopten una actitud responsable hacia la naturaleza. También describen métodos de transición hacia un suministro de energía respetuoso con el medio ambiente y a la reducción del consumo de energía y de agua, sin reducir el nivel de confort de los objetos arquitectónicos. Los autores utilizan el concepto de edificios verdes, es decir, edificios que combinan un alto nivel de confort con un mínimo consumo de recursos, lo que incide positivamente en el medio ambiente. con el medio ambiente", una arquitectura que se centra no solo en la aplicación de soluciones tecnológicas energéticamente eficientes, sino que también "intenta reconciliar al hombre y la naturaleza" mediante la reducción del impacto ambiental de la construcción y el funcionamiento de los edificios (Wines, 2000). Schmidt, en su libro "Green Building and Energy Efficiency" (Edificación ecológica y eficiencia energética), también investigó la relación entre la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente, describiendo un aspecto importante que debe tenerse en cuenta al diseñar edificios ecológicos, a saber, el uso de fuentes de energía renovables (Sterling et al., 1983). Casi 30 años después de esto, Ghosh (Dhaka) y Dhaka (Dhaka) contribuyeron al estudio de la energía verde, explorando cómo se pueden realizar fuentes de energía alternativas mediante el procesamiento de desechos urbanos, municipales e industriales (Ghosh y Dhaka, 2015).

Además, la investigación de Marcus y Morris tuvo como objetivo reducir el consumo de energía reduciendo la pérdida de calor a través de las envolventes de los edificios, lo que puede lograrse aumentando la compacidad del edificio (Markus y Morris, 1985). Page también realizó investigaciones sobre este tema y, en sus trabajos



científicos, calculó la altura ideal del piso para minimizar la pérdida de calor y equilibrar el consumo de recursos necesarios para mantener el edificio.

En Ucrania, las cuestiones de la eficiencia energética de los edificios y su respeto por el medio ambiente solo han comenzado a estudiarse recientemente, pero ya han concitado el interés de la comunidad científica. Así lo demuestra la existencia de gran número de trabajos de doctorado orientados a soluciones arquitectónicas e ingenieriles que inciden en el aumento de la eficiencia energética, reduciendo así el consumo energético de los edificios y su impacto en la ecología de las ciudades. De esta manera, Dymo (2007), (Kanygin, 2010), (Nemirovsky y Ovsyannikova, 2009), (Sergeychuk, 2008) y otros han contribuido al estudio de estos temas. La tesis de Sergeychuk titulada "Modelado geométrico de procesos físicos optimizando la forma de edificios energéticamente eficientes" tuvo como objetivo estudiar los principios de optimización de la forma de los edificios para ayudar a aumentar su desempeño energético, así como desarrollar bases teóricas para el modelado geométrico de los procesos físicos en la carcasa termoaislante de los edificios y en su ambiente interno. La contribución científica de este trabajo radica en explicar las leyes que relacionan la forma del edificio con la distribución del aislamiento en su envolvente, lo que permite optimizar la forma del edificio, reduciendo así la pérdida de calor y, en consecuencia, reduciendo el consumo de energía. En el trabajo de doctorado de Kanygin, "La economía del desarrollo de fuentes de energía alternativas (en el ejemplo de la Unión Europea)" (Kanygin, 2010), se identificó el lugar y el papel de las fuentes de energía alternativas (renovables) en el complejo industrial moderno de combustibles y energía, basándose en el ejemplo de los países de la Unión Europea. El estudio también examinó las perspectivas y los límites del desarrollo de energías alternativas, así como el grado de influencia de las fuentes de energía renovable en el suministro energético general y en la eficiencia energética. Beregovoi escribió otro trabajo sobre eficiencia energética, en el que se desarrollaron principios arquitectónicos y de construcción orientados a minimizar la pérdida de calor, dándose forma a los principios para crear condiciones de confort en las instalaciones de los edificios diseñados y operados en las regiones centrales de Rusia (Beregovoi, 2005). Se asume que, basándose en la similitud de los parámetros climáticos de las regiones centrales de Rusia y Ucrania, los resultados de este trabajo de investigación también pueden ser aplicables en el contexto de las ciudades ucranianas.

En general, todos estos trabajos científicos en el campo de la conservación de la energía, escritos por especialistas en materias técnicas y arquitectónicas, tenían como objetivo desarrollar medidas para ahorrar energía y reducir el impacto negativo de los objetos arquitectónicos en el medio ambiente, formando una amplia base técnica, establecida tanto en el contexto de Ucrania como a nivel internacional. Mientras tanto, los aspectos teóricos del diseño de complejos multifuncionales energéticamente eficientes y respetuosos con el medio ambiente, así como los principios de las interacciones entre las soluciones espaciales y las tecnologías de ahorro de energía, aún no se entienden bien en Ucrania. En este sentido, los complejos multifuncionales, ya construidos de acuerdo con estos principios, deben estudiarse en la práctica para analizar los edificios realizados desde el punto de vista de la planificación arquitectónica y las soluciones tecnológicas de ingeniería. A pesar de que en Ucrania, en los últimos años, también se han desarrollado nuevas soluciones de ingeniería, construcción y planificación arquitectónica que tienen como objetivo optimizar el desempeño energético y ambiental de los edificios, es necesario analizar las soluciones sostenibles utilizadas en la práctica internacional, lo que ayudará a acelerar su adaptación a nivel nacional y determinará qué soluciones pueden ser aplicables en el contexto de las ciudades ucranianas.

2. Metodos

El objeto de este estudio son los complejos arquitectónicos multifuncionales. Como se trata de grandes conglomerados urbanos que combinan funciones comerciales y residenciales, tienen importantes indicadores de consumo de energía. En este sentido, este estudio tiene como objetivo explorar la experiencia internacional en el diseño de complejos multifuncionales sostenibles, destacando los principios fundamentales de diseño orientados a lograr eficiencia energética y respeto al medio ambiente. Utilizando un análisis a gran escala, el estudio examinó los complejos 30 St. Mary AX (Figura 1), Commerzbank Tower (Figura 2), Khan-Shatyr (Figura 3), Palais de Justice (Figura 4), Edificio Condé Nast (Figura 5) y Federation Tower (Figura 6) ubicadas, respectivamente, en Londres, Frankfurt, Nur-Sultan (Astana), París, Nueva York y Moscú. Hemos estudiado la planificación en cuanto a las formas constructivas elegidas por los arquitectos de estos complejos así como las soluciones de ingeniería y tecnológicas que se utilizaron en el diseño de envolventes, fachadas, sistemas de ventilación, etc. para mejorar la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente por parte de estos edificios.





Figura 1. 30 St. Mary AXE, Londres, Reino Unido; arriba: foto; abajo: plano

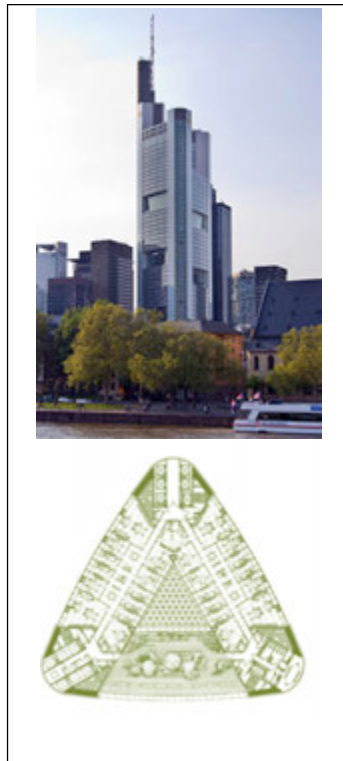


Figura 2. Torre Commerzbank, Frankfurt, Alemania; arriba: foto; abajo: plano

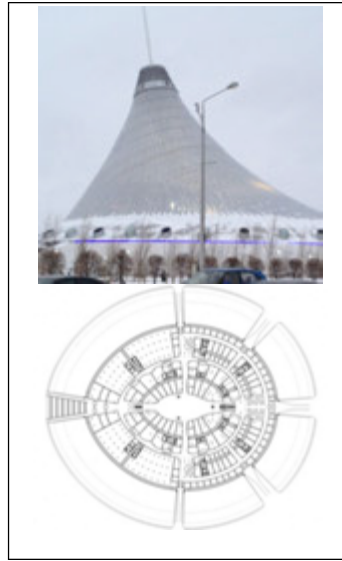


Figura 3. Khan-Shatyr, Nur-Sultan (Astana), Kazakhstan; arriba: foto; abajo: plano

Z



Figura 4. Palacio de Justicia, París, Francia; arriba: foto; abajo: plano





Figura 5. Edificio Condé Nast, Nueva York, EE.UU.; arriba: foto; abajo: plano

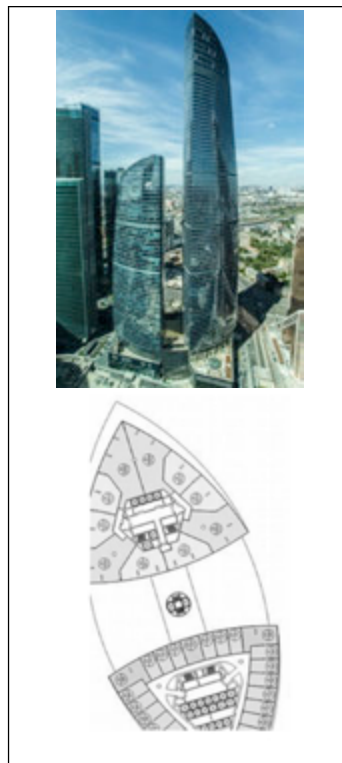


Figura 6. Torre de la Federación, complejo de rascacielos, Moscú, Rusia; arriba: foto; abajo: plano

El arquitecto británico Norman Foster hizo una contribución significativa al desarrollo de la arquitectura energéticamente eficiente. Entre otros edificios, diseñó 30 St. Mary AX en Londres y la Commerzbank Tower en Frankfurt, en los que utilizó activamente la luz y la ventilación naturales, lo que contribuyó a importantes ahorros de energía. Mientras tanto, para el centro comercial y de entretenimiento Khan-Shatry en Nur-Sultan (Astana), el arquitecto utilizó materiales energéticamente eficientes en las estructuras de cierre con características termotécnicas tales que evitan la pérdida de calor. Además, el uso del paisajismo dentro del edificio, que es una cúpula con aislamiento térmico, permite que el centro cree su propio microclima. Los problemas de eficiencia energética y respeto al medio ambiente también fueron el foco del arquitecto italiano Renzo Piano al diseñar el complejo de tribunales del Palais de Justice en París, donde diseñó una fachada de vidrio a fin de proporcionar un alto nivel de iluminación y ventilación naturales y ahorrar energía. Además, en el Condé Nast Building, que es un edificio de oficinas, los arquitectos estadounidenses Robert Fox y Bruce Fowle utilizaron paneles solares como fuentes de electricidad. Mientras tanto, en el complejo multifuncional Federation Tower, que consta de dos rascacielos ubicados en la ciudad de Moscú, Rusia, se instalaron estructuras envolventes translúcidas de alta eficiencia energética que comprenden ventanas de doble acristalamiento, lo que permite mantener una temperatura óptima en el edificio. En verano, el vidrio evita que el aire del interior se sobrecaliente, y en invierno reduce la salida de calor al exterior, manteniendo así el microclima de los apartamentos u oficinas. En general, en estos rascacielos se emplean casi todas las tecnologías de eficiencia energética existentes, incluidos los sistemas de recuperación de calor, mediante los cuales el aire de escape se utiliza para calentar el aire fresco que ingresa al edificio desde la calle.

En términos de soluciones arquitectónicas, es importante señalar que todos los edificios anteriores, a pesar de la complejidad de la ingeniería aplicada y las soluciones tecnológicas destinadas a mejorar los indicadores de eficiencia energética y de respeto al medio ambiente, tienen una forma bastante simple, tanto en planta como en altura. Como resultado del análisis de terreno, se concluyó que la configuración de los planos tiende hacia formas geométricas simples, por ejemplo, un círculo, un triángulo, un cuadrado y un rectángulo, es decir, las formas que mejor retienen el calor (Borodach, 1990). La planta de cada uno de los seis edificios se articula en torno a un espacio central multi-luminoso, que realiza la función de un conducto de ventilación natural, permitiendo que el aire temperado circule por todo el edificio. Las envolventes de los edificios 30 St. Mary AX, Commerzbank Tower, Khan-Shatyr y Conde Nast Building prácticamente no tienen ángulos agudos en planta, lo que también reduce la pérdida de calor en el funcionamiento del edificio. También cabe destacar que las fachadas de todos los complejos estudiados presentan un predominio de estructuras traslúcidas, lo que aumenta la iluminación de las estancias por luz natural, reduciendo el tiempo de uso de fuentes de luz artificial y reduciendo así también el consumo energético en la operación de los edificios.

Se ha sugerido que las formas que mejor retienen el calor pueden generar importantes ahorros de energía, por lo que se calculó la eficiencia energética de los edificios con formas redondas, cuadradas, rectangulares y triangulares. El método de cálculo se presenta a continuación.

La pérdida de calor total del edificio a través de su estructura externa, Q_{hr} , medida en **MJ**, se determina mediante la fórmula: $Q_h = 0,0864 * K_m * D_d * A_{1sum}$, donde K_m es el coeficiente general de transferencia de calor del edificio; D_d es el grado-día del período de calentamiento; y A_{1sum} es el área total del cerramiento externo. A_{1sum} tiene el mayor efecto sobre Q_h ; por lo tanto, cuanto menor sea el área total de la pared exterior, menor será la pérdida de calor. En base a lo anterior, introducimos un coeficiente mediante el cual podemos comparar y evaluar edificios o elegir sus dimensiones óptimas en función de la eficiencia energética: $E = S_{usable} / S_{cierre}$, donde E es la eficiencia energética del edificio y este parámetro reviste el mayor interés para el presente estudio; S_{usable} es el área usable del edificio; y S_{cierre} es el área de paredes, piso y cielo. Planteamos esta fórmula para diversas configuraciones de edificios en términos d:

1. Plano de piso tiende a círculo

$$E = S_{usable}/S_{walling} = \pi r^2 / (2\pi r h + 2\pi r^2) = 0,5r/h+r, \text{ donde } r \text{ es el radio del círculo; } h \text{ es la altura del piso.}$$

2. Plano de piso tiende a cuadrado

$$E = S_{usable}/S_{walling} = \pi r^2 / (4ah + 2a^2) = 0,5a/h+r, \text{ donde } a \text{ es el lado del cuadrado; } h \text{ es la altura del piso.}$$

3. Plano de piso tiende a rectángulo

$$E = S_{usable}/S_{walling} = ab / (2h*(a+b) + 2ab) = 0,5ab/(a+b)*h+ab, \text{ donde } a \text{ y } b \text{ son el ancho y el largo del rectángulo, respectivamente; } h \text{ es la altura del piso.}$$



4. Plano de piso tiende a triángulo

$E = S_{usable}/S_{walling} = (a^2/2)/(1.41ah+2ah+a^2) = a/(6.82h+a)$, donde a es el lado de un triángulo rectángulo isósceles igual a medio cuadrado; h es la altura del piso.

Con respecto a los principios de diseño de edificios energéticamente eficientes y respetuosos del medio ambiente que se han estudiado en detalle en teoría y en la práctica, debe tenerse en cuenta que estos principios prácticamente no se aplican en Ucrania en este momento, lo que queda demostrado por el hecho de que el consumo de energía de la mayoría de los edificios en Ucrania es en promedio 2-3 veces mayor que en Europa (Zubko, 2019). Hoy en día, tanto la cuestión de la influencia de la forma del edificio en la eficiencia energética, incluidas las interacciones de las formas y las tecnologías modernas destinadas a aumentar la eficiencia energética, como el uso de energías renovables en la arquitectura, ha sido poco estudiada en el ámbito científico y en la práctica del diseño. Además, la cuestión del diseño y la construcción de edificios multifuncionales energéticamente eficientes y respetuosos del medio ambiente no recibe suficiente atención a nivel nacional y prácticamente no se han implementado ejemplos de tales objetos. En este sentido, utilizando el método de diseño experimental, en este estudio se crea el modelo de complejo multifuncional energéticamente eficiente y respetuoso con el medio ambiente, con el objetivo de seguir desarrollando propuestas para reducir el impacto negativo de estos edificios sobre el medio ambiente. Además, en la práctica internacional, las medidas arquitectónicas y tecnológicas para asegurar la sostenibilidad de los edificios se orientan en la mayoría de los casos a la aplicación de soluciones de ingeniería y no tan frecuentemente a las soluciones arquitectónicas. Por lo tanto, este artículo también tiene como objetivo desarrollar principios científicos y recomendaciones con respecto a la determinación de una forma óptima para los planos de construcción y sus configuraciones basándose en el ejemplo del diseño de un complejo multifuncional ecológico y energéticamente eficiente en Kiev. La solución del diseño incorpora la idea de combinar fuentes de energía tradicionales y alternativas (por ejemplo, paneles solares), idea que surgió debido a la sobrecarga del suministro público en la región; por tanto, este estudio presenta propuestas de diseño para el máximo aprovechamiento de la energía solar teniendo en cuenta el régimen de insolación de la isla y examinando la influencia de los indicadores de rendimiento energético relacionados con la forma.

El complejo arquitectónico, cuya concepción se elaboró durante el diseño experimental, está ubicado en la isla Rybalsky, en Kiev, Ucrania, y combina funciones distribuidas en los bloques "A", "B", "C" y "G" (Figura 7), como se indica a continuación:

- Función residencial: dos torres de 42 pisos con departamentos tipo hotel, bloques "B" y "C" (Figura 8), con una altura de 167 m. Estos bloques tienen una planta en forma de triángulo con esquinas redondeadas.
- Función pública:
 - Centro comercial, cultural, de ocio y de negocios con mayor número de plantas; el bloque "G" (Figura 9) consta de áreas comerciales y de servicios (tiendas, boutiques y otras empresas comerciales). El bloque "G", al igual que los bloques "B" y "C" antes mencionados, tiene la forma de un triángulo con esquinas biseladas.
 - Áreas de restaurantes.
 - Áreas de entretenimientos (por ejemplo, salas de bolos, salas de billar).
 - reas culturales, incluidas zonas de entretenimiento y clubes (con salas de exposición, un cine, una sala de conciertos y locales de club).
 - Área de oficinas.
 - Zonas auxiliares.
- Su función técnica es la un estacionamiento bajo tierra de varios niveles con espacio para 7.500 automóviles y funciones adicionales de servicio y recreación; este es el bloque "A" (Figura 10), que tiene forma ovalada.



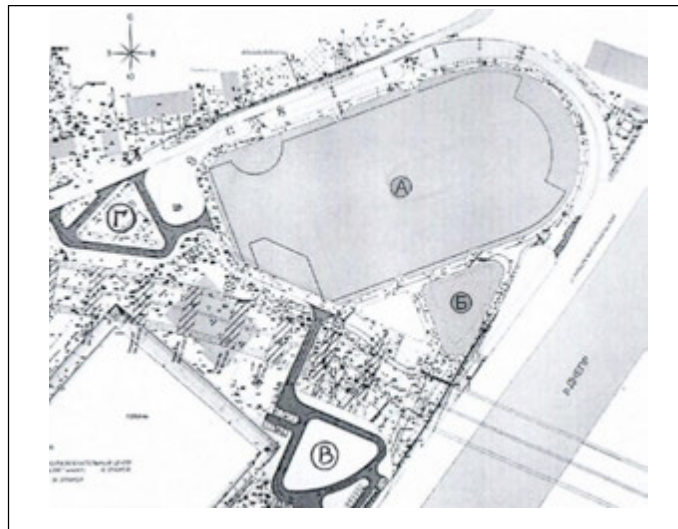


Figura 7. Esquema de planificación de espacios de un complejo multifuncional en la Isla Rybalsky, Kiev

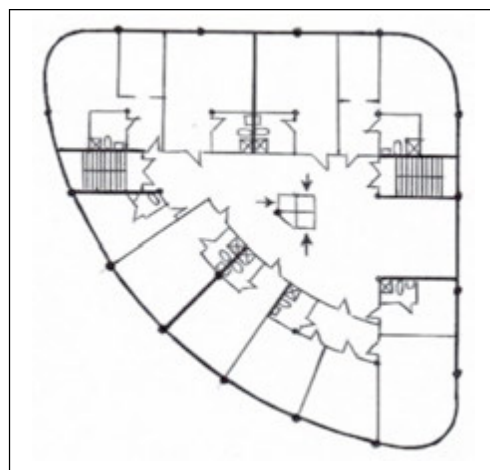


Figura 8. Bloques "B" y "C": apartamentos tipo hotel

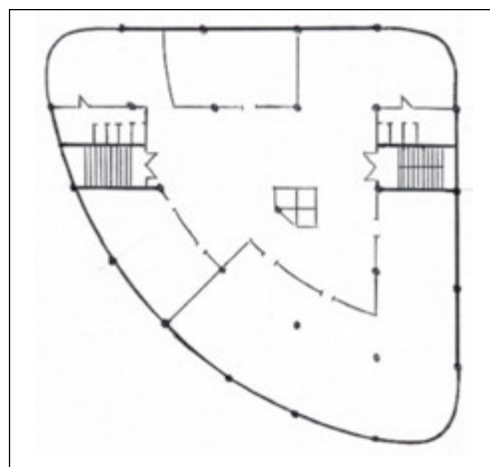


Figura 9. Bloque "C": compras, cultura, entretenimiento y negocios



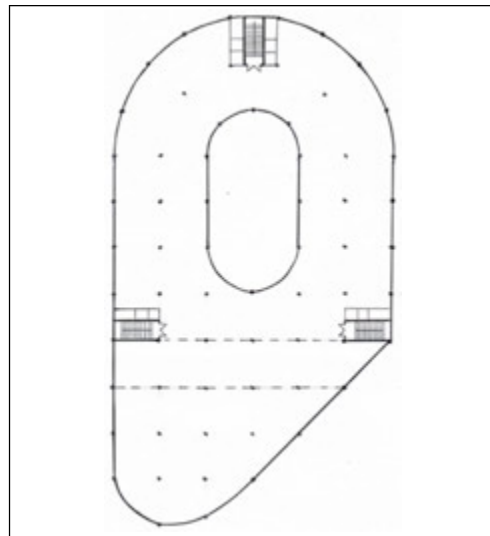


Figura 10. Bloque "A":estacionamiento subterráneo de varios niveles con servicio adicional y función recreativa

En este complejo se han establecido los siguientes principios tecnológicos que aseguran la eficiencia energética:

- Uso de insolación y ventilación naturales. El diseño de los bloques de gran altura permite el uso de ventilación natural en las habitaciones durante la temporada cálida, lo que reducirá los costos de energía para el aire acondicionado.

- Uso de iluminación natural. Se logra un alto nivel de iluminación natural por medio de la transparencia de las fachadas del bloque.

- uso de fuentes de energía limpia independientes y renovables como paneles solares y paneles fotovoltaicos. Las baterías pueden constar de varios módulos, mientras que la energía generada por cada elemento depende directamente de su área, posición relativa al sol e intensidad de radiación. Los bloques "B", "C" y "G" están diseñados para utilizar una alimentación solar pasiva parcial, con paneles solares instalados en los techos de estos edificios con un ángulo de inclinación de 30 ° y orientados al sur. En las fachadas sur y oeste de las torres también se proporcionan paneles fotovoltaicos con una superficie total de 6.000 m², encolados sobre vidrio templado e integrados en las fachadas de las torres en forma de tiras de 100-150 cm de ancho.

- Uso de cerramientos y materiales de construcción y sistemas de fachada eficaces. Se recomienda un recubrimiento de polímero de tres capas, ya que es un material energéticamente eficiente que transmite bien la luz solar y protege el interior de cambios bruscos de temperatura.

- Uso de nuevas tecnologías para la automatización del control (sistemas de control "inteligentes") para asegurar de modo óptimo el funcionamiento de los sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración. Así, todos los sistemas mecánicos de las ventanas del complejo están controlados por un sistema "inteligente", asegurando el funcionamiento óptimo de los sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración. Por ejemplo, en condiciones climáticas adversas, las ventanas se cierran automáticamente y se enciende el sistema de ventilación y calefacción mecánica; en clima soleado y cálido, por el contrario, las ventanas se abren automáticamente.

- Empleo de soluciones de planificación espacial racionales, compactas, de ahorro energético mediante la optimización de parámetros y formas arquitectónicas de los bloques complejos.

- Utilización de sistemas de tratamiento de aguas de lluvia y residuales en los sótanos de los bloques, reduciendo el consumo de agua del sistema central de abastecimiento de agua en un 20-30%. El agua purificada se puede utilizar para el riego de jardines de invierno, por lo que el principio de organización se describe a continuación.



Figura 11. El techo verde del bloque "A" y la disposición de los jardines de invierno en el rascacielos, bloques "B", "C" y "G" del complejo multifuncional en la isla Rybalsky, Kiev

En este proyecto se presta especial atención a los principios de respeto al medio ambiente, con el objetivo de:

- *Asegurar la relación visual y funcional del complejo con la naturaleza, lo que es especialmente relevante en un contexto de creciente urbanización y se logra mediante la creación de jardines dentro de los edificios. Por lo tanto, de acuerdo con la decisión de diseño, el complejo multifuncional en la isla Rybalsky es un ecosistema complejo que genera y mantiene de manera independiente un microclima que brinda protección contra la radiación solar excesiva y el ruido, mientras mantiene un nivel óptimo de humedad en el ambiente interior. Los jardines de invierno, que la solución de diseño coloca en medio de los bloques de gran altura del complejo (Figura 11), juegan un papel sustancial en la creación del microclima. También deberían organizarse jardines de invierno en el techo plano de un aparcamiento de varios niveles (bloque "A"). La jardinería juega un papel importante: sirve como protector solar, reduce el efecto de la "cúpula de calor" ("isla de calor"), ayuda a reducir la pérdida de calor, ayuda a mantener la humedad del aire requerida, regula la composición del aire, reduce la temperatura ambiental en las habitaciones en verano (se ha demostrado experimentalmente que en habitaciones con espacios verdes la temperatura del aire es más baja que en las habitaciones donde no hay paisajismo natural, siendo las demás condiciones similares), y ayuda a reducir la pérdida de calor en invierno.*

- *Clasificar la basura. En la zona comercial del complejo, se proporcionan contenedores para la utilización separada de los desechos domésticos, lo que ayudará a reducir la contaminación ambiental y del aire durante su eliminación posterior.*

3. Resultados

El estudio de la experiencia internacional en el diseño de edificios energéticamente eficientes y respetuosos del medio ambiente nos ha permitido dividir todas las medidas destinadas a reducir el consumo energético y mejorar la sostenibilidad medioambiental de los complejos multifuncionales en dos tipos, a saber, medidas tecnológicas y de ingeniería, así como propuestas arquitectónicas y urbanísticas. Es importante que estas medidas se apliquen de conjunto para lograr los mejores resultados. Al desarrollar este proyecto, se demostró que los principios básicos de eficiencia energética y respeto al medio ambiente, aplicados en la práctica internacional al diseñar edificios con diversos propósitos funcionales, también se pueden aplicar al diseño de complejos multifuncionales en Ucrania. Las principales medidas identificadas para mejorar la eficiencia energética son el uso de insolación y ventilación naturales, la reducción del consumo de energía mediante el uso de fuentes de energía renovables y el uso de materiales y formas arquitectónicas que ahorren energía, teniendo en cuenta la función y la eficiencia energética. Sin embargo, es importante señalar que los principios del diseño sostenible deben adaptarse al contexto del país. Por ejemplo, el predominio de estructuras translúcidas en la fachada es una recomendación general, por lo que la elección del tipo de acristalamiento debe hacerse en función de las condiciones climáticas y

ambientales de la ciudad en la que se va a construir el conjunto. Además, el nivel de luz natural debe determinarse en función de la orientación del edificio y la región en la que se va a construir. Además, el uso de paneles solares y otros convertidores de energía natural requiere la disponibilidad de especialistas en el país para darles servicio. Por otra parte, para asegurar la circulación y la purificación del agua se requiere la instalación de equipos adecuados, mientras que para la clasificación eficiente de la basura, es necesario tener iniciativas a nivel de ciudad para procesar los desechos a mayor escala.

En nuestra opinión, al diseñar complejos multifuncionales en Ucrania, se debe prestar más atención a minimizar la pérdida de calor de los edificios, mejorando el confort de la permanencia dentro del complejo a través de interconexiones funcionales y visuales con el entorno, creando un microclima especial, integrando elementos naturales en el edificio y maximizando el potencial arquitectónico de los recursos naturales. La eficiencia energética en la arquitectura debe hacerse realidad mediante el uso de formas de construcción compactas y el empleo activo de fuentes de energía alternativas (paneles solares) en todo el edificio. En el caso del estudio, la capacidad nominal de cada una de las torres de apartamentos de 42 pisos es de 3000 kW. Como ya se mencionó, se prevén fuentes renovables independientes de energía limpia para los pisos superiores de estas torres, con paneles solares de 1.600 x 100 x 35 mm de tamaño. Estos absorben y convierten la luz solar en corriente eléctrica continua, la que posteriormente se convierte en corriente alterna para el suministro al edificio por medio de un inversor. La solución de diseño incluye el uso de un sistema fotovoltaico ECO TECH con una capacidad de 65 kW. Así, la instalación en el nivel superior de 7-8 paneles con una capacidad de 65 kW cada uno permite obtener 450 kW de energía "adicional". Esto nos permite concluir que el uso de estas fuentes de energía puede cubrir un 15-20% de la carga energética total del complejo, lo que significa que el uso de energía solar reducirá significativamente el consumo eléctrico centralizado de las redes urbanas. Sin embargo, es importante señalar que no se consideró como opción el suministro completo de energía solar para el complejo, ya que el área de las superficies aisladas es pequeña en comparación con el volumen total del mismo.

Durante el diseño se llevó a cabo una importante investigación científica acerca de la optimización de los parámetros y formas arquitectónicas del complejo. Además, se realizó el modelado experimental en condiciones de laboratorio en la Universidad Nacional de Construcción y Arquitectura de Kiev, así como en una organización pública, la Academia de Construcción de Ucrania (Instituto de Investigación de Estructuras de Edificación), ensayando los modelos complejos reducidos y comparando los indicadores obtenidos de una cámara termográfica (Pulsar Quantum Lite 30), así como los obtenidos de una tubería aerodinámica. La pérdida de calor de habitaciones y edificios, medida con una cámara termográfica, que fue arrendada a la empresa Modern Business Security Systems SSBB, Ucrania, Kiev, mostró la dinámica de pérdida de calor, lo que ayudó a determinar sus causas en diferentes partes de los edificios. Los resultados de la medición mostraron que el 25% de la cantidad total de pérdida de calor se produjo a través de las paredes, es decir, a través de las estructuras de cerramiento, lo que permitió elegir la forma óptima de planta para los bloques del complejo. Los cálculos relevantes de eficiencia energética (E), según las fórmulas presentadas en la sección de métodos, se presentan en la (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de la forma del edificio en planta y su eficiencia energética, E

Forma en planta	$S_{\text{usabler}} \text{ m}^2$	Dimensiones de la planta, m	h, m	$S_{\text{walling}} \text{ m}^2$	E
Rectángulo	100.	a=5, b=20	3.	350.	0.29
Cuadrado	100.	a=10	3.	320.	0.31
Círculo	100.	r=5.64m	3.	306.26	0.33
Triángulo	98.	a=14	3.	339.22	0.29

En base en estos cálculos, se concluyó que el uso de esquemas de distribución compacta, como un cuadrado o un círculo, aumenta la eficiencia energética de un edificio en un 7% y un 14%, respectivamente, en comparación con los edificios rectangulares. Un edificio de planta triangular tiene el mismo indicador E que uno rectangular, pero esta forma permite reducir el área de la envolvente del edificio, a través de la cual se produce una pérdida de calor significativa. Ante este hecho, la solución de diseño utiliza bloques con un reducido perímetro de paredes, por lo que la planta del bloque "A" tiene la forma de un triángulo adyacente a un cuadrado. Los bloques "B", "C" y "G" del plano tienen forma triangular, lo que permite introducirlos en el plano maestro del complejo al



tiempo que mejora la eficiencia energética. En la parte central, hay huecos de ascensores y atrios que recorren toda la altura de las torres; estos, además de las funciones estéticas, cumplen la función de conductos de ventilación natural. En los bloques "B" y "C" se proporciona un espacio de lobby, incluyendo áreas recreativas con ventanas panorámicas del paisaje costero, que conecta visualmente el interior del complejo con su entorno, brindando confort visual y reduciendo así la arquitectura visual de la ciudad.

Es importante señalar que el mejor indicador de la diferencia entre el valor calculado de la pérdida de calor específica y el valor máximo permisible en la solución de diseño fue dado por una planta triangular para las torres y una planta ovalada para el estacionamiento bajo tierra del bloque "A". Así, una evaluación comparativa nos permite elegir la forma más aceptable del edificio con dimensiones y características óptimas para producir la menor pérdida de calor.

4. Discusión

En este estudio se plantearon propuestas para optimizar un plan de edificación, permitiendo así aumentar en un 14% la eficiencia energética del edificio. Cabe señalar que los estudios de T.A. Markus y E.N. Morris (Markus & Morris, 1985) ya se realizaron en la dirección de aumentar la compacidad del volumen del edificio con el fin de reducir la pérdida de calor y, en consecuencia, el consumo de energía; Este aspecto también fue considerado por D. Page (Page, 1974). Por su parte, investigadores como A. De Gracia y A. Cabeza (De Gracia y Cabeza, 2015) consideraron las cuestiones relacionadas con la reducción del consumo energético de los edificios mediante la optimización de las envolventes de los edificios. De acuerdo con esto, en el presente artículo se demostró que la optimización de la planta también puede ser apropiada al diseñar edificios en Ucrania, lo que facilita ahorros significativos en el consumo de energía. La optimización de la planta y la envolvente del edificio, que se puede aplicar en las condiciones climáticas de Ucrania, sin duda permitirá alcanzar indicadores de eficiencia energética más altos, que, combinados con soluciones de ingeniería y tecnología para garantizar la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente, permitirán una significativa reducción del consumo de energía.

Se comprobó que el uso de fuentes de energía alternativas puede compensar al menos un 15-20% de la carga energética total del complejo. (Chel y Kaushik, 2018), (Karti, 2017), y (Kashchenko, 2001) ya han realizado investigaciones sobre el uso de fuentes de energía alternativas, por lo que se demostró que el uso de estas fuentes es posible en el contexto de Ucrania. Sin embargo, es importante señalar que no se consideró el suministro completo de energía solar del complejo; esta podría ser la siguiente etapa de la investigación, basada en el estudio de la experiencia internacional.

5. Conclusiones

Sobre la base del estudio que explora los principios científicos del diseño energéticamente eficiente y respetuoso del medio ambiente, se propuso un concepto para aumentar la eficiencia energética de un complejo multifuncional. También se formulan recomendaciones sobre el uso coherente de diversas medidas y métodos en relación con la arquitectura de edificios y complejos multifuncionales energéticamente eficientes y respetuosos del medio ambiente.

La contribución científica de este artículo radica en el concepto propuesto de mejorar la eficiencia energética de los edificios optimizando las principales características de sus formas, utilizando fuentes de energía alternativas, como paneles solares, empleando tecnologías de ahorro de energía en la etapa de diseño y utilizando principios científicos de eficiencia energética. La aplicación de los principios presentados en el artículo en la práctica del diseño reducirá el consumo de energía centralizado, aumentando así la eficiencia energética, el respeto al medio ambiente y el confort de los edificios diseñados. También hará más económica su operación posterior, lo que confirma la hipótesis de este artículo en términos de la necesidad de realizar un diseño en condiciones modernas, para aumentar la comodidad de los usuarios del objeto arquitectónico y reducir su impacto negativo en el medio ambiente, guiado por los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente.

Los métodos para el diseño arquitectónico de edificios y complejos multifuncionales energéticamente eficientes consisten en la selección de parámetros arquitectónicos y de planificación que proporcionarán la tasa de pérdida de energía más baja. Como resultado del estudio, las formas óptimas para edificios multifuncionales se determinaron en el contexto de la influencia de estas formas y de los parámetros del edificio, así como el impacto de las decisiones de ingeniería en la eficiencia energética.



6. Agradecimientos

El estudio se llevó a cabo en el contexto de los planes de investigación del Departamento de Diseño Arquitectónico de Edificios y Estructuras Civiles, de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Ingeniería Civil y Arquitectura de Kiev en Ucrania, así como la Academia de Ingeniería Civil y la Unión de Arquitectos de Ucrania. Los materiales de investigación se han expuesto repetidamente en conferencias científicas y prácticas internacionales.

Se expresa un agradecimiento especial al personal del Mosproject-2 Design Institute. M. V. Posokhina (Moscú, Rusia) y la Universidad Estatal de Arquitectura e Ingeniería Civil de San Petersburgo (San Petersburgo, Rusia) por el diseño y el apoyo técnico en la preparación de este estudio.

7. Referencias

- Amasyali, K.; El-Gohary, N. M. (2018).** A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1192 – 1205.
- Bauer, M.; Mosle, P.; Shvarz, M. (2007).** *Green building. Konzepte für nachhaltige Architektur*. Munhen: Callwey, p. 207.
- Beregovoi, A.M. (2005).** *Energy-efficient buildings*. Penza, p. 48.
- Boemi, S. N.; Irulegi, O.; Santamouris, M. (2015).** *Energy Performance of Buildings: Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates*. Springer, p. 543.
- Borodach, M. M. (1990).** *Isoperimetric optimization of solar energy activity of buildings*. Tashkent: Geliotechnika 2.
- BP. (2019).** BP Energy Outlook. Retrieved from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf> Accessed January 29, 2020.
- Chel, A.; Kaushik, G. (2018).** Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 655 – 669.
- De Gracia, A.; Cabeza, L. F. (2015).** Phase change materials and thermal energy storage for buildings. *Energy and Buildings*, 103, 414 – 419.
- Desideri, U.; Asdrubali, F. (2018).** *Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach*. Heinemann, p. 858.
- Dymo, B.V. (2007).** *Foundations of an energy audit*. Mikolaev: National University of Shipbuilding Admiral Makarov, p. 128.
- Farenjuk, G. G. (2009).** *Thermal reliability of building envelopes and energy efficiency of buildings during new construction and reconstruction*. Poltava: PolNTU, p. 36.
- Ghosh, S.; Dhaka, A. (2015).** *Green Structures: Energy Efficient Buildings*. Ane Books, p. 200.
- Kanygin, P. S. (2010).** *Economics of developing alternative energy sources: On the example of the EU*. Moscow, p. 344.
- Kashchenko, T. A. (2001).** *Improving the energy efficiency of residential buildings based on the optimization of their forms*. Kiev, p.19.
- Krarti, M. (2017).** *Advanced Energy Efficient Building Envelope Systems*. American Society of Mechanical Engineers (ASME), p. 134.
- Krarti, M. (2017).** *Energy-Efficient Electrical Systems for Buildings*. CRC Press, p.494.
- Krarti, M. (2018).** *Optimal Design and Retrofit of Energy Efficient Buildings, Communities, and Urban Centers*. Butterworth-Heinemann, p. 646.
- Markus, T. A.; Morris, E. N. (1985).** *Buildings, climate, and energy*. Leningrad: Gidrometiozdat.
- Nemirovskii, I. A.; Ovsyannikova, I.M. (2009).** *Guidelines for the implementation of practical work on the topic "Energy Audit of the Lighting System" for the course "Energy Management and Energy Audit"*. Kharkov: NTU KhPI, p. 23.
- Page, J. K (1974).** Optimization of building shape to conserve energy. *Journal of Architectural Research*, 3(3), 20 – 28.
- Pacheco-Torgal, F.; Granqvist, C. G.; Jelle, B. P.; Vanoli, G. P.; Bianco, N.; Kurnitski, J. (2017).** *Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting: Materials, Technologies, Optimization and Case Studies*. Woodhead Publishing, p. 632.
- Proskuryakova, L.N. (2017).** *Renewable Energy 2030: global challenges and long-term trends of innovative development*. Moscow: NRU HSE, p. 96.
- Schmidt, M. (2016).** *Green Building and Energy Efficiency*. Syrawood Publishing House, p.272.
- Sergeitschuk, O. V. (2008).** *Geometric modeling of physical processes while optimizing the shape of energy-efficient buildings*. Kiev, p. 39.
- Shkodovsky, Yu. M. (2007).** *Methodological foundations of environmental rehabilitation of the architectural environment of the city*. Kharkov, p. 40.
- Shukla, A.; Sharma, A. (2018).** *Sustainability through Energy-Efficient Buildings*. CRC Press, p. 296.
- Solovei, O. I. (2005).** *Energy audit: study guide for students of higher education institutions*. Cherkasy: ChNTU, p. 299.
- Sterling, R.; Karmody, J.; Allison, T.; Shipp, P.; Tillman, T.L.; Lande, M.; Nelson, Ch. et al. (1983).** *Design of buried dwellings*. Moscow: Stroizdat, p.192.
- Tabunshchikov, Yu. A. (1998).** Scientific basis for the design of energy-efficient buildings, *ABOK*, 1.
- Troi, A., & Bastian, Z. (2014).** *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*. Birkhäuser, p. 336.
- United Nations. (2019).** Sustainable Development Goals. 17 Goals To Transform Our World. Retrieved from: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/> Accessed January 29, 2020.
- Wines, J. (2000).** *Green architecture*. Taschen, p. 240.
- Zubko, G. (2019).** Energy consumption in Ukraine is more than two times higher than in Europe. *Finance.ua*. Retrieved from: <https://news.finance.ua/ru/news/-/443544/energopotreblenie-v-ukraine-bolee-chem-v-dva-raza-vyshe-chem-v-evrope-zubko> Accessed January 29, 2020.

