

д. т. н., професор **Мартинів В. Л.**,
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

аспірант, **Поляк Ю.Ю.**

y_polyk@gmail.com

аспірант **Мартинюк О.Л.**

martynuk@ukr.net

аспірант **Банний Т.А.**

tarasbannyi@gmail.com

Київський національний університет будівництва і архітектури

СТРУКТУРІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ З ЕЛЕМЕНТАМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Актуальність проектування зелених енергоефективних будівель зростає через глобальні виклики зміни клімату, зменшення природних ресурсів та необхідність скорочення викидів парникових газів. Такі будівлі дозволяють значно знизити енергоспоживання, використовуючи інноваційні технології, відновлювальні джерела енергії та екологічно чисті матеріали, що не тільки сприяє збереженню навколишнього середовища, але й забезпечує економію для власників і орендарів. В умовах жорстких екологічних стандартів та зростаючого попиту на стійкі й ефективні рішення, зелені будівлі стають важливим елементом сталого розвитку та конкурентної переваги в будівельній галузі.

При проектуванні та реконструкції зелених будівель постає задача визначення, засобів для підвищення енергоефективності будівель.

У статті запропоновано структуру заходів для підвищення енергоефективності та зменшення енергоспоживання зелених енергоефективних будівель.

Заходи включають оптимізацію геометричних параметрів будівель (форми, орієнтації, площі елементів, опору теплопередачі та інше), геометричних параметрів інженерних систем, що забезпечують використання екологічно чистих джерел енергії для енергозабезпечення будівель.

Проведено дослідження та визначено вагові коефіцієнту впливу кожного заходу (межі допустимого ефекту) і запропоновано аналітичні залежності розрахунку впливу заходів на споживання будівель. Таким чином для проєктувальника, енергоаудитора створено спосіб попереднього визначення енергоспоживання за рахунок використання певних енергоефективних заходів.

При виконанні нового будівництва та реконструкції зеленої будівлі проєктувальник отримує спосіб швидкого оцінювання зміни енергоспоживання за рахунок енергоефективних заходів.

Ключові слова: зелені будівлі; енергоефективні будівлі; оптимальні параметри; геліосистеми; оптимізація геометричних параметрів; геометричне моделювання; архітектурне проєктування.

Постановка та актуальність проблеми. Нині актуальність проєктування зелених будівель сьогодні зростає в Україні та у світі через кілька глобальних факторів, серед яких є зміна клімату, зростання населення, обмежені природні ресурси та необхідність скорочення викидів парникових газів, зменшення рівня енергоспоживання будівель та інше.

Зелена архітектура передбачає використання інноваційних енергоефективних рішень, таких як сонячні панелі, системи рециркуляції води, інтелектуальні системи управління освітленням і вентиляцією, оптимізація параметрів будівель та інше (рис.1). Це дозволяє значно зменшити витрати на енергоресурси та забезпечити сталий розвиток.

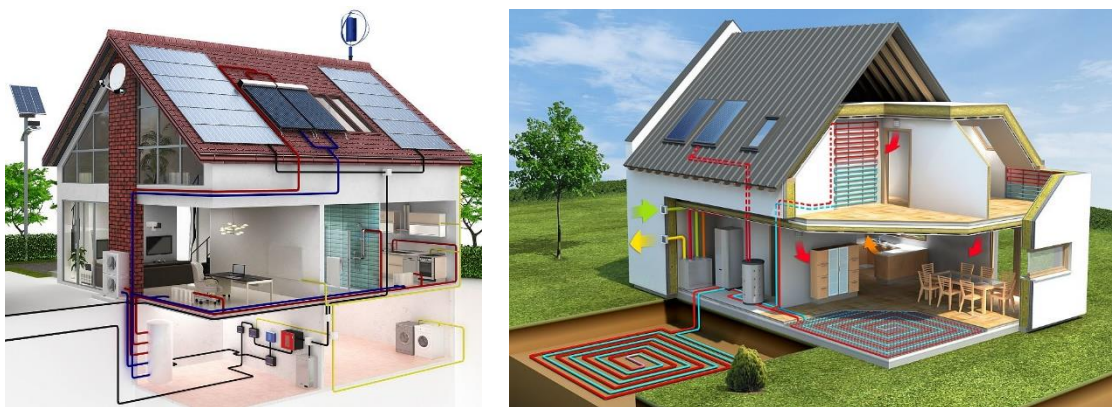


Рис.1. Енергоефективні зелені будівлі з використанням фотоелектричних модулів та теплових насосів для енергозабезпечення

Разом з тим для створення енергоефективної зеленої будівлі необхідно визначити систему заходів та коефіцієнтів впливу кожного із заходів на рівень енергоспоживання будівель для застосування при новому будівництві та термомодернізації для досягнення визначеного рівня енергоефективності будівель. Необхідно створити систему аналітичних розрахунків впливу кожного з заходів на рівень енергоспоживання будівель.

Аналіз попередніх досліджень. У напрямку використання геліосистем, підвищення енергоефективності будівель, визначення оптимальних геометричних параметрів будівель було проведено наступні дослідження.

У дослідженні [1] питання оптимізації параметрів утеплювача розглянуто в загальному вигляді без урахування гранної форми будівлі. У роботі [2] досліджувалося залежність оптимальної форми тіла від

характеристик теплового поля, у якому воно знаходиться. Таке тіло названо квазікулею. Питання оптимального розподілу утеплювача по теплоізоляційній оболонці не розглядалося. У працях [3, 4, 5] розглядалося питання визначення оптимальної та раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з урахуванням теплового балансу конструкцій. У дослідженнях [6, 7] розглядалися питання оптимізації геометричної форми будівлі та розміру світлопрозорих будівель. У роботі [8] досліджувалося питання оптимізації форми енергоефективних будівель, оптимізації орієнтації та площі вікон, оптимізації теплоізоляційної оболонки будівель. Але питання вагових коефіцієнтів та впливу заходів на енергоспоживання зелених будівель не розглядалося. У роботі [9] розглядалися питання щодо використання сонячної енергії для енергозабезпечення будівель. У дослідженні [10] розглядалися питання оптимізації процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами, але питання вагових коефіцієнтів і впливу їх на енергоефективність не розглядалися.

Разом з тим, у наведених роботах питання систематизації впливу факторів на енергоспоживання зелених будівель та визначення їх вагових коефіцієнтів для розрахунку не розглядалося.

Мета дослідження. Провести дослідження та розробити структуру застосування заходів та вагові коефіцієнти їх впливу на енергоспоживання зелених будівель, а також аналітичні залежності впливу заходів на енергоспоживання будівель.

Хід дослідження. Проведено аналіз основних показників енергоспоживання будівель (рис. 2) використовуючи енергетичні сертифікати. Згідно енергетичного сертифікату будівель енергоспоживання будівлі виглядає наступним чином.

Переважаю більшість енергетичних витрат, як правило, становлять наступні показники.

1. Енергоспоживання систем опалення $Q_{оп}$ (трансмісійні витрати $Q_{т}$ через огорожувальні конструкції та витрати $Q_{в}$ на вентиляцію та нагрів повітря).

2. Енергоспоживання $Q_{гв}$ систем гарячого водопостачання.

3. Енергоспоживання $Q_{осв}$ систем освітлення.

4. Енергоспоживання $Q_{ох}$ систем охолодження (кондиціонування).

5. Енергоспоживання систем вентиляції $Q_{вент}$.

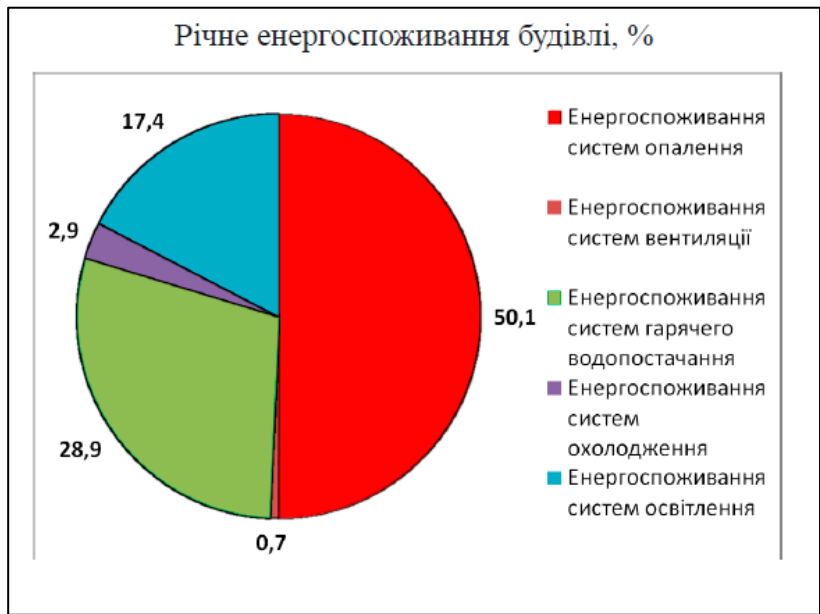
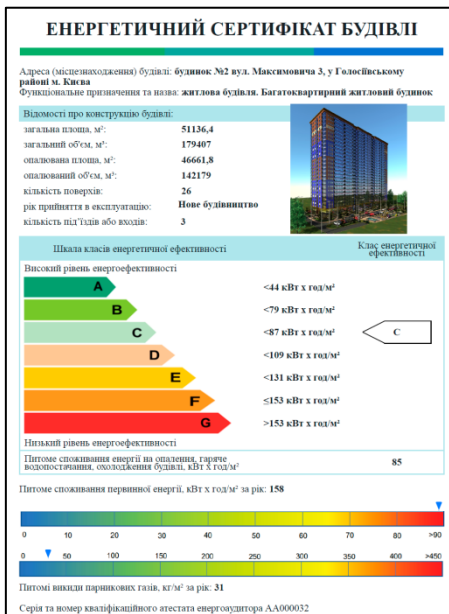


Рис. 2. Сертифікат будівлі. Річне енергоспоживання будівлі

Проведено дослідження, та для зменшення енергоспоживання зелених будівель запропоновано комплекс засобів (рис. 3), що приведуть до зменшення енергоспоживання будівель. Кожний засіб характеризується ваговим коефіцієнтом $K_{x,x}$, зменшення енергоспоживання. Також визначено геометричні параметри будівлі та інженерних систем, оптимізація яких призведе до мінімізації енергоспоживання будівель.

Наприклад ваговий коефіцієнт «Оптимізації пропорцій будівлі» $K_{1.1.3}$ [1, 0.66] може змінюватися від 1 до 0.66. Змінними параметрами є геометричні параметри форми (довжина a , ширина b , висота h , радіус r) та інше.

Заходи для зменшення енергоспоживання за рахунок оптимізації геометричних параметрів будівель на малюнку виділено кольором.

Після проведення заходів зі зменшення енергоспоживання будівель проєктувальник може визначити змінні показники $DQ_{оп}$ енергоспоживання за групами та будівлі в цілому.

Аналітичний розрахунок визначення енергоспоживання

Основні показників енергоспоживання будівель (рис. 2) після застосування заходів з енергозбереження розраховуються аналітично.

1. Енергоспоживання систем опалення $DQ_{оп}$.

1.1 Трансмісійні витрати DQ_T через огорожувальні конструкції

$$DQ_T = Q_T \cdot K_{1.1.1} \cdot K_{1.1.2} \cdot K_{1.1.3} \cdot K_{1.1.4} \cdot K_{1.1.5} \cdot K_{1.1.6} \cdot K_{1.1.7} \cdot K_{1.1.8} \quad (1)$$

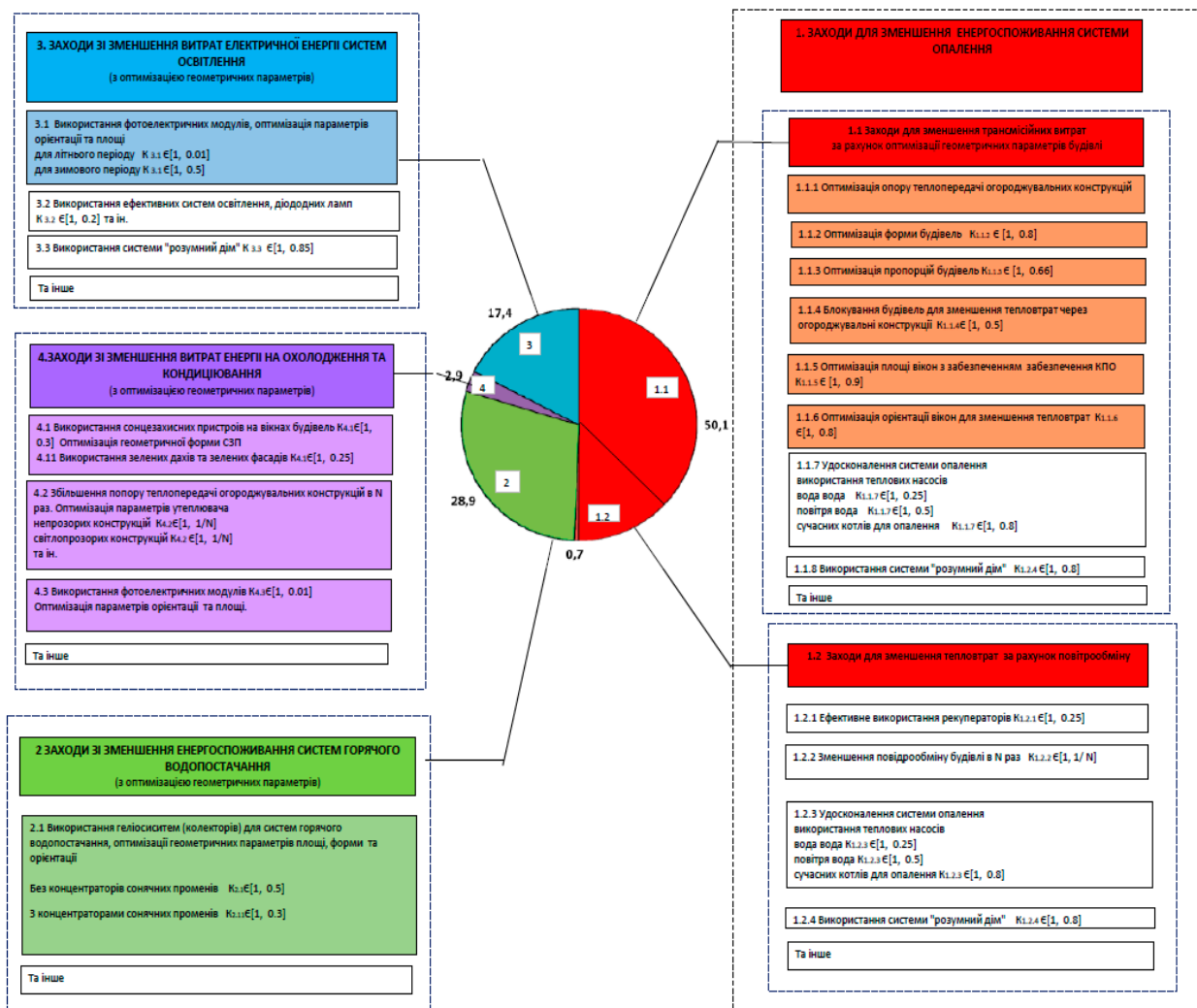


Рис. 3. Структура заходів для зменшення енергоспоживання зелених будівель з ваговими коефіцієнтами $K_{x.x}$. впливу на енергоспоживання

1.2 Енергоспоживання за рахунок енерговитрат DQ_B на підігрів повітря, що надходить

$$DQ_B = Q_B \cdot K_{1.2.1} \cdot K_{1.2.2} \cdot K_{1.2.3} \cdot K_{1.2.4} \quad (2)$$

2. Енергоспоживання $DQ_{ГВ}$ систем гарячого водопостачання

$$DQ_{ГВ} = Q_{ГВ} \cdot K_{2.1} \quad (3)$$

3. Енергоспоживання $DQ_{осв}$ систем освітлення

$$DQ_{осв} = Q_{осв} \cdot K_{3.1} \cdot K_{3.2} \cdot K_{3.3} \quad (4)$$

4. Енергоспоживання $DQ_{ох}$ систем охолодження (кондиціонування)

$$DQ_{ох} = Q_{ох} \cdot K_{4.1} \cdot K_{4.2} \cdot K_{4.3} \quad (5)$$

Загалом енергоспоживання $DQ_{оп}$ після використання заходів з енергозбереження визначається

$$DQ_{оп} = DQ_T + DQ_B + DQ_{ГВ} + DQ_{ох} + Q_{вент} \quad (6)$$

Таким чином проєктувальник може визначити межі допустимого зменшення енергоспоживання будівель і вибрати раціональне вирішення.

Висновки та перспективи. Проведено дослідження та запропоновано структуру заходів з підвищення рівня енергоефективності зелених будівель та зменшення енергоспоживання. Визначено вагові коефіцієнти $K_{x,x}$ від застосування кожного з заходів та наведено аналітичні залежності для визначення зменшеного рівня енергоспоживання $DQ_{оп}$ будівель. Визначено заходи які пов'язані з оптимізацією геометричних параметрів будівель та інженерних систем.

Проєктувальник та енергоаудитор під час термомодернізації будівлі, та при новому будівництві, використовуючи наведену структуру та аналітичні залежності може визначати подальші заходи для отримання будівлі зі зменшеним рівнем енергоспоживання.

Література

1. *Сергейчук О.В.* Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності. Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн». Сімферополь, 2009. С. 44–49.
2. *Сергейчук О. В.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01. Київ, 2008. 341 с.
3. *Мартинов В. Л.* Визначення допустимої зони розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах енергоекономічних будівель. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 1, 2011(66), ч. 1. С. 104–108.
4. *Мартинов В. Л.* Раціональна орієнтація віконних прорізів енергоефективних будівель. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ : КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 185–189.
5. *Мартинов В. Л.* Оптимальне розташування вікон в огорожувальних конструкціях енергоефективних будівель для п'яти кліматичних районів України. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* : наук.-техн. зб. Київ : КНУБА, 2014. Вип. 6. С. 192–198.
6. *Sergeychuk O., Martynov V. Virchenko G., Usenko I.* Optimization of forms and size of windows for energy conservation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018), Pp. 399-403. <https://DOI:10.14419/ijet.v7i4.8.27278>
7. *Sergeychuk O., Martynov V., Usenko I.* The definition of the optimal energy-efficient form of the building International. *Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018). Pp. 667-671. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14611
8. *Мартинов В. Л.* Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. докт. техн. наук :

05.01.01. Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2015. 39 с.

9. Константиновский Ю.А., Захаров А.И., Рабинович М.Д., Ферт А.Р. Использование солнечной энергии для тепло-снабжения зданий. Київ :Будівельник, 1985. 104с.

10. Кривенко О.В., Сингаєнко О.І. Оптимізація процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами. *Містобудування та територіальне планування: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць*. Київ :КНУБА, 2022. Вип. 81. С. 208–218. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.208-218>

References

1. *Sergeychuk O.V.* Optimization of the distribution of insulation on the surface at a given class of efficiency. Materials of the VI International Crimean Scientific and Practical Conference “*Geometric and computer modeling: energy saving, ecology, design.*” Simferopol, 2009. P. 44–49.
2. *Sergeychuk O. V.* Geometric modeling of physical processes when optimizing the shape of energy-efficient booths: abstract of thesis. ... Doctor of Engineering Sciences: 05.01.01. Kyiv, 2008. 341 p.
3. *Martynov V. L.* The value of the permissible zone for the expansion of light-transparent structures on the facades of energy-efficient buildings. *Bulletin of the Mikhail Ostrogradsky KrNU*. VIP. 1/2011(66), part 1. Pp. 104–108.
4. *Martynov V. L.* Rational orientation of the window slots of energy-efficient buildings. *Energy efficiency in everyday life and architecture*. Kyiv : KNUBA, 2013. VIP. 4. Pp. 185–189.
5. *Martynov V. L.* Optimal growth of windows in gardening structures of energy-efficient buildings for five climatic regions of Ukraine. *Energy efficiency in everyday life and architecture: science and technology zb*. Kyiv : KNUBA, 2014. VIP. 6. Pp. 192–198.
6. *Sergeychuk O., Martynov V. Virchenko G., Usenko I.* Optimization of forms and size of windows for energy conservation. *International Journal of Engineering & Technology*.7 (3.2) (2018) 399-403 <https://DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27278>
7. *Sergeychuk O., Martynov V., Usenko I.* The definition of the optimal energy-efficient form of the building. *International Journal of Engineering & Technology*. 7 (3.2) (2018) 667-671. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14611
8. *Martynov V. L.* Modeling of optimal geometric parameters in energy-efficient boosters of faceted shape: abstract. dis. doc. tech. Sciences: 05.01.01. Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. Kiev, 2015. 39 p.
9. *Konstantinovskiy Yu.A., Zavarov A.I., Rabinovich M.D., Fert A.R.* Use of solar energy for heat supply to buildings. Kyiv : Budivelnik, 1985. 104 p.

11. Krivenko O.V., Singayenko O.I. Optimization of the design process of high-rise buildings with integrated solar systems. Locality and territorial planning: interdepartmental scientific and technical collection of scientific works. Kyiv : KNUBA, 2022. Vip. 81. Pp. 208–218. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.208-218>

УДК 514.18

Doctor of Technical Sciences, Professor V.Martynov,
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970
graduate student, Yu.Polyak.
y_polyk@gmail.com
graduate student O.L.Martyniuk,
martynuk@ukr.net
graduate student T. Bannyi
tarasbannyi@gmail.com
Kyiv National University of Construction and Architecture

STRUCTURING OF MEASURES TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION OF GREEN BUILDINGS WITH ELEMENTS OF OPTIMIZATION OF GEOMETRIC PARAMETERS

The relevance of designing green energy-efficient buildings is growing due to the global challenges of climate change, the depletion of natural resources and the need to reduce greenhouse gas emissions. Such buildings allow for a significant reduction in energy consumption, using innovative technologies, renewable energy sources and environmentally friendly materials, which not only contributes to the preservation of the environment, but also provides savings for owners and tenants. In the context of strict environmental standards and the growing demand for sustainable and effective solutions, green buildings are becoming an important element of sustainable development and competitive advantage in the construction industry.

When designing and reconstructing green buildings, the task lies in determining the means and level of their impact to increase the energy efficiency of buildings.

The article proposes a framework of measures to increase energy efficiency and reduce energy consumption of green energy-efficient buildings.

The measures include optimization of the geometric parameters of buildings (shape, orientation, area of elements, heat transfer resistance, etc.), geometric parameters of engineering systems that ensure the use of environmentally friendly energy sources for energy supply of buildings.

Research was conducted and the weighting coefficient of the impact of each measure (limits of permissible effect) was determined and analytical dependencies for calculating the impact of measures on building consumption were proposed. Thus, a method for preliminary determination of energy

consumption through the use of certain energy-efficient measures was created for the designer and energy auditor.

When performing new construction and reconstruction of a green building, the designer receives a method for quickly assessing changes in energy consumption due to energy-efficient measures.

A study was conducted and the structure of measures to increase the energy efficiency of green buildings and reduce energy consumption was proposed. The weight coefficients $K_{x,x}$ from the application of each of the measures are determined and analytical dependencies for determining the reduced level of energy consumption of DQop buildings are given. Measures related to optimization of geometric parameters of buildings and engineering systems are defined.

The designer and energy auditor during the thermal modernization of the building, and during new construction, using the given structure and analytical dependencies, can determine further measures to obtain a building with a reduced level of energy consumption.

Keywords: green buildings, energy-efficient buildings, optimal parameters, solar systems, optimization of geometric parameters, geometric modeling, architectural design.