

УДК 515.2

БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ОСВІТЛЕННЯ ТА ІНСОЛЯЦІЇ

В. Л. Мартинов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ddd151@yandex.ru

При проектуванні енергоефективних та енергоекономічних будівель виникає завдання зменшення витрат на опалення, підвищення їх енергоефективності. Це можливо за рахунок оптимізації параметрів будинків. Розроблено методику багатопараметричної оптимізації енергоефективних гранних будівель (азимутальної орієнтації будівель, параметрів форми, опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій кожній грані, площі вікон на кожній грані будівлі) за критерієм мінімізації теплового балансу будівлі з оточуючим середовищем протягом опалювального періоду з урахуванням вимог освітленості та інсоляції. Для мансардного будинку, розташованого в м. Києві, оптимізація параметрів дала зменшення тепловтрат на 23,91 %. Дану методику можливо застосовувати при проектуванні енергоефективних і звичайних будинків.

Ключові слова: багатопараметрична оптимізація, енергоефективні будівлі, гранна форма, геометричне моделювання, тепловий баланс, норми освітленості, норми інсоляції.

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ОСВЕЩЕННОСТИ И ИНСОЛЯЦИИ

В. Л. Мартинов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ddd151@yandex.ru

При проектировании энергоэффективных и энергоэкономичных зданий возникает задача уменьшения затрат на отопление, повышения их энергоэффективности. Это возможно за счет оптимизации параметров зданий. Разработана методика многопараметрической оптимизации энергоэффективных гранных зданий (азимутальной ориентации зданий, параметров формы, сопротивления теплопередаче светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций каждой грани, площади окон на каждой грани здания) по критерию минимизации теплового баланса здания с окружающей средой в течение отопительного периода с учетом требований освещенности и инсоляции. Для мансардного здания, расположенного в г. Киев, оптимизация параметров дала уменьшение теплотерь на 23,91 %. Данную методику можно применять при проектировании энергоэффективных и обычных домов.

Ключевые слова: многопараметрическая оптимизация, энергоэффективные здания, гранная форма, геометрическое моделирование, тепловой баланс, нормы освещенности, нормы инсоляции.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. При проектуванні енергоефективних будівель виникає завдання оптимізації теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на тепловий баланс будівлі за рахунок оптимізації геометричних параметрів будівель: азимутальної орієнтації, пропорцій, розташування і площі світлових прорізів; оптимального розподілу утеплювача по огорожувальних конструкціях. Вдалий вибір параметрів дає можливість збільшити вплив тепла від сонячної радіації на оболонку будівлі та зменшити витрати на опалення протягом опалювального періоду.

Вирішенню питання підвищення енергоефективності будівель присвячені роботи [1–3], але в них визначалися оптимальні пропорції будівель з точки зору мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції за одним параметром пропорцій. У роботах [4, 5] окремо оптимізувалася форма будівлі та окремо – параметри утеплювача непрозорих конструкцій будівлі з точки зору мінімального теплового балансу огорожувальних конструкцій. У роботі [6] розглядалася багатопараметрична оптимізація енергоефективних будівель.

Питання методики комплексної оптимізації параметрів форми, орієнтації, площі конструкцій будівель з урахуванням норм інсоляції та освітлення не розглядалося.

Для підвищення енергоефективності будівель запропонувати методику багатопараметричної оптимізації енергоефективних будівель (оптимізації орієнтації, форми багатогранних будівель, опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, оптимальної площі і розташування вікон) з урахуванням норм інсоляції та освітлення приміщень. Критерій оптимізації – мінімізація теплового балансу огорожувальних конструкцій з оточуючим середовищем для опалювального періоду.

Мета роботи – багатопараметрична оптимізація енергоефективних будівель з урахуванням вимог освітленості та інсоляції.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для оптимізації параметрів енергоефективних будівель розроблено комплекс програм *OPTIMPARAM* з оптимізації параметрів і моделювання теплового балансу як окремих граней, так і будівлі в цілому для опалювального та літнього періоду за різних вихідних умов. Алгоритм використання моделей та оптимізації наведено на рис. 1. При цьому дотримуються вимоги нормованої інсоляції приміщень і коефіцієнта природнього освітлення (КПО).

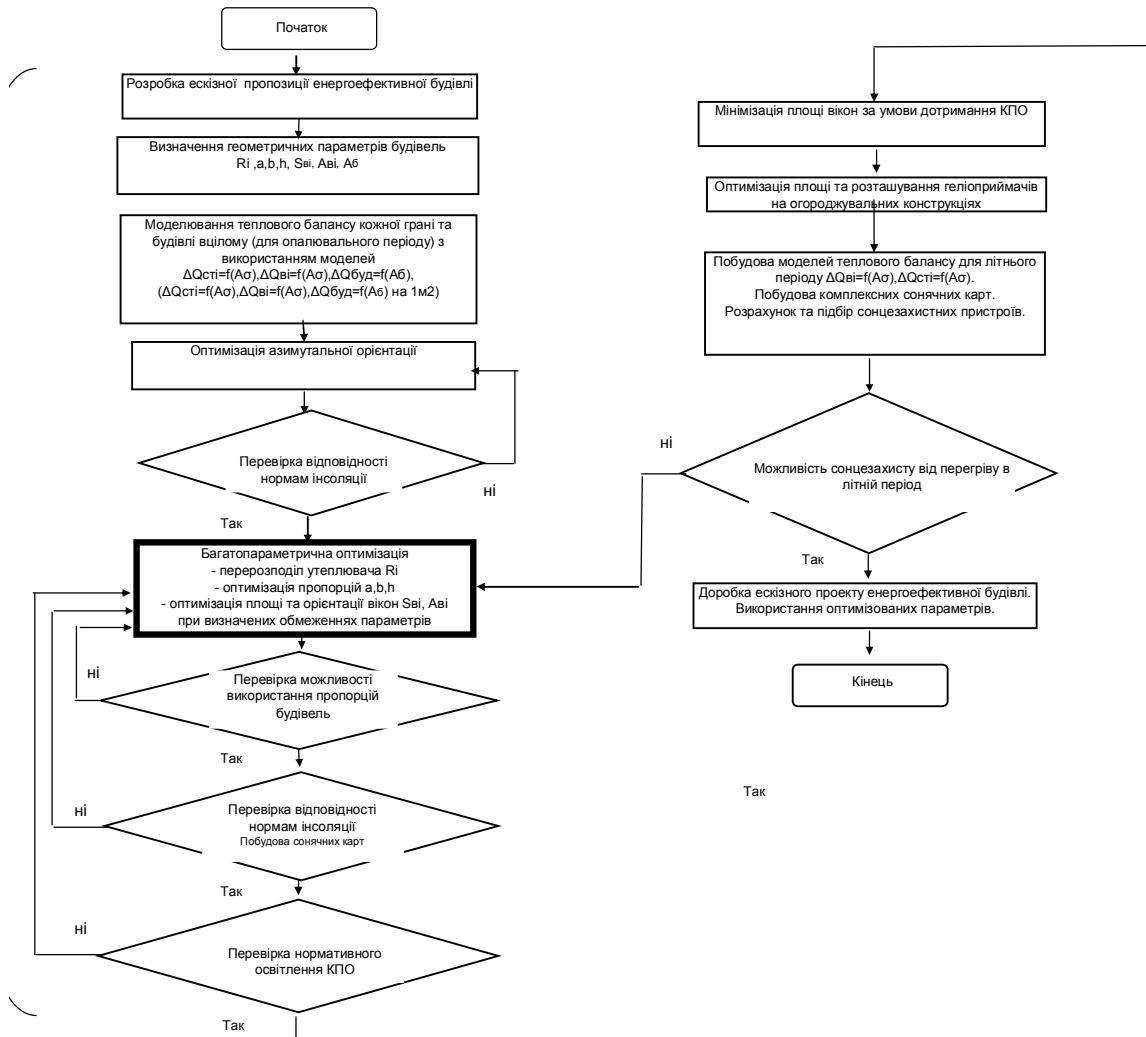


Рисунок 1 – Алгоритм оптимізації параметрів будівлі

Приклад оптимізації. Мансардна будівля, яка розташована в м. Києві (50-й градус північної широти),

об'ємом $V = 762,9 \text{ м}^3$ (рис. 2), з прямокутним планом (рис. 3). Кут нахилу даху 30 градусів.



Рисунок 2 – Енергоефективна будівля

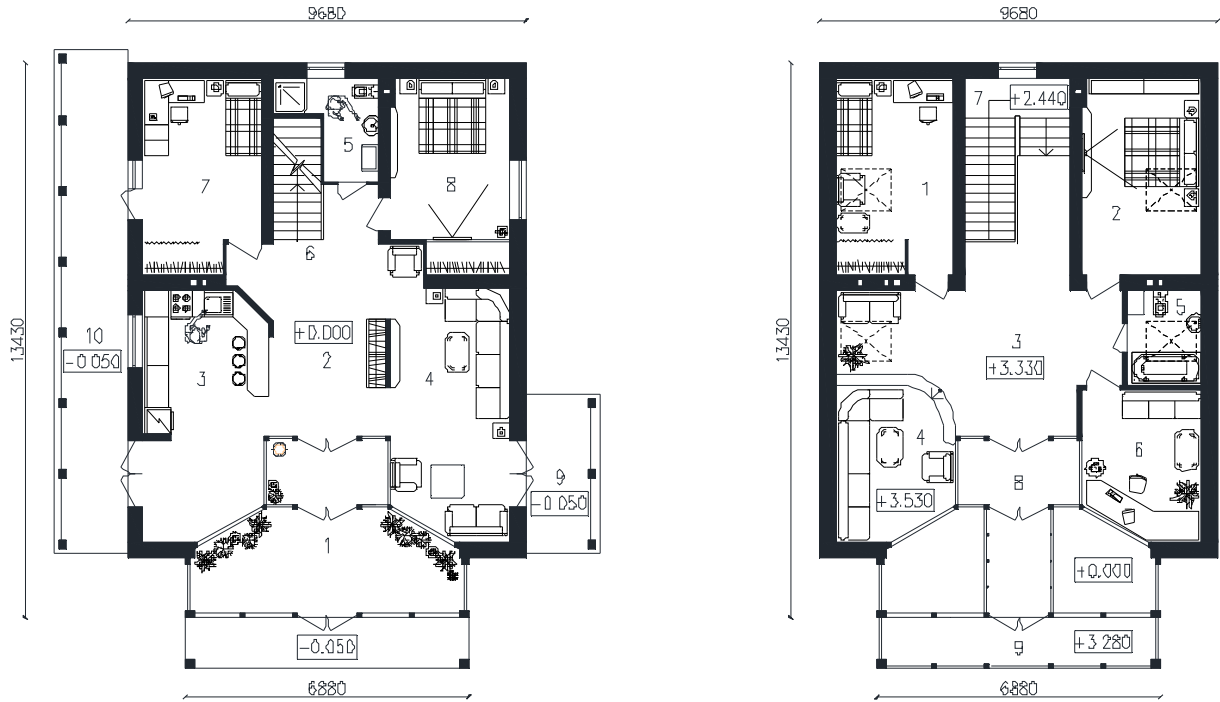
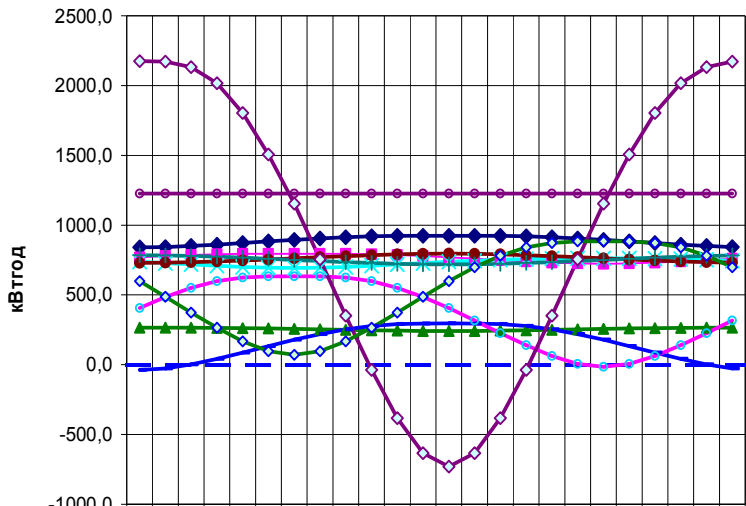
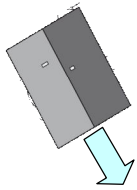


Рисунок 3 – План енергоефективної будівлі

Тепловий баланс кожної з огорожувальних конструкцій будівлі за опалювальний період для 50 град Пн.ш. залежно від орієнтації будівлі

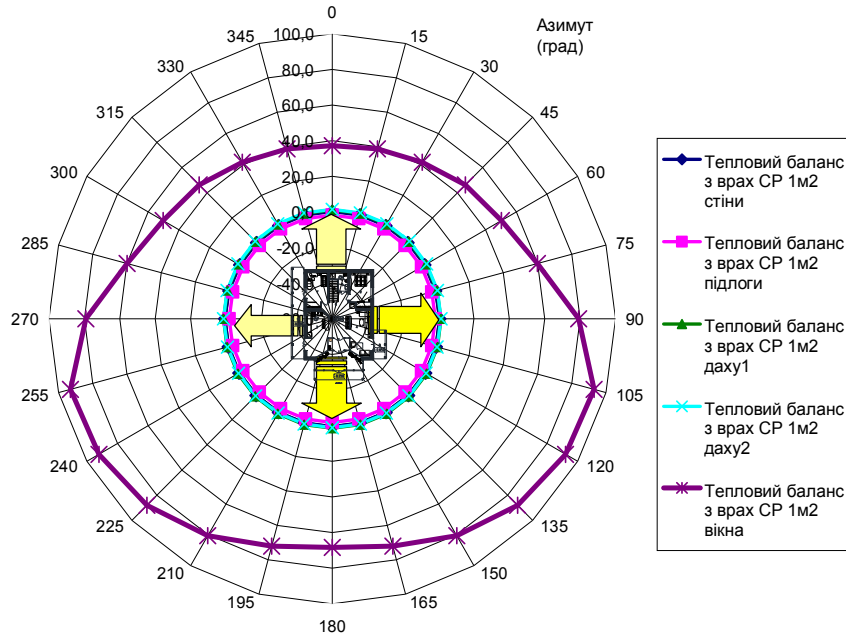


- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна15)
- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна105)
- ▲ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна195)
- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна285)
- ◆ Тепловтрати з врах СР підлоги
- ◆ Тепловтрати з врах СР даху1
- ◆ Тепловтрати з врах СР даху2
- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно) 15
- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно)105
- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно)195
- ◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно)285

	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна15)	840,9	843,7	850,9	860,8	872,0	883,6	895,1	905,2	913,7	919,8	923,1	924,2	924,3	923,1	919,8	913,7	905,2	895,1	883,6	872,0	860,8	850,9	843,7	840,9	
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна105)	769,7	778,4	785,8	791,0	793,9	794,8	794,9	794,8	793,9	791,0	785,8	778,4	769,7	759,9	749,9	740,3	731,7	725,5	723,2	725,5	731,7	740,3	749,9	759,9	769,7
▲ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна195)	265,0	265,0	264,7	263,8	262,0	259,5	256,6	253,4	250,0	246,8	244,0	241,9	241,1	241,9	244,0	246,8	250,0	253,4	256,6	259,5	262,0	263,8	264,7	265,0	265,0
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (стіна285)	737,2	727,8	718,2	709,0	700,0	694,9	692,6	694,9	700,0	709,0	718,2	727,8	737,2	745,5	752,6	757,6	760,3	761,2	761,3	761,2	760,3	757,6	752,6	745,5	737,2
◆ Тепловтрати з врах СР підлоги	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1	1226,1
◆ Тепловтрати з врах СР даху1	729,1	730,3	733,9	739,3	746,1	753,7	761,9	769,9	777,7	784,7	790,4	794,2	795,6	794,2	790,4	784,7	777,7	769,9	761,9	753,7	746,1	739,3	733,9	730,3	729,1
◆ Тепловтрати з врах СР даху2	784,0	782,7	779,0	773,3	766,4	758,8	750,8	742,8	735,2	728,5	723,2	719,7	718,5	719,7	723,2	728,5	735,2	742,8	750,8	758,8	766,4	773,3	779,0	782,7	784,0
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно) 15	-37,8	-26,9	1,9	41,7	86,3	132,7	178,5	218,9	252,9	277,4	290,6	295,1	295,5	295,1	290,6	277,4	252,9	218,9	178,5	132,7	86,3	41,7	1,9	-26,9	-37,8
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно)105	406,4	484,7	551,1	598,8	624,4	633,2	633,9	633,2	624,4	598,8	551,1	484,7	406,4	316,8	226,4	139,6	62,1	6,0	-15,3	6,0	62,1	139,6	226,4	316,8	406,4
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно)195	2174,2	2170,2	2131,2	2017,1	1803,1	1506,1	1154,1	755,7	351,8	-36,6	-383,1	-634,1	-729,1	-634,1	-383,1	-36,6	351,8	755,7	1154,1	1506,1	1803,1	2017,1	2131,2	2170,2	2174,2
◆ Тепловтрати з врах СР та площі (вікно)285	598,9	486,9	373,7	264,7	167,5	97,1	70,4	97,1	167,5	264,7	373,7	486,9	598,9	697,6	790,9	840,7	872,9	883,8	884,8	883,8	872,9	840,7	790,9	697,6	598,9

Рисунок 3 – Моделювання теплового балансу кожної грані та від азимутальної орієнтації будівлі із використанням моделей $\Delta Q_i = f(A_B)$ для опалювального періоду

**Тепловой баланс 1 м² огорожувальних конструкцій
за літній період (кВт год/м²) без використання сонцезахистних засобів
для 50 град Пн.Ш.**



**Тепловий баланс кожної з огорожувальних конструкцій будівлі
за літній період для 50 град Пн.ш. залежно від орієнтації будівлі (кВт год)**

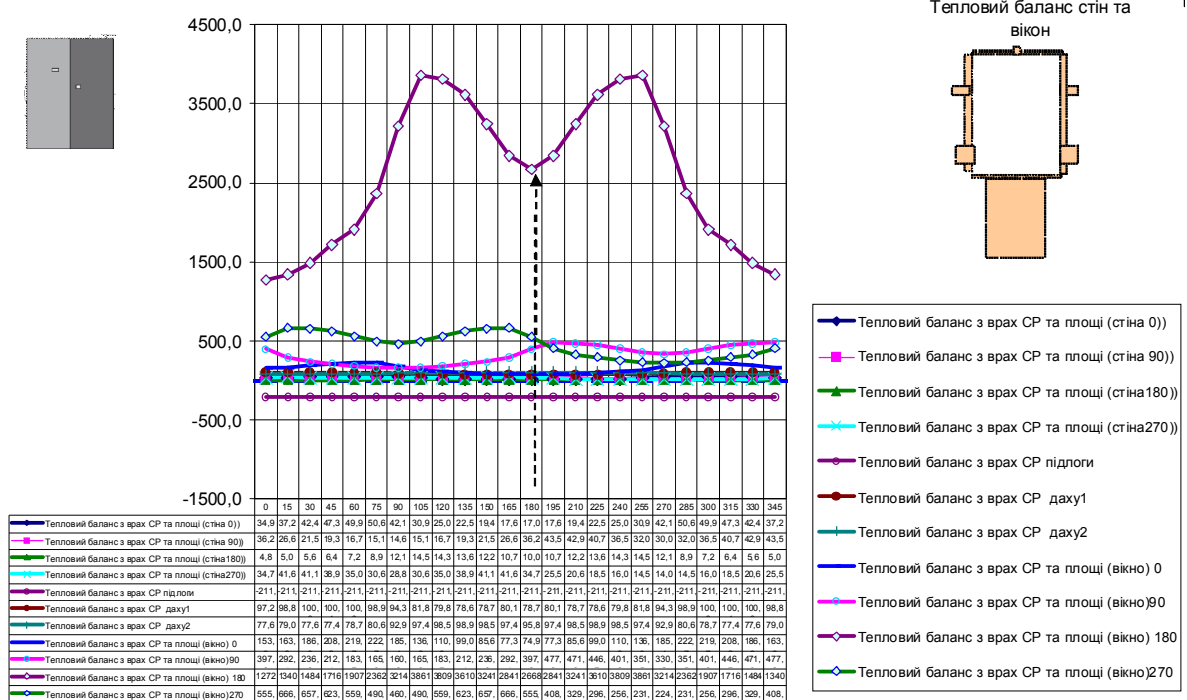


Рисунок 4 – Тепловий баланс кожної грані для літнього періоду без врахування сонцезахистних засобів із використанням моделей $\Delta Qi=f(A_B)$

Будівля має наступні змінні параметри: три параметри форми ($a = 9,68$ м, $b = 12$ м, $h = 8,3$ м по внутрішній поверхні конструкцій), сім параметрів товщини утеплювача (що замінени опором теплопередачі) непрозорих огорожувальних конструкцій кожної з граней будівлі $R_{ст1} = 5,6$ м²·К/Вт, $R_{ст2} = 5,6$ м²·К/Вт, $R_{ст3} = 5,6$ м²·К/Вт, $R_{ст4} = 5,6$ м²·К/Вт, $R_{дах5} = 7,0$ м²·К/Вт, $R_{дах6} = 7,0$ м²·К/Вт, $R_{підл} = 8,0$

м²·К/Вт, шість параметрів площі вікон кожної з граней $S_{в1} = 2,61$ м², $S_{в2} = 5,6$ м², $S_{в3} = 46,10$ м², $S_{в4} = 7,82$ м², $S_{вдах5} = 0,96$ м², $S_{вдах6} = 1,92$ м², шість параметрів опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій на кожній із граней $R_{в1} = 0,75$ м²·К/Вт, $R_{в2} = 0,75$ м²·К/Вт, $R_{в3} = 1,8$ м²·К/Вт, $R_{в4} = 0,75$ м²·К/Вт, $R_{вдах5} = 0,75$ м²·К/Вт, $R_{вдах6} = 0,75$ м²·К/Вт.

Визначено залежність теплового балансу кожного типу конструкції від азимутальної орієнтації. Найбільший вплив орієнтація має для світлопрозорих конструкцій особливо для подвійно застекленого фасаду з опором теплопередачі $R_{в3} = 1,8 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ (рис. 3, 4).

Для оптимізації декількох параметрів будівлі (змінними є параметри будівлі) складається тепловий баланс кожної огорожувальної конструкції з оточуючим середовищем [6].

Оптимізовано орієнтацію будівлі. Будівля орієнтується подвійним скляним фасадом на південь. Також оптимізовано три групи параметрів: параметрів пропорцій будівлі (a,b,h), опору теплопередачі огорожувальних конструкцій $R_{ст1}$, $R_{в1}$, $R_{дах1}$, $R_{під}$ та

площі $S_{в1}$ світлопрозорих конструкцій кожної грані. У результаті скорочення теповтрат через огорожувальні конструкції становило 23,91 відсотка для опалювального періоду.(рис. 5).

Перевірено відповідність природного освітлення приміщень та інсоляції нормативним вимогам.

Оптимізовані параметри пропорцій складають: $a = 7,825 \text{ м}$, $b = 13 \text{ м}$, $h=9,4 \text{ м}$; параметри опору теплопередачі огорожувальних конструкцій: $R_{ст1}=7,24 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, $R_{ст2}=7,14 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, $R_{ст3}=4 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, $R_{ст4}=6,99 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, $R_{дах5} = 7,23 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, $R_{дах6} = 7,23 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, $R_{під}=6,98 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$; параметри площі вікон: $S_{в1}=2,24 \text{ м}^2$, $S_{в2}=2,25 \text{ м}^2$, $S_{в3}=50,00 \text{ м}^2$, $S_{в4}=6,00 \text{ м}^2$, $S_{вдах5}=0,96 \text{ м}^2$, $S_{вдах6}=0,96 \text{ м}^2$.



Рисунок 5 – Оптимізація пропорцій будівлі, розподілу утеплювача і розташування вікон

Для захисту будинку від перегріву в літній період модулюється тепловий баланс. Найбільші теплонадходження відбуваються через подвійні скляні фасади (рис. 4). Використання сонцезахисних при-

строїв зменшить надходження сонячної радіації в приміщення і відповідно захистить будівлю від перегріву (рис. 6).

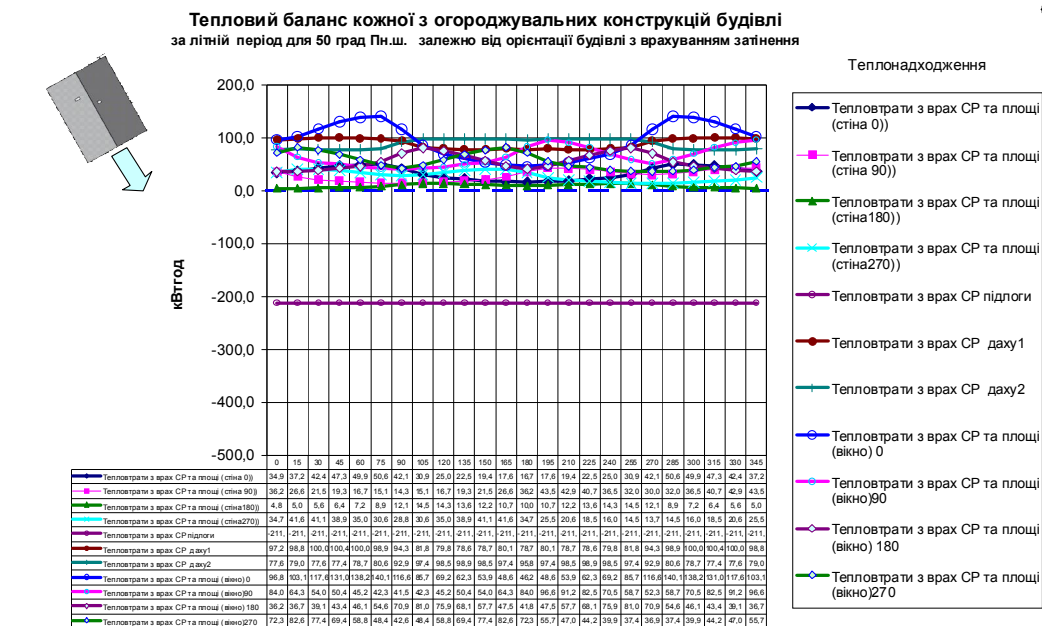


Рисунок 6 – Тепловий баланс грані з використанням сонцезахисних пристроїв для літнього періоду $\Delta Q_{ii}=f(A_{в})$

ВИСНОВКИ. Розроблено методику багатопараметричної оптимізації енергоефективних гранних будівель (орієнтації будівлі, параметрів форми, опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій, площі вікон на кожній грані будівлі) з урахуванням норм освітленості та інсоляції за критерієм мінімізації теплового балансу будівлі з оточуючим середовищем за опалювальний період. Для мансардної будівлі оптимізація параметрів дає зменшення тепловтрат на 23,91 відсотка. Методика впроваджується в проектування ДП «УКРНДПщивільбуд». Можливе її використання як для енергоефективних так і звичайних будівель.

ЛІТЕРАТУРА

1. Здания, климат и энергия / Т.А. Маркус, Э.Н. Морис. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 540 с.
2. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. Мартинов В. Л. Геометричне моделювання параметрів енергоактивних житлових будинків // Ма-

теріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование». – Харьков, 2009. – С. 153–158.

4. 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.

5. Сергейчук О.В. Оптимізація форми енергоефективної будівлі, зовнішня оболонка якої n-параметрична поверхня // Матеріали VII Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн». – Сімферополь, 2010. – С. 150–155.

6. Мартинов В. Л. Багатопараметрична оптимізація гранних енергоефективних будівель // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта». – Ужгород, 2011. – С. 135–139.

MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS RELYING ON THE ILLUMINATION AND INSOLATION STANDARDS

V. Martynov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ddd151@yandex.ru

The problem of heating costs reduction and increase of energy efficiency is a part and parcel of design of energy-efficient and energy-saving buildings arises the problem of reducing. It could be solved through the building parameters optimization. In the article, the author has presented the developed technique of multiparametric optimization of energy-efficient faceted buildings by minimizing the heat conductivity between the building and its environment during the heating period to meet the illumination and insolation requirements. The following parameteres were optimized: azimuthal orientation of the buildings, their shape parameters, thermal resistance of translucent and opaque walling of each side of the building, and area size of the windows on each side of the building. Thus, for the average mansard style house in Kyiv optimization of the parameters mentioned above resulted in reduction of the heat loss by 23.91 percent. The technique described may be useful in design of energy-efficient and conventional buildings.

Key words: multiparameter optimization, energy-efficient buildings, faceted shape, geometric modelling, heat balance, illumination standards, insolation standards.

REFERENCES

1. Markus, T.A., Maurice, J.E. (1985), *Zdaniya, klimat, energiya* [Buildings, climate, and energy], Gidrometeoizdat, St.-Petersburg, Russia.
2. Tabunshchykov, Y.A., Brodach, M. (2002), *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya termalnoi effektivnosti zdanii* [Mathematical modelling and optimization of thermal efficiency of buildings], AVOK-PRESS, Moscow, Russia.
3. Martynov, V.L. (2009), "Geometric modeling of parameters of energy-active houses", *Proc. VI Int. Sci. Conf. "Geometric modeling and computer technologies: Theory, practice and education"*, pp. 153–158, Kharkiv, Ukraine.
4. Sergeychuk, O.V. (2009), "Optimization of distribution of thermal isolation on the surfaces of the building of the efficiency class", *Materials of the VI*

International Crimean Scientific Conference "Geometric and computer design: energy saving, ecology, and design", pp. 44–49, Simpheropol, Ukraine.

5. Sergeychuk, O.V. (2010), "Shape optimization of the energy-effective buildings with external shell as n-parametrical surface", *Materials of the VI International Crimean Scientific Conference "Geometric and computer design: energy saving, ecology, and design"*, pp. 150–155, Simpheropol, Ukraine.

6. Martynov, V.L. (2011), "Multiparameter optimization of faceted energy efficient buildings," *Proc. VII Int. Sci. Conf. "Geometric modeling, computer technology and design: theory, practice and education"*, pp. 135–139, Uzhgorod, Ukraine.

Стаття надійшла 04.12.2013.