

УДК 728.536:625.712.14

Дьяченко Л. Ю.¹, Дьяченко О. С.²¹ Кандидат технічних наук, доцент кафедри Планування і організації виробництва

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро

e-mail: dyachenkoriop@gmail.com

orcid.org/0000-0003-4499-2278

² Асистент кафедри Архітектури

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро

e-mail: olgadiachenko303@gmail.com

orcid.org/0000-0002-2591-3274

ПРОПОЗИЦІЇ РІШЕНЬ ІЗ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ГЕОБУДИНКІВ В УКРАЇНІ

© Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С., 2021

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2021.22-23.183-189>

Анотація. Однією з нових тенденцій в будівництві є геодезичні купольні будинки. Це досить економічні будівлі, які найбільш повно відображають ідею енергозбереження та концепцію екологічно чистого житла.

Симетрія сфери дозволяє найбільш ефективно розміщувати на ній сонячні батареї і модулі сонячних колекторів. Конструкції будинку збираються швидко і не потребують важкої будівельної техніки. За рахунок зменшення обсягу опалювального приміщення ми економимо на теплоресурсах, тому опалення купольного будинку в зимовий період вимагає на 20 – 30% менше енергоресурсів, в порівнянні з прямокутними будівлями.

Мета статті: запропонувати рішення із розроблення проєктів енергоефективних геобудинків в Україні. Провести пошук найбільш раціональних конструктивно-технологічних рішень; проаналізувати характеристики, переваги та недоліки енергоефективних геобудинків з метою зведення їх в Україні.

Геодезичний купол виготовляється з пінополіуретану, залізобетону, дерева, склофібробетону. Каркасні конструкції геобудинку виконують з металу або бруса, «скелет» обшивається фанерою або спеціальними OSB-плитами. Такий спосіб забезпечує легкість та міцність будівлі. Купол повинен мати оптимальний розмір ребер, не більше 2,5 м в довжину, що дозволяє змонтувати каркас без застосування техніки, силами 2 ÷ 3 чоловік. Розглянуто два способи збірки каркасу: коннекторний і безконнекторний.

Запропоновані рішення із розроблення проєктів енергоефективних геобудинків в Україні, дозволять в найближчому майбутньому вирішити проблеми екології, енергозбереження, економії природних ресурсів в країні.

Енергоефективний геобудинок є оптимальним варіантом для будь-якої області України, завдяки незаперечним перевагам: жорсткості і стійкості каркасу, геометричній симетрії форм і міцності, енергоефективності, високій сейсмічній стійкості, швидкості зведення і оригінальності.

Ключові слова: енергоефективний геобудинок, геодезичний купольний будинок, сонячна енергія

Постановка проблеми (Problem statement)

Однією з нових тенденцій в будівництві є геодезичні купольні будинки. Ще недавно при використанні куполів у житловому будівництві виникали проблеми через брак необхідної проєктно-технічної документації, стандартних деталей купольних конструкцій, а також будівельників, які мають досвід зведення подібних об'єктів. Зараз спостерігається сплеск інтересу до подібних будинків, і велика кількість фірм пропонує зведення геобудинків в Україні.

Геобудинки – це досить економічні будівлі, які найбільш повно відображають ідею енергозбереження та концепцію екологічно чистого житла.

Вважається, що *сфера* – найпоширеніша форма у Всесвіті, і тому людина відчуває себе найбільш комфортно в будинках, які побудовані подібним чином.

Симетрія сфери дозволяє найбільш ефективно розмішувати на ній сонячні батареї і модулі сонячних колекторів.

Конструкції будинку збираються швидко і не потребують важкої будівельної техніки. У кубічному будинку тепло розподіляється по кутах, а в геобудинку тепло рівномірно розподіляється по всьому приміщенню і довго утримується.

За рахунок зменшення обсягу опалювального приміщення ми економимо на теплоресурсах, тому опалення купольного будинку в зимовий період вимагає на 20 – 30% менше енергоресурсів, в порівнянні з прямокутними будівлями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій (Analysis of recent research and publications)

Купольні конструкції відомі з давніх-давен. Їх використовували кельтські народності, а сучасний аналог стародавніх споруд придумав дизайнер з Америки Річард Фуллер. Геобудинок круглий в плані. Стіни виготовляються з каменю, дерева і бетону.

Дах має сферичну форму. Для покрівлі застосовуються такі матеріали, як алюміній, гнучка черепиця або руберойд (Vogin Van Loon, August 1997, p. 12).

Для геобудинку підходять практично будь-які відомі фундаменти, але вибір фундаменту залежить від ґрунту і його ступеня спучування, перепадів на місцевості і розмірів будинку.

У 2013 році норвезька сім'я побудувала енергоефективний геобудинок на півночі за полярним колом в 1000 км від Осло (Лоусон та Білік, 2014, с. 60). Вони звели триповерховий будинок з п'ятьма спальнями під скляним геодезичним куполом заввишки 8 м і площею 180 кв. м

Безпосередньо житлова будівля зведена з екологічно чистих матеріалів і, по суті, являє собою самановий будинок – його основними будівельними компонентами стали глина, пісок і солома. Скляний купол поверх екобудинку не тільки захищає його від суворого клімату Заполяр'я, але і створює усередині тепличні умови, що дозволяють власникам вирощувати фрукти і овочі більшу частину року (Рис. 1).



Рис. 1. Енергоефективний геобудинок в Норвегії

Вся використана мешканцями будинку вода піддається рециклінгу і йде на поливання городу, із залишків їжі виготовляється компост, яким удобрюється сад.

Каліфорнійська некомерційна організація Green New World довела, що майбутнє будівельних технологій може і повинно бути більш екологічним, здоровим і енергетично автономним (Табунщиков, Бродач, Шилкин, 2003, с. 22).

Компанія створила концептуальний будинок House of Peace (також відомий під назвою Project NOPE) – зразок житлового будинку з автономним і регенеративним енергозабезпеченням з рекордно низьким викидом CO₂ (Рис. 2).



Рис. 2. Концептуальний проект енергоефективного купольного будинку House of Peace

Проект поєднує в собі архітектуру купольних будинків, натуральні матеріали і кілька систем поновлюваного енергозабезпечення. Творці позиціонують Project NOPE як перший будинок з від'ємним виробництвом вуглекислого газу і обіцяли завершити робочий прототип в 2020 році. Зовні прототип Project NOPE виглядає як кластер купольних будівель, виробляється з видобутого на місці матеріалу за екологічною і наддешевою технологією Superadobe (Жданов, 2003, с. 30), легко адаптується до будь-яких кліматичних зон і інтегрує процеси споживання, переробки та утилізації енергії, води, відходів і виробництва продуктів харчування (Wines, 2000, р. 125).

Objective of the article (Мета статті)

Запропонувати рішення із розроблення проектів енергоефективних геобудинків в Україні. Зведення цих будинків вирішить проблему поліпшення стану навколишнього середовища, сприятиме економії енергоресурсів та можливості зведення таких будинків в сейсмічних районах України. Кроки досягнення мети дослідження: провести аналіз теоретичного та практичного досвіду зведення геобудинків у світі; провести пошук найбільш раціональних конструктивно-технологічних рішень; проаналізувати характеристики, переваги та недоліки енергоефективних геобудинків з метою зведення їх в Україні.

Results and discussions (Виклад основного матеріалу)

Геобудинок – сферична будівля, зібрана зі стрижнів, які утворюють геодезичну структуру, завдяки якій будинок в цілому володіє хорошими несучими якостями (Рис. 7).

Геодезичний купол є несучою сітчастою оболонкою. Сфера уявляється у вигляді багатогранника (ікосаедра), тобто двадцятигранниками зі сторонами у вигляді правильних трикутників.

Геодезичний купол виготовляється з пінополіуретану, залізобетону, дерева, склофібробетону. Каркасні конструкції геобудинку виконують з металу або бруса, «скелет» обшивається фанерою або спеціальними OSB-плитами (Рис. 6) (Трофімов та Камінський, 2002, с. 48). Такий спосіб забезпечує легкість та міцність будівлі. Купол повинен мати оптимальний розмір ребер, не більше 2,5 м в довжину, що дозволяє змонтувати каркас без застосування техніки, силами 2 ÷ 3 чоловік (Журавлев, Вержбовский, Еременко, 2003, с. 215).

Частота купола – кількість частин, на які розбивається кожне ребро ікосаедра.

Купол, з певним радіусом, може збиратися з невеликої кількості великих трикутників – низька частота або великої кількості маленьких трикутників – висока частота (Рис. 3). Кількість розбиття визначається, виходячи з розміру геокупола і необхідної довжини ребер (Ієвлев, 2013, с. 31).

Позначається кількість розбиття латинською буквою v : $2v$, $3v$, $4v$ і т. д. Частота $2v$ відповідає розбиттю ребра навпіл, $3v$ – на три частини, $4v$ – на чотири і т. д. (Рис. 4, 5).

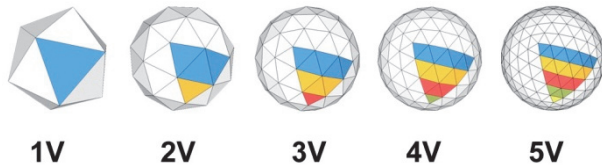


Рис. 3. Частота розбиття ікосаедра



Рис. 4. Частота геодезичного купола

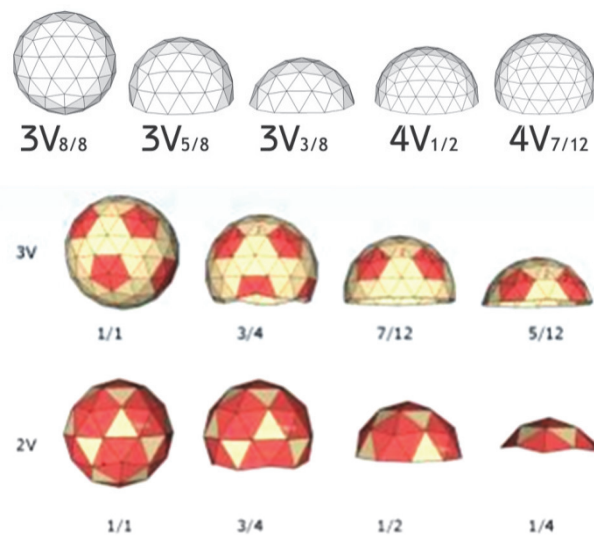


Рис. 5. Части геодезичного купола

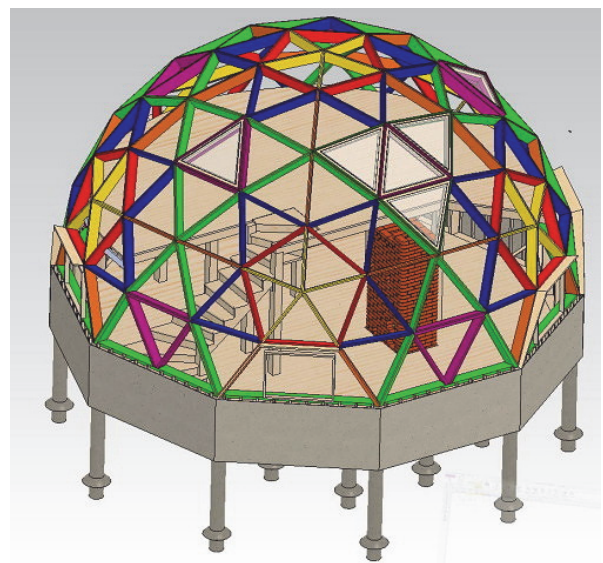


Рис. 6. Каркас геобудинку з частотою $4V_{7/12}$

Існує два способи збірки каркасу: коннекторний і безконнекторний (Ієвлев, 2013, с. 25).

Коннекторний спосіб збірки вважається найбільш ефективним при будівництві купольних споруд, і його головна перевага – швидка збірка купола і надійність при великих розмірах сфер. Його мінуси в тому, що металевий коннектор (з'єднувач) є містком холоду.

Безконнекторная збірка – найпростіша і доступна. Мінуси безконнекторної збірки в тому, що кріплення розпірок робиться за допомогою саморізів. Це в порівнянні з коннекторною технологією збірки більш слабе кріплення, розраховане в основному для невеликих куполів.

Тип збірки безконнекторний в кут (Cone): підходить для невеликих купольних будинків діаметром до $8 \div 9$ м.

Розпилювання балок каркасу можливе з тонкої дошки, для широкої дошки вимагає обладнання з більшою точністю.

Безконнекторний «Joint». Легко пиляти і збирати, відмінно підходить для невеликих будиночків, альтанок.

Безконнекторний «Good karma» – купол, зібраний з готових трикутних груп.

Особливості цієї збірки в тому, що спочатку збираються окремі елементи в трикутні групи, а потім з цих груп збирають каркас купола (Рис. 6). За цією технологією збірки монтує куполи великого діаметру.

Обґрунтуванням необхідності будівництва енергоефективних геобудинків в Україні є їх основні та безсумнівні переваги:

1. *Енергоефективність.* Геобудинок має меншу площу тепловіддачі і поліпшену природну конвекційну вентиляцію, тому його простіше і дешевше опалювати або охолоджувати (Табунщиков, Бродач, Шилкин, 2003, с. 20).

2. *Економічність.* Витрати на будівельні матеріали значно менше (приблизно на 1/4), чим при будівництві аналогічної площі прямокутної будівлі. Завдяки невеликій вазі конструкцій, не потрібний коштовний фундамент, роботи відбуваються в короткі терміни із залученням невеликої кількості робочих, що економить витрати з оплати праці.

3. *Міцність.* Завдяки аеродинамічній формі, геобудинки мають високу стійкість до вітрових та снігових навантажень. Купол будинку здатний витримати навантаження до 700 кг / м² (Тур, 2004, с. 10).

4. *Висока сейсмічна стійкість.* Сферичний купол геобудинку, побудований з трикутних елементів, має дуже рівномірний розподіл навантажень по всій площині каркасу і не втрачає стійкості при руйнуванні до 30% каркасу (Тур, 2004, с. 15).

5. *Акустика.* У купольному будинку менше чутні зовнішні шуми.

6. *Дизайн.* Геобудинок має естетичний і футуристичний зовнішній вигляд.

7. *Універсальність* – зовнішній вигляд будівлі підходить до будь-якої концепції ландшафтного дизайну.

При проєктуванні та будівництві енергоефективних геобудинків потрібно відзначити деякі недоліки:

1. Складність розрахунків, пов'язаних з сферичною формою будівлі.

2. Кількість відходів будматеріалів буде більшою, тому що при будівництві купольного будинку, вони необхідні в трикутному вигляді, а не звичному прямокутному.

3. Виготовлення конструкцій за індивідуальним замовленням, що пов'язано зі сферичною формою будинку.

Пропозиції рішень із розроблення проєктів енергоефективних геобудинків в Україні:

1. Вибираючи фундамент під геобудинок, в першу чергу потрібно звернути увагу на ділянку. Якщо є великі перепади висот, або ділянка підтоплюється весняними ґрунтовими водами, то фундамент повинен бути на палях або з цоколем з бетону. Якщо будинок невеликий – можна зробити стовпчастий фундамент на гравійно-піщаній подушці.

Якщо будинок більше 10 м в діаметрі, хорошим фундаментом у такому випадку є монолітна плита з армованого бетону.

2. Віконні склопакети в геобудинку мають бути: з прямокутних, трикутних, п'яти- і шестикутних віконних систем з подвійним склінням.



Рис. 7. Енергоефективний геобудинок з частотою $2V_{1/2}$

3. В геобудинку перекриття другого поверху повинні мати власні незалежні опори по периметру основи, не зв'язані з каркасом геодезичного куполу.

4. Вентиляційний вихід потрібно робити для вентиляції підпокрівельного простору в верхній частині куполу. Розмір прорізу для вентиляції має співвідношення з діаметром куполу. На діаметр 8 м = 670 мм, для діаметра 11 м = 920 мм, і діаметра 14 м = 1150 мм. Отвір має дорівнювати або бути більше суми площі всіх пропилов для входу повітря. Зверху прорізу встановлюють вентиляційний купол (аттик) (Ієвлев, 2013, с. 62).

5. Закладаючи товщину утеплювача, в стіні необхідно врахувати вентиляційний зазор – 5 см, який піде на вентиляцію утеплювача.

Висновки (Conclusions)

Запропоновані рішення із розроблення проєктів енергоефективних геобудинків в Україні, дозволять в найближчому майбутньому вирішити проблеми екології, енергозбереження, економії природних ресурсів в країні.

Енергоефективний геобудинок є оптимальним варіантом для будь-якої області України, завдяки незаперечним перевагам: жорсткості і стійкості каркасу, геометричній симетрії форм і міцності, енергоефективності, високій сейсмічній стійкості, швидкості зведення і оригінальності. Найвні недоліки будівництва геобудинку можуть бути усунені при професійному проєктуванні і раціональному застосуванні будматеріалів.

Бібліографія

- Жданов, А. В. 2003. Пространственные конструкции. Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 81 с.
- Журавлев, А. А., Вержбовский, Г. Б., Еременко, Н. Н. 2003. Пространственные деревянные конструкций. Ростов-на-Дону: ОАО ИПФ «Малыш», 518 с.
- Иевлев, В. В. 2013. Воплощение Купольного дома или My home dome. Калуга, 82 с.
- Лоусон, М., Билык, А. 2014. Стальные конструкции в архитектуре. Киев: Изд-во Украинский Центр Стального Строительства, 137с.
- Табунщиков, Ю. А., Бродач, М. М., Шилкин Н. В. 2003. Энергоэффективные здания: монография. Москва : Авок-пресс, 196 с.
- Трофимов, В. И., Каминский, А. М. 2002. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений: учебное пособие. Москва : Изд-во АСВ, 576 с.
- Тур, В. И. 2004. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности: учебное пособие. Москва : Издательство АСВ, 96 с.
- Borin Van Loon. August 1997. Geodesic Domes : Demonstrated and Explained with Cutout Models. Publisher : Parkwest, 48 p.
- Wines, J. 2000. Green architecture. Koln : Taschen, 240 p.

References

- Zhdanov, A. V. 2003. *Prostranstvennyie konstruksii* [Spatial constructions]. Voronezh : Izd-vo VGASU, 81 p. (in Russian).
- Zhuravlev, A. A., Verzhbovskiy, G. B., Eremenko, N. N. 2003. *Prostranstvennyie derevyanniy konstruksiy* [Spatial wooden constructions]. Rostov-na-Donu : ОАО IPF «Malyish», 518 p. (in Russian).
- Ievlev, V. V. 2013. *Voploschenie Kupolnogo doma ili My home dome* [The embodiment of the Dome House or My home dome]. Kaluga, 82 p. (in Russian).
- Louson, M., Bilyik, A. 2014. *Stalnyie konstruksii v arhitekture* [Steel structures in architecture]. Kiev : Izd-vo Ukrainskiy Tsentralnyy Stalnoy Stroitelstva, 137 p. (in Russian).
- Tabunshchikov, Yu. A., Brodach, M. M. and Shilkin N. V. 2003. *Energoeffektivnyie zdaniya* [Energy-efficient buildings]. Moskva : Avok-press, 196 p. (in Russian).
- Trofimov, V. I., Kaminskiy, A. M. 2002. *Legkie metallicheskie konstruksii zdaniy i sooruzheniy* [Lightweight metal building structures of buildings and constructions]: *uchebnoe posobie*. Moskva : Izd-vo ASV, 576 p. (in Russian).

Tur, V. I. 2004. *Kupolnyie konstruksii: formoobrazovanie, raschet, konstruirovanie, povyishenie effektivnosti* [Dome constructions: shaping, calculation, design, increasing efficiency] : uchebnoe posobie. Moskva: Izdatelstvo ASV, 96 p. (in Russian).

Borin Van Loon. August 1997. *Geodesic Domes : Demonstrated and Explained with Cutout Models*. Publisher: Parkwest, 48 p.

Wines, J. 2000. *Green architecture*. Koln : Taschen Publ, 240 p.

Diachenko L. Yu.¹, Diachenko O. S.²

¹ *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Planning and Organization of Production
Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro*

dyachenkopiop@gmail.com

orcid.org/0000-0003-4499-2278

² *Assistant of the Department of Architecture*

Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro

olgadiachenko303@gmail.com

orcid.org/0000-0002-2591-3274

PROPOSALS OF SOLUTIONS OF THE PROJECT DEVELOPMENTS OF ENERGY-EFFICIENT GEO-HOUSES IN UKRAINE

© *Diachenko L. Yu., Diachenko O. S., 2021*

Abstract. One of the new approaches in civil engineering is geodetic domed houses. These are quite economical buildings that most fully reflect the idea of energy saving and the concept of environmentally friendly housing.

The symmetry of the sphere allows the most efficient placement of solar panels and solar collectors. The structures of the house are assembled quickly and do not require heavy construction equipment. By reducing the volume of the heating room, we save on heat resources, so the heating of the domed house in the winter requires 20 – 30% less energy in comparison to the rectangular buildings.

The purpose of the article is to offer solutions for the development of projects of energy-efficient geo-houses in Ukraine. To search for the most rational design and technological solutions; to analyze the characteristics, advantages and disadvantages of energy efficient geo-house buildings in order to build them in Ukraine.

The geodesic dome is made of polyurethane foam, reinforced concrete, wood, fiberglass concrete. Frame structures of the geo-house are made of metal or timber, the "skeleton" is lined with plywood or special OSB-boards. This method provides lightness and strength of the building. The dome must have the optimal size of the ribs, not more than 2.5 m in length, which allows you to erect a frame without the use of technology, with a force of 2 ÷ 3 people. Two installation methods of the frame are considered: connector and non-connector.

The proposed solutions for the development of energy-efficient geo-houses' projects in Ukraine will allow in the near future to solve the problems of ecology, energy saving, natural resources saving in the country. Energy-efficient geo-house is the best option for any region of Ukraine, thanks to the undeniable advantages: rigidity and stability of the frame, geometric symmetry of shapes and strength, energy efficiency, high seismic stability, erection speed and originality.

Key words: energy-efficient geo-house, geodesic dome house, solar energy