

вкладишів трикутної форми з пінополістиролу, що забезпечує зменшення відходів при розкрії плоского прямокутного листа пінополістиролу. Отримано мінімальну кількість елементів у сортаменті для виготовлення незнімної опалубки.

Ключові слова: незнімний вкладиш, напівсферична форма, незнімна опалубка, пінополістирол.

ANNOTATION

The authors of the article describe different methods of producing semispherical surface via the usage of half-timbered systems. Different variants of cutting a flat rectangular sheet of expanded polystyrene for the non-removable formwork manufacturing are named and compared. The article presents the technology of producing triangular shaped inserts made of expanded polystyrene. The technology introduced ensures the reduction of waste when cutting a flat rectangular sheet of expanded polystyrene, as well as obtaining the minimum amount of elements in the assortment for the non-removable formwork manufacturing. The obtained results confirm the effectiveness of the lightweight "Monofant" system that has a reduced thickness of less than 40% in comparison with the structures of a solid thickness and allow creating a "virtual" catalog of liners for fixed formwork made of expanded polystyrene while dealing with the construction of various curved surfaces (cylindrical, hyper, nodoid etc).

Keywords: non-removable insert, hemispherical shape, fixed formwork, expanded polystyrene

УДК 624.074.2

*Білик С.І., д.т.н., проф., КНУБА, м. Київ
Тонкачєєв В.Г., асп., КНУБА, м. Київ*

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ВЕРХНЬОГО ЯРУСУ ПОЛОГОГО КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

Розглянуто проблему зменшення кута нахилу верхнього ребра пологого купола по відношенню до горизонту при виборі форми купола. Відповідно до зменшення коефіцієнту пологості кут зменшується, тому при намаганні отримати більш пологий купол, може виникнути проблема зі стійкістю верхнього ярусу купола, пов'язана з негативним ефектом "проклаування". Настання аварійної ситуації "проклаування" у верхньому ярусі купола може відбуватися за декількома схемами деформацій. Змодельовані схеми деформацій верхнього ярусу пологих сталевих куполів при ідеальних умовах роботи елементів, що надає змогу розробити модель поведінки купола за комплексною схемою деформацій для створення методики випробувань і виготовлення зразка для проведення натурального експерименту.

Ключові слова: купол, форма, верхній ярус, ребро, кільце, зусилля, деформація, стійкість, проклаування.

Постановка проблеми. Починаючи з дев'ятнадцятого століття, метал є основним конструкційним матеріалом для куполів, а з моменту освоєння випуску металевих замкнених гнутих тонкостінних профілів з'явилася можливість створювати легкі купольні покриття. Пологі легкі металеві куполи набули широкого поширення завдяки новим якостям. З точки зору архітектури будівель, куполи відкривають можливість створення виразних просторових композицій. При цьому будівельна висота пологих купольних конструкцій мінімальна, площа, що перекривається і внутрішній обсяг раціональні. У купольних покриттях поєднуються функції несучих і огорожувальних конструкцій.

При виборі форми купола слід звертати увагу на кут нахилу верхнього елемента ребра по відношенню до горизонту. Відповідно до зменшення коефіцієнту пологості кут зменшується, тому при намаганні отримати більш пологий купол, може виникнути проблема зі стійкістю верхнього ярусу купола, пов'язаної з негативним ефектом проклацування, тому проблема моделювання поведінки купольного покриття при втраті стійкості є актуальною.

Аналіз останніх досліджень.

Дослідженню стійкості купольних та склепінних покриттів присвячено багато наукових робіт вітчизняних [1, 2, 3] та іноземних вчених [4, 5]. Але ж, негативному ефекту "проклацування" верхнього ярусу пологого купола, в цих роботах приділялося недостатньо уваги – не було спроб диференційовано розглянути всі можливі ситуації, тому потрібно було проведення додаткових досліджень в цьому напрямку.

Конструктивні схеми металевих куполів можна розділити на три типи: ребристі, ребристо-кільцеві і сітчасті. В роботі [6] доведено, що ребристі та ребристо-кільцеві куполи діаметром 18...36 м конкурентоспроможні з будь-якими площинними конструкціями та з сітчастими куполами. Відзначена виняткова складність вирішення задачі вузлового

з'єднання елементів сітчастих оболонок. Вона пояснюється тим, що в сітчастих оболонках, на відміну від площинних систем осі, стрижневих елементів не тільки не лежать в одній площині, але в кожному з вузлів мають різні комбінації взаємного розташування в просторі. Тому при діаметрах куполів менш 36 м доцільно проектувати ребристо-кільцеві куполи.

Для подальшого дослідження конструктивних рішень куполів на предмет проклацування слід розглядати геометрію купола з коефіцієнтом пологості в межах - $K_f = H_c/D_c = 0,2...0,175$ [7].

Формулювання цілей та завдання.

Мета статті – моделювання деформативного стану елементів верхнього ярусу пологих купольних покриттів при негативному ефекті "проклацування" та обґрунтування поведінки системи верхнього ярусу для створення випробувального зразка та методики випробувань.

Основна частина. При моделюванні роботи ребристо-кільцевого куполу під дією зовнішнього навантаження особливу увагу слід приділяти моделюванню верхнього ярусу купола. Модель верхнього ярусу купола складається з верхнього опорного кільця, ребер, та нижнього опорного кільця (рис. 1, а).

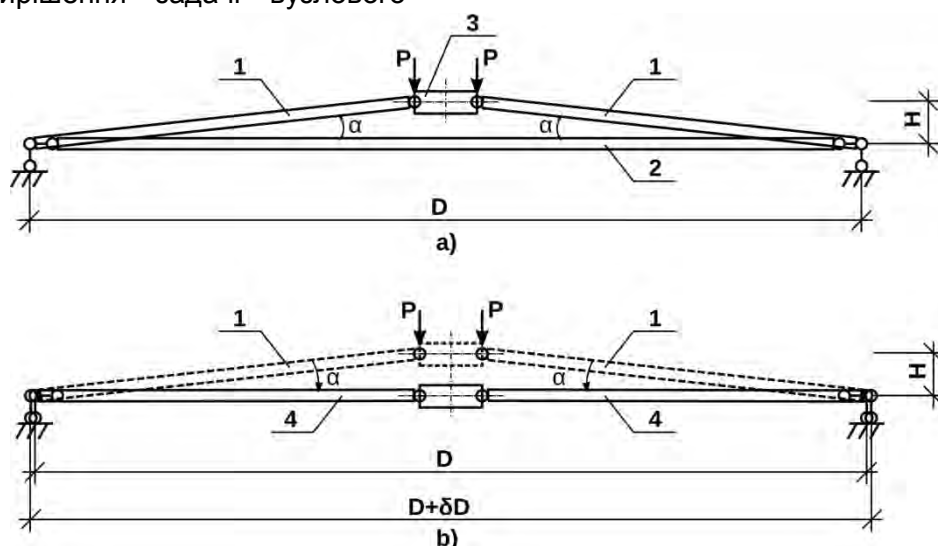


Рис. 1. Схема втрати стійкості через деформацію нижнього кільця: а) - розрахункова схема; б) – положення верхнього ярусу купола при деформаціях; 1 — ребро верхнього ярусу; 2 — нижнє опорне кільце; 3 — верхнє опорне кільце; 4 — ребро верхнього ярусу після деформації; P — зовнішнє зосереджене навантаження; D — діаметр верхнього ярусу купола; H — висота верхнього ярусу; α — кут нахилу стрижнів до горизонту; δD — збільшення діаметру верхнього ярусу при розтягу нижнього опорного кільця.

Для куполів із коефіцієнтом пологості у межах $K_f = 0,175 \dots 0,2$ ребра у верхньому ярусі купола матимуть нахил до горизонту $4 \dots 6$ град. З діаграми зусиль у вузлах системи зусилля стиску ребер при деформаціях можуть зростати до нескінченності (синус кута нахилу ребер при “проклацуванні” може досягати меж $\cos(\alpha) = 0,05 \dots 0,1$ [8] (рис.1). При середньому діаметрі нижнього кільця верхнього ярусу $D = 3,6 \dots 4,2$ м для ребристо-кільцевих куполів, з зазначеним вище коефіцієнтом пологості, висота верхнього ярусу становитиме $H = 28 \dots 40$ см. При таких геометричних параметрах висока ймовірність втрати стійкості купола саме у елементах верхнього ярусу, що може призвести до виникнення аварійної ситуації “проклацування” вузлу [2, 8].

Настання аварійної ситуації “проклацування” у верхньому ярусі купола може відбуватися за декількома схемами деформацій:

- внаслідок надмірних деформацій нижнього опорного кільця;
- через втрату стійкості елементів (розрив зварних швів, зрізання болтів) вузлу кріплення ребер до верхнього опорного кільця;
- через недостатню жорсткість верхнього опорного кільця (зминання), що призводить до деформації самого кільця під дією навантаження;
- через втрату стійкості стрижнями ребер купола (випинання). Причиною цього явища є похибки виготовлення елементів верхнього ярусу - неточність передавання осьових зусиль. В залежності від напрямку деформації може виникнути дві ситуації:
- проклацування через вигин ребер вгору;
- проклацування через вигин ребер вниз.

Традиційно при проектуванні купольних конструкцій зовнішні навантаження, що діють на купол, приймають таким, що зосереджено у вузлах куполу, це дозволяє уникати складних напружених станів у стрижнях купола. При дії вузлового навантаження в гребеновому вузлі купола, в ребрах купола виникають поздовжні зусилля стиску (стиск або стиск із згином), які передаються на

нижнє опорне кільце і викликають в останньому поздовжні зусилля розтягу. Якщо у гребеновому вузлі купола діє зосереджене вертикальне вузлове навантаження, то поздовжні зусилля, для вищеописаних геометричних параметрів моделі, у стрижнях ребер, згідно залежностей [9] будуть в $1/(2 \cdot \cos \alpha)$ разів більші за це навантаження, де α – кут нахилу ребер верхнього ярусу купола до горизонталі. Тобто при зменшенні кута нахилу ребер до горизонталі внаслідок вертикальних деформацій, зростають значення поздовжніх зусиль у ребрах. В якості такого зосередженого навантаження можуть виступати основні розрахункові навантаження, а саме: вага снігового покриву, що передається до вузла через систему лат; корисне навантаження від ваги людей, обладнання та устаткування; вага підвісного обладнання; вага декоративних шпилів та башт, що встановлюються у гребеновому вузлі купола.

При недостатній жорсткості стрижнів нижнього опорного кільця може відбутися його розширення (рис. 1, б), що призведе до зменшення кута нахилу ребер до горизонту і збільшення зусиль у ребрах та у кільці, і аварійна ситуація “проклацування” може відбутися і при менших значеннях навантажень.

При недостатній міцності або жорсткості елементів кріплення ребер купола до верхнього опорного кільця (фасонки, зварних швів, болтових з'єднань) останні під дією навантаження можуть втратити стійкість, що може призвести до розвитку надмірних деформацій системи елементів верхнього ярусу або до руйнації вузла кріплення ребер до опорного кільця (рис. 2, а).

Традиційно, в розрахунках ребристо-кільцевих куполів вузли кріплення ребер до верхнього опорного кільця враховують як шарнірні. Методика врахування жорсткості вузла кріплення ребер при розрахунку куполів наведена в роботі [6]. За цією методикою можна визначити жорсткість вузла кріплення і при необхідності врахувати це при його проектуванні. При недостатній жорсткості слід призначити підсилення вже існуючих рішень вузлових з'єднань.

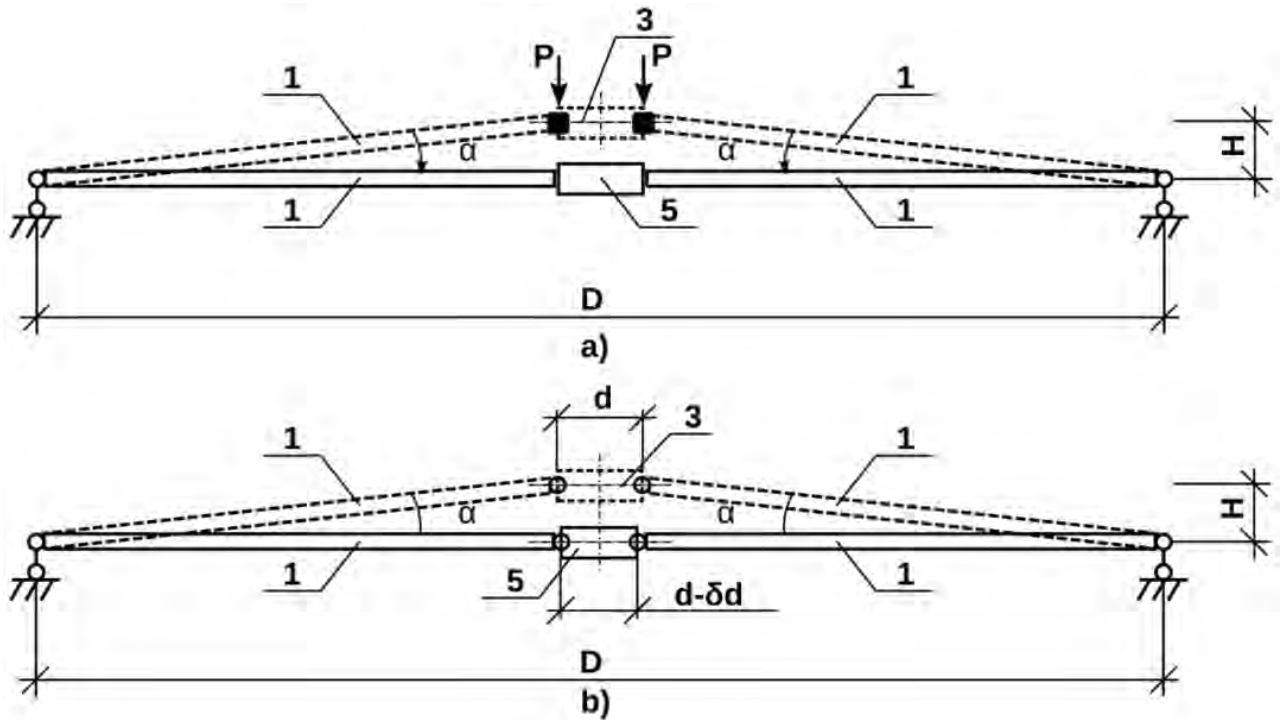


Рис. 2. Схема втрати стійкості через деформацію верхнього кільця: а) - втрата стійкості вузловими елементами; б) - втрата стійкості верхнім опорним кільцем; 1, 3, P, D, H, α — див. рис. 1; 5 — верхнє опорне кільце після втрати стійкості; d — діаметр верхнього опорного кільця; δd — зменшення діаметру верхнього опорного кільця внаслідок деформацій, при стиску кільця.

Під дією зовнішнього навантаження у верхньому опорному кільці виникатимуть зусилля стиску. Недостатня жорсткість верхнього опорного кільця, при виникненні в ньому зусиль стиску, призведе до деформування кільця і, таким чином, підвищить деформативність системи елементів верхнього ярусу, що також може призвести до аварійної ситуації "проклацування" (рис. 2, б). Для збільшення жорсткості верхнього опорного кільця рекомендується влаштовувати в ньому ребра жорсткості.

Як обумовлено вище, при зменшенні кута нахилу ребер до горизонту у ребрах при досить невеликих навантаженнях виникатимуть значні зусилля, які можуть призвести до втрати стійкості ребрами верхнього ярусу купола. При проектуванні вузла приєднання ребер купола до верхнього опорного кільця особлива увага приділяється точності передачі зусилля стиску по осі ребер купола. Для поліпшення розрахункової ситуації слід передавати навантаження таким чином, щоб воно діяло строго вздовж осі ребра. У

випадку позацентрової передачі зусиль до ребер, в ребрах виникне додатковий згинальний момент, що підвищить шанс втрати стійкості ребрами (рис. 3).

Якщо зусилля стиску передаватиметься нижче поздовжньої вісі ребра – втрата стійкості відбуватиметься за схемою, яка наведена на рис. 3, а. При передачі зусилля стиску вище поздовжньої вісі ребра – втрата стійкості ребра відбуватиметься за схемою, яка наведена на рис. 3, б.

Отже, розглянуті вище схеми деформацій наведені при ідеальних умовах роботи елементів верхнього ярусу пологого купола. Насправді, відбуватиметься комплексна схема деформацій, яку математично дуже важко виразити.

Висновки. Розглянуто схеми деформацій верхнього ярусу пологих сталевих куполів при ідеальних умовах роботи елементів, що надають змогу розробити модель поведінки купола за комплексною схемою деформацій для створення методики випробувань і виготовлення зразка для проведення натурального експерименту.

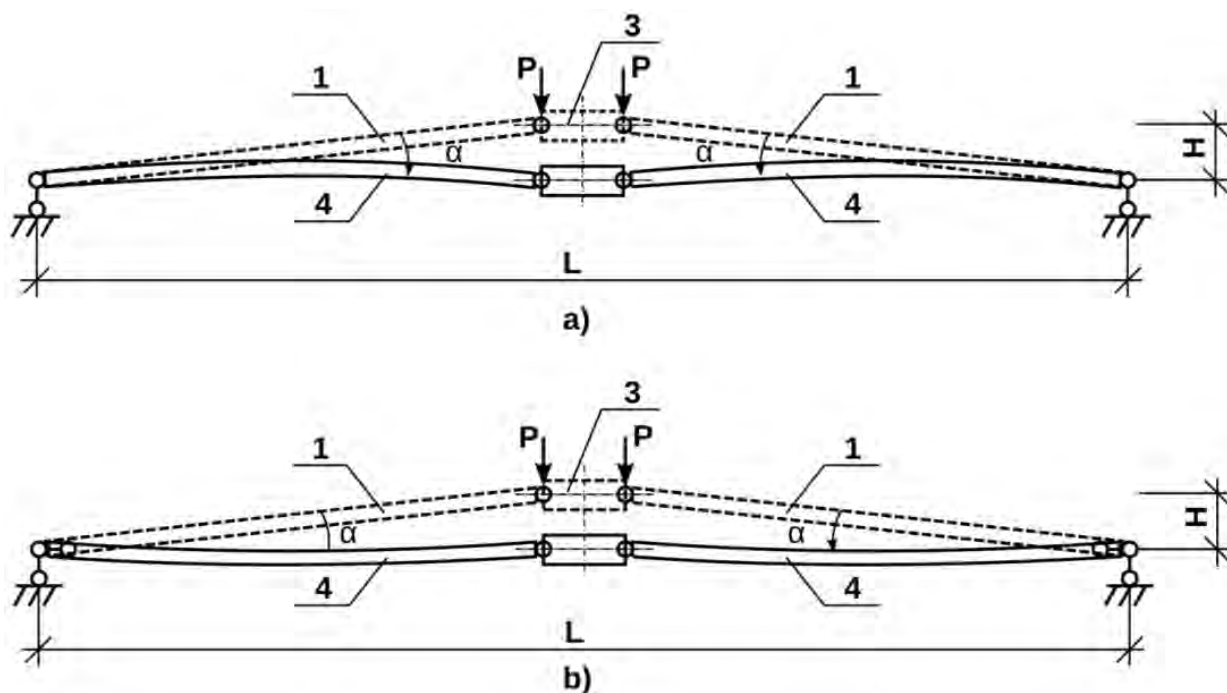


Рис. 3. Схеми деформування ребер верхнього ярусу купола: а) при передачі навантаження нижче осі ребра; б) при передачі навантаження вище осі ребра: 1, 3, P, D, H, α — див. рис. 1; 4 — ребро верхнього ярусу після втрати стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Пановко Я.Г., Губанов И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. М.: Наука, 1987. 352 с.

2. Сиянов А.И. Численные исследования металлических ребристо-кольцевых куполов. Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. Київ. Вид-во «Сталь», 2008. Вип. 2.

3. Білик С.І. Стійкість двострижневих ферм з урахуванням пружної жорсткості гребеневого вузла. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. К.: Вид-во «Сталь», 2015. Вип. 16. С. 13–21.

4. Marcelo Greco, Carlos Eduardo Rodrigues Vicente. Analytical solutions for geometrically nonlinear trusses. Esc. Minas vol.62 no.2 Ouro Preto Apr. June. 2009 URL: <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672009000200012> (дата звернення 12.03.2017).

5. H. Thai, S. Kim, Nonlinear inelastic time-history analysis of truss structures, Journal of Constructional Steel Research, 67, 12 (2011), 1966-1972, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.06.015> (дата звернення 12.03.2017).

6. Савельев В.А. Теоретические основы проектирования металлических куполов: дис. ... докт. техн. наук. 05.23.01. Москва, 1995. 439 с.

7. Тонкачєєв В.Г. Визначення оптимальних конструктивних параметрів ребристо-кольцевих куполів покриття приміщень з корисною площею 200...500 м². Містобудування та територіальне планування: зб. наук. пр. К.: КНУБА, 2016. Вип. 62. Частина 1. С. 525-531.

8. Білик С.І., Тонкачєєв В.Г. Вплив на стійкість ферми мізеса напрямку дії вузлового навантаження при пружних опорах на прикладі сталевих ребристо-кольцевого купола. Строительство, материаловедение, машиностроение., сб. науч. трудов. Вып.№82. - Днепропетровск. ГВУЗ ПГАСА, 2015. с. 44-49.

АННОТАЦІЯ

Рассмотрена проблема уменьшения угла наклона верхнего ребра полого купола по отношению к горизонту при выборе формы купола. Соответственно уменьшению коэффициента пологости угол уменьшается, поэтому при попытке получить более пологий купол может возникнуть проблема с устойчивостью верхнего яруса купола, связанная с негативным эффектом "процелкивания". Наступление аварийной ситуации "процелкивания" в верхнем ярусе купола может происходить по нескольким схемам деформаций. Смоделированы схемы деформаций верхнего яруса пологих стальных куполов при идеальных условиях работы элементов, что дает возможность разработать модель поведения купола по комплексной схеме деформаций для создания методики испытаний и изготовления образца для проведения натурного эксперимента.

Ключевые слова: купол, форма, верхний ярус, ребро, кольцо, усилие, деформация, устойчивость, процелкивание.

ANNOTATION

The problem of inclination angle decreasing of the upper tier of the hollow dome with respect to the horizon is considered when choosing the shape of the dome. Accordingly, the decrease in the coefficient of flatness reduces the angle, so when trying to get a flatter dome, there may be a problem with the stability of the upper tier of the dome, associated with the negative "snap-through motion" effect. The start of an emergency situation of "snap-through motion" in the upper tier of the dome can occur through several deformational schemes. Schemes of deformations of the upper tier of gently sloping steel domes are modeled under ideal conditions for the operation of the elements, which makes it possible to develop a model of the dome behavior by a complex deformation scheme to create a test model and fabricate a sample for a full-scale experiment.

Keywords: dome, shape, upper tier, rib, ring, effort, deformation, buckling, snap-through motion.

УДК 338.23:69

Сердюк В.Р., д.т.н, проф., ВНТУ,
м. Вінниця

Франишина С.Ю., асп., ВНТУ, м. Вінниця

СВІТОВИЙ ДОСВІД РЕАЛІЗАЦІЇ СТАНДАРТІВ «ЗЕЛЕНОГО» БУДІВНИЦТВА

У статті розглянуто зарубіжний досвід сертифікації в області «зеленого» будівництва, виділені головні переваги найбільш відомих в світі «зелених» стандартів. Проведений аналіз критеріїв рейтингової оцінки об'єктів, що підлягають сертифікації. Визначено необхідність запровадження офіційної методики сертифікації будівель та споруд за «зеленими» стандартами в Україні.

Ключові слова: зелені стандарти, енергетична ефективність, зелене будівництво.

Вступ. Глобальні зміни клімату, виснаження природних ресурсів і колапс світової екосистеми пов'язані в тому числі і з будівельним комплексом. Будівлі світу використовують близько 40% всієї споживаної первинної енергії, 67% всієї електрики, 40% всієї сировини і 14% всіх запасів питної води, а також виробляють понад 35% всіх викидів вуглекислого газу і мало не половину всіх твердих міських відходів [1].

За свою історію людство вже використало близько половини запасів традиційного викопного палива. За даними Світового енергетичного агентства, споживання енергоресурсів у 2013 році склало 12,5 млрд т н. е., а приріст за рік склав – 639 млн т н.е. або 5,6% - найвищі темпи зростання з 1973 року. При цьому слід зауважити, що темпи середньорічного зростання обсягів споживання енергоресурсів за останні 45 років складають 2,6% [2].

«Зелене» будівництво, «зелені» будівлі - це передова практика будівництва і експлуатації будівель, метою якої є зниження рівня споживання енергетичних і матеріальних ресурсів протягом всього