

Пашинський В.А., д.т.н., професор  
Карпушин С.О., к.т.н., доцент  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*  
pva.kntu@gmail.com

## МЕТОДИКА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРКИ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ ДЛЯ СТІН

**Анотація.** Одним з ефективних стінових матеріалів є ніздрюватий бетон, показники міцності та теплопровідності якого можуть змінюватися в досить широкому діапазоні залежно від марки за середньою густиною. Розроблена методика вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону базується на вирівнюванні товщин стіни, необхідних за умовами теплового захисту та несучої здатності. Встановлені наближені аналітичні залежності коефіцієнта теплопровідності та розрахункового опору від середньої густини ніздрюватого бетону та запропонована спрощена методика оцінювання несучої здатності простінка з урахуванням геометричних параметрів будівлі, навантажень від ваги конструкцій та корисних навантажень на перекриття. Розроблена методика проілюстрована прикладами розрахунку.

**Ключові слова:** стіни будівель, ніздрюватий бетон, марка за середньою густиною.

Пашинский В.А., д.т.н., профессор  
Карпушин С.А., к.т.н., доцент  
*Центральноукраинский национальный технический университет*  
pva.kntu@gmail.com

## МЕТОДИКА ВИБОРА ОПТИМАЛЬНОЇ МАРКИ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА ДЛЯ СТІН

**Аннотация.** Одним из эффективных стеновых материалов является ячеистый бетон, показатели прочности и теплопроводности которого могут изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от марки по средней плотности. Разработанная методика выбора оптимальной марки ячеистого бетона базируется на выравнивании толщин стены, необходимых по условиям тепловой защиты и несущей способности. Получены приближенные аналитические зависимости коэффициента теплопроводности и расчетного сопротивления от средней плотности ячеистого бетона и предложена упрощенная методика оценки несущей способности простенка с учетом геометрических параметров здания, нагрузок от веса конструкций и полезных нагрузок на перекрытия. Разработанная методика проиллюстрирована примерами расчета.

**Ключевые слова:** стены зданий, ячеистый бетон, марка по средней плотности.

Pashinsky V.A., Doctor of Engineering, Professor  
Karpushyn S.O, Ph.D., associate professor  
*Central Ukrainian National Technical University*  
pva.kntu@gmail.com

## THE METHODOLOGY OF OPTIMAL CHOICE OF THE BRAND OF AERATED CONCRETE FOR WALLS

**Abstract.** One of the most effective wall materials are porous concrete indicators of strength and thermal conductors that can change in wide range, depending on the brand of an average density. By increasing of an average density, increases the average of thermal conductivity and wall thickness, that is required in terms of thermal protection. Simultaneously increases the strength and decreases the thickness of the walls due to carrying capacity. The technique of choosing the optimal brand of porous concrete, bases on aligning wall thickness, required in terms of thermal protection and carrying capacity.

Object of study are exterior bearing walls that are typical for low-rise residential and public buildings. To solve the optimizational problem set an approximate analytical dependence of thermal conductivity and calculated resistance of average density porous concrete. Bearing capacity of the pier in safety margin, estimated by the strength criteria considering the geometric building options, loads of weight structures and payloads on the ceiling.

The basis for selection the optimal brand of a porous concrete are the wall thickness, that is required to satisfy conditions of the bearing capacity and thermal insulation of medium density. The equality of thickness, determines the optimal brand of porous concrete of an average density. Calculation samples showed that for erection 2...3 storaged public building, a porous concrete brand D 400...D 500 should be used.

**Keywords:** building walls, porous concrete an average density mark.

**Постановка проблеми.** Перспективним шляхом енергозбереження є використання ефективних стінових матеріалів, які одночасно виконують несучі та огорожувальні функції. Одним із таких матеріалів є ніздрюватий бетон (пінобетон та газобетон), який є результатом твердіння поризованої суміші в'язучого, кремнеземистого компоненту й води. Об'єм пор може досягати до 85% від об'єму бетону, що забезпечує отримання матеріалів з широким спектром технічних характеристик та гарними технологічними властивостями.

Міцність і теплопровідність ніздрюватого бетону залежать від його марки за середньою густиною. Ріст середньої густини призводить до збільшення коефіцієнта теплопровідності та відповідного збільшення товщини стіни за умовами теплового захисту, а також до збільшення міцності та відповідного зменшення товщини стіни з умов несучої здатності. Оптимальним рішенням буде марка бетону, при використанні якого обидва вказані значення товщини стіни будуть приблизно рівними.

**Аналіз останніх публікацій.** Стіни цивільних будівель можуть виконуватися з ніздрюватого бетону, який успішно виконує несучі та огорожувальні функції, виготовляється та широко використовується в Україні [1, 2, 3]. Несуча здатність стін визначається за нормами [4], а вимоги до теплотехнічних характеристик встановлені в [5]. Технічні характеристики ніздрюватих бетонів та стінових блоків мало залежать від виду ніздрюватого бетону (пінобетону чи газобетону) і регламентуються стандартами [6, 7] залежно від марки за середньою густиною. Аналіз технічних характеристик за [5, 6] показує, що збільшення середньої густини ніздрюватого бетону обумовлює зростання товщини стін з умов теплової ізоляції та її зменшення з умов несучої здатності, але чітких рекомендацій щодо вибору доцільної марки ніздрюватого бетону в літературних джерелах не виявлено.

**Мета роботи** полягає в розробленні методики вибору оптимальної марки за середньою густиною ніздрюватого бетону, яка забезпечить рівність товщини стін, визначених з умов теплового захисту та несучої здатності.

**Технічні характеристики** ніздрюватих бетонів регламентовані стандартом [6]. Для використання в подальших розрахунках за даними [4, 5, 6] встановлені наближені аналітичні залежності розрахункового опору при стиску  $R_b$  та розрахункового значення коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  від середньої густини  $D$ , нормованої в [6]. При одних і тих же значеннях середньої густини  $D$  ( $\text{кг/м}^3$ ) величина розрахункового опору  $R_b$  (МПа) має значний розкид, обумовлений різними марками цементу та відмінностями технології виготовлення бетону.

Аналітична залежність, проведена поблизу нижньої межі діапазону можливих значень розрахункового опору, має вигляд

$$R_b = 0,16 \times e^{0,0032D}. \quad (1)$$

Залежності розрахункових значень коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  (Вт/(м×К)) ніздрюватих бетонів від їх середньої густини  $D$  (кг/м<sup>3</sup>) утворюють дві досить близькі криві, що відповідають різним умовам експлуатації (різним значенням експлуатаційної вологості матеріалу). Умови експлуатації А за нормами [5] відповідають приміщенням з нормальним тепловологісним режимом (житлові та громадські приміщення). В умовах експлуатації Б (вологі приміщення) розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності є дещо більшими. В запас надійності аналітична проведена по точках для умов експлуатації Б:

$$\lambda = D^2/3000000 + 0,055. \quad (2)$$

Отримані аналітичні залежності (1), (2) спрощують математичну процедуру розв'язання задачі оптимального вибору марки ніздрюватого бетону за середньою густиною для конкретної стіни при дії певного навантаження, а також можуть бути використані для наближеного прогнозування характеристик міцності й теплопровідності за відомою середньою густиною ніздрюватого бетону при розв'язанні інших науково-технічних задач.

**Об'єктом дослідження** є зовнішні несучі стіни, характерні для житлових і громадських будівель. Фрагменти поздовжнього та поперечного перерізу, які визначають конструкцію стіни, зображені на рисунку 1.

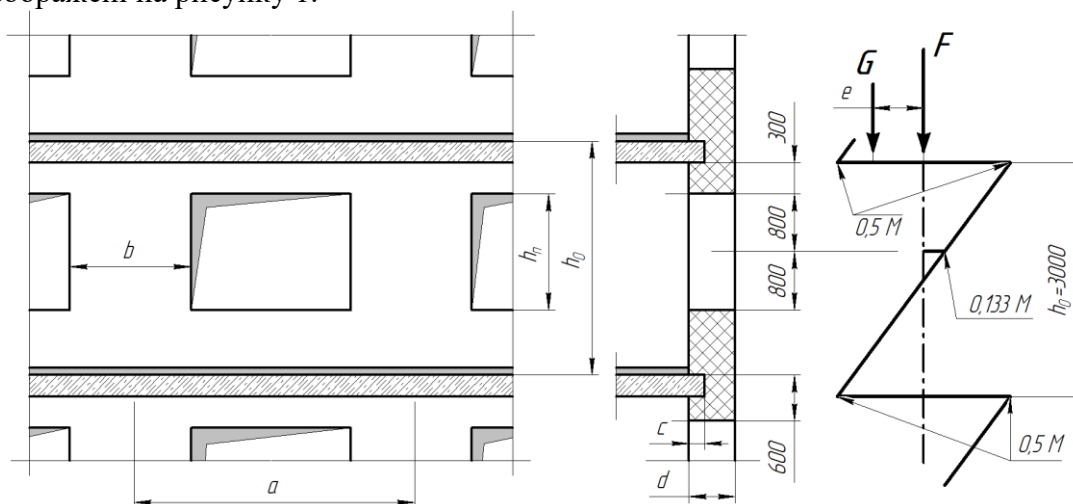


Рис. 1 Конструктивна і розрахункова схема зовнішньої несучої стіни

Стіна складається з трьох шарів: внутрішня штукатурка чи шпаклівка товщиною 10...20 мм, зовнішнє оздоблення товщиною до 10 мм та основна частина з ніздрюватого бетону, яка виконує несучі й огорожувальні функції. На рисунку 1 наведені такі основні розміри зовнішньої стіни:

- $a$  – ширина кімнати (сума ширини вікна і простінка);
- $b$  – ширина простінка;
- $c$  – ширина обпирання перекриття (внутрішня прив'язка стіни);
- $d$  – товщина стіни (без оздоблювальних шарів);
- $h_0$  – висота поверху;
- $h_n$  – висота простінка.

Товщина  $d$  основної частини стіни з ніздрюватого бетону визначається теплотехнічними вимогами та несучою здатністю простінка. З урахуванням вимог ДСТУ [7] щодо розмірів блоків з ніздрюватого бетону, товщина стіни повинна бути кратною 50 мм.

**Теплотехнічний розрахунок стіни** з ніздрюватого бетону зводиться до визначення її товщини згідно з вимогами ДБН [5]. З урахуванням коефіцієнтів тепловіддачі за [5] а також

термічного опору внутрішньої штукатурки та зовнішнього опоряджувально-захисного шару необхідна товщина ніздрюватого бетону дорівнює:

$$d = (R_0 - 0,18) \times \lambda_b, \quad (3)$$

де  $R_0$  – мінімально необхідний опір теплопередачі стіни для обраної температурної зони України;

$\lambda$  – розрахункове значення опору теплопередачі ніздрюватого бетону, за (2) залежно від його марки за середньою густиною.

Отримане за формулою (3) значення товщини стіни слід округлити до величини кратної 50 мм, яка відповідає можливій товщині блоків згідно з вимогами стандарту [7].

Результати обчислення товщини стіни за (3) для двох температурних зон України та ніздрюватих бетонів марок від D 200 до D 1100 показали, що з точки зору теплоізоляції в одношарових стінах доцільно використовувати ніздрюваті бетони марок за середньою густиною не вище, ніж D 700 чи D 800. При цьому отримуємо товщину стін до 700 мм, перевищення якої є явно недоцільним. Залежності необхідної товщини стіни від марки за середньою густиною наведені на рисунку 2. Верхня крива відповідає першій температурній зоні України з  $R_0 = 3,3 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ , а нижня – другій температурній зоні з  $R_0 = 2,8 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ .

**Несуча здатність** стіни визначається стійкістю та міцністю простінка, який працює на позацентровий стиск згідно з розрахунковою схемою, зображеною на рисунку 1. На простінок діють навантаження від власної ваги перекриття і покрівлі, корисні навантаження на перекриття та снігове навантаження на покрівлю, а також згинальний момент, що виникає від ексцентричного обпирання перекриття над простінком.

З метою спрощення конструктивних розрахунків при пошуку оптимального рішення несуча здатність простінка перевіряється за критерієм міцності в найбільш напруженому перерізі у верхній частині простінка. З урахуванням розмірів стіни та зображеної на рисунку 1 схеми прикладення навантажень, коефіцієнт використання несучої здатності простінка першого поверху дорівнює:

$$\alpha = \frac{a \times [F + G + (k - 1) \times Q_c + Q_{св} + 0,8 \times e \times G / d]}{1000 \times R_b \times d \times b^2}, \quad (4)$$

де  $R_b$  – розрахунковий опір ніздрюватого бетону при стиску;

$k$  – кількість поверхів у будинку;

$e$  – ексцентриситет прикладення сили  $G$ ;

$N_b$  – сумарне навантаження від перекриття верхніх поверхів;

$N_c$  – вага стін, розміщених вище розрахункового перерізу;

$G$  – навантаження від перекриття, розміщеного безпосередньо над стіною;

$F$  – сумарне навантаження від усіх перекриттів, вище другого поверху, (власна вага, корисне навантаження на перекриття, снігове навантаження на покрівлю);

$Q_c$  – навантаження від ваги стін одного з вищих поверхів;

$Q_{св}$  – навантаження від ваги верхньої частини стіни (від віконного прорізу до підлоги наступного поверху;

інші величини позначені вище.

Необхідну товщину стіни з умови міцності при позацентровому стиску можна знайти з формули (4), прирівнявши коефіцієнт використання несучої здатності  $\alpha$  до одиниці. Найпростішим рішенням є підбір необхідної товщини в середовищі Excel з її перевіркою за формулою (4). Метод підбору зручний тим, що згідно з технічними вимогами [7], товщина  $d$  стін з блоків ніздрюватого бетону повинна бути кратною 50 мм. Порівняння з результатами розрахунку простінка в середовищі Scad Office (модуль КАМИН) показало, що формула (4) завищує коефіцієнт використання несучої здатності на 10%...20% і таким чином створює додатковий запас надійності за рахунок незначного завищення необхідної товщини стіни.

Перевірка міцності ніздрюватого бетону на місцевий стиск у зоні обпирання конструкцій перекриття показала, що при дії найбільшого можливого навантаження від перекриття у 30 кН/м та при мінімальній ширині обпирання 10 см напруження під плитою перекриття дорівнюють 0,3 МПа, що відповідає розрахунковому опору ніздрюватого бетону марки за середньою густиною D 300.

**Принцип** вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону за середньою густиною базується на забезпеченні одночасного виконання вимог до теплового захисту та несучої здатності стіни. Межі зміни конструктивних і розрахункових параметрів встановлені таким чином, щоб охопити усю можливу область використання одношарових стін із ніздрюватих бетонів. При виборі оптимальної марки бетону, яка забезпечує виконання вказаних вимог, враховуються такі передумови - геометричні розміри стін прийняті характерними для житлових та офісних будівель: висота поверху рівна 3,0 м, товщина перекриття – 0,3 м, висота віконних прорізів – 1,6 м. Співвідношення ширини віконних прорізів і простінків між ними може змінюватися залежно від призначення будівлі.

Виходячи з умов забезпечення міцності та теплопровідності, розглядаються ніздрюваті бетони марок від D 300 до D 800 за середньою густиною.

Товщина стіни, необхідна з умов забезпечення теплової ізоляції в обох температурних зонах України, визначається за формулами (2) і (3), а її залежність від марки бетону наведена на рисунку 2.

Зусилля в простінку визначаються з урахуванням перелічених вище навантажень і задається величиною погонного навантаження на простінок, яке залежно від призначення, конструкції та поверховості будівлі може сягати 100 кН/м.

Товщина стіни з умови несучої здатності визначається з формули (4) з урахуванням геометричних параметрів будівлі, навантажень на простінок та розрахункового опору ніздрюватого бетону за формулою (1).

За результатами розрахунків будуються залежності товщини стіни, необхідної з умов забезпечення теплової ізоляції та несучої здатності, від марки ніздрюватого бетону за середньою густиною. Оптимальною вважається та марка бетону, при якій вказані товщини стають рівними.

**Приклади** визначення оптимальної марки ніздрюватого бетону для стін двоповерхової та триповерхової громадської будівлі наведені на рисунку 2. Будівля має залізобетонні перекриття прольотом 6 м з корисним навантаженням на них 4 кПа. При відношенні ширини кімнати до ширини вікна  $a/b=3$  погонне навантаження на простінок першого поверху дорівнює 150 кН/м для двоповерхової будівлі та 230 кН/м – для триповерхової.

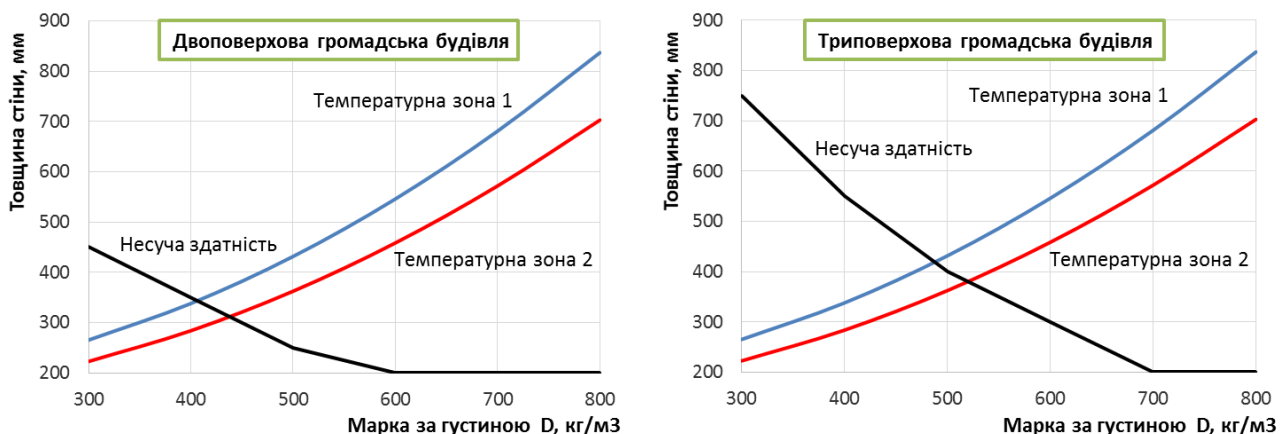


Рис. 2 Залежності товщини стіни від марки бетону за середньою густиною.

При збільшенні середньої густини товщина стіни, необхідна з умови теплової ізоляції, зростає з 220 чи 270 мм для бетону марки D 300 до 700 мм чи 840 мм бетону марки D 800. Товщина стіни, необхідна з умови забезпечення несучої здатності, істотно залежить від

поверховості будівлі, яка визначає навантаження на простінок. В обох випадках мінімальна товщина стіни прийнята рівною 200 мм, що відповідає мінімальній ширині стінового блока згідно з [7]. Точка перетину кривих, що відображають товщину стіни з умов теплової ізоляції та несучої здатності, визначає оптимальне значення середньої густини. Для двоповерхової будівлі з графіка на рисунку 2 отримуємо густину  $410 \text{ кг/м}^3$  для першої температурної зони та  $440 \text{ кг/м}^3$  для другої, що дозволяє рекомендувати ніздрюватий бетон стандартної марки D 400 за ДСТУ [6]. Для триповерхової будівлі можна рекомендувати бетон марки D 500 в обох температурних зонах.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень:**

1. Виходячи з принципу рівнонадійності, оптимальна марка за середньою густиною ніздрюватого бетону для стін повинна забезпечувати рівність товщин стіни, визначених за теплотехнічними вимогами та з умов несучої здатності.
2. За даними чинних норм отримані наближені аналітичні залежності розрахункового опору та коефіцієнта теплопровідності ніздрюватого бетону від його середньої густини, які істотно спрощують розрахунки з вибору оптимальної марки бетону.
3. Перевірка міцності верхнього перерізу на позацентровий стиск легко реалізується в середовищі табличного процесора Microsoft Excel і при цьому досить точно відображає несучу здатність простінка з прийнятним запасом надійності.
4. Виходячи з умов забезпечення теплової ізоляції та несучої здатності, в одношарових стінах житлових і громадських будівель доцільно використовувати ніздрюваті бетони марок D 300... D 800. Оптимальна марка за середньою густиною зростає при збільшенні навантаження на простінок.
5. Подальші дослідження слід зорієнтувати на визначення оптимальних марок ніздрюватого бетону за середньою густиною залежно від географічного району будівництва та навантаження на стіни, що дозволить розробити практичні рекомендації з вибору марки ніздрюватого бетону для одношарових стін цивільних будівель.

#### **Література**

1. Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного бетону з альбомом технічних рішень. – К., УкрНДПШЦивільбуд, – 2015. – 185 с.
2. Ніздрюватий бетон - можливості та перспективи ефективного стінового матеріалу. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.osobnyak.com.ua/spip.php?article362>
3. Ніздрюватий бетон – характеристики, застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/statya/nizdryuvatiy-beton-kharakteristiki-zastosuvannya-177>
4. ДБН В.2.6-162:2010. Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. – К., 2011. – 97 с.
5. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель (зі зміною №1 від 1 липня 2013 року). – К., 2006. – 66 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. – К., 2010. – 41 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-137:2008. Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні. Технічні умови. – К., 2008. – 16 с.