

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

ОПТИМАЛЬНІ МАРКИ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ ДЛЯ СТІН ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

Анотація. Широкий діапазон можливих значень показників теплопровідності та міцності обумовлює ефективність використання ніздрюватих бетонів у якості матеріалу для стін житлових і громадських будівель. За методикою, яка базується на вирівнюванні товщин стіни, необхідних за умовами теплового захисту та несучої здатності, розроблені рекомендації щодо вибору оптимальної марки за середньою густиною ніздрюватого бетону для одношарових несучих стін цивільних будівель. Марка бетону обирається залежно від температурної зони України та погонного навантаження на простінок. Розрахунки показали можливість використання ніздрюватих бетонів для зведення зовнішніх стін будівель висотою до п'яти поверхів.

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

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

ОПТИМАЛЬНЫЕ МАРКИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА ДЛЯ СТЕН ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Широкий диапазон возможных значений показателей теплопроводности и прочности обуславливает эффективность использования ячеистых бетонов в качестве материала для стен жилых и общественных зданий. По методике, основанной на выравнивании толщин стены, необходимых по условиям тепловой защиты и несущей способности, разработаны рекомендации по выбору оптимальной марки по средней плотности ячеистого бетона для однослойных несущих стен гражданских зданий. Марка бетона выбирается в зависимости от температурной зоны Украины и погонной нагрузки на простенок. Расчеты показали возможность использования ячеистых бетонов для возведения наружных стен зданий высотой до пяти этажей.

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

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

OPTIMUM MARKS OF POROUS CONCRETE FOR WALLS OF CIVIL BUILDINGS

Annotation. A wide range of possible values of average density, strength indicators and thermal conductivity determines the efficiency of the use of porous concrete as a material for the

walls of residential and public buildings. An increase average density leads to an increase in the coefficient of thermal conductivity and wall thickness under the conditions of thermal protection. At the same time, strength increases and the thickness of the wall decreases from the conditions of bearing capacity. According to the previously developed methodology, which is based on the leveling of wall thickness required by the conditions of thermal protection and bearing capacity, worked out recommendations for choosing the optimal mark for the average density of porous concrete for single-layer bearing walls of civil buildings.

Were investigated external bearing walls of low-rise residential and public buildings with different structural solutions in different climatic conditions of exploitation under the influence of a wide range of loads on overlapping and using different grades of porous concrete. The main indicator for choosing the optimal concrete type is the total running meter load on the pier between windows, which, depending on the purpose and design of the building, can vary from 5 kN/m to 400 kN/m. According to the results of calculations, installed the dependence of the optimal brand of porous concrete from the magnitude of the running meter load on the walls for the two temperature zones of Ukraine.

Calculations indicate the possibility of using porous concrete for erection of external walls of buildings up to five floors. Developed recommendations allow us to choose a brand of porous concrete according to the table depending on the temperature zone of Ukraine and the running meter on the walls, as well as to determine the desired thickness of the concrete wall of the optimum mark.

Key words: walls of civil buildings, porous concrete, mark for the density.

Постановка проблеми. Ніздрюваті бетони (пінобетон і газобетон) характеризуються широким діапазоном можливих значень показників теплопровідності та міцності, що обумовлює ефективність їх використання в якості конструкційно-теплоізоляційного матеріалу для зовнішніх несучих стін житлових і громадських будівель. При збільшенні марки ніздрюватого бетону за середньою густиною зростають значення розрахункового опору й коефіцієнта теплопровідності. Це у свою чергу викликає необхідність збільшення товщини стіни за умовами теплового захисту, але дозволяє зменшити її товщину з умов забезпечення несучої здатності. Оптимальною є марка бетону, яка забезпечує рівність обох значень товщини стіни.

Аналіз останніх публікацій. Конструктивні рішення одношарових стін цивільних будівель та досвід використання ніздрюватого бетону описано в статтях [1, 2, 3]. Розрахунок несучої здатності стін виконується згідно з вимогами норм [4], а теплотехнічний розрахунок – за нормами [5]. Вимоги до технічних характеристик стінових блоків з ніздрюватих бетонів встановлені стандартами [6, 7]. Методика вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону за середньою густиною, яка базується на вирівнюванні товщин стіни, необхідних з умов забезпечення несучої здатності та теплової ізоляції, запропонована в статті [8]. Виконані там приклади показують, що оптимальна марка бетону залежить від району будівництва (температурної зони України) та навантаження на стіну. Для надання рекомендацій з оптимального вибору марки ніздрюватого бетону необхідно проаналізувати стіни житлових і громадських будівель різного призначення й різних конструктивних форм у різних кліматичних умовах та узагальнити отримані результати.

Мета роботи полягає в розробленні рекомендацій щодо вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону для стін житлових і громадських будівель.

Методика вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону за середньою густиною, запропонована в статті [8], базується на забезпеченні одночасного виконання вимог до теплового захисту та несучої здатності стіни. За результатами теплотехнічних і конструктивних розрахунків будуються залежності товщини стіни, необхідної з умов забезпечення теплової ізоляції та несучої здатності, від марки ніздрюватого бетону за середньою густиною. З ростом густини товщина стіни, визначена з умови забезпечення

теплової ізоляції, зростає, а з умови несучої здатності простінка – зменшується. Оптимальною вважається марка бетону, при якій вказані товщини стають рівними.

Пошук оптимальної марки бетону для стін житлових і громадських будівель виконано за методикою [8] з урахуванням **передумов і вихідних даних**, описаних нижче.

Геометричні розміри й конструкції стін і перекриття прийняті характерними для житлових та офісних будівель: висота поверху рівна 3,0 м, товщина перекриття – 0,3 м, висота віконних прорізів – 1,6 м. Відношення ширини віконних прорізів до ширини простінків залежно від призначення будівлі може змінюватися від 0,5 до 2,0.

Перекриття громадських будівель із збірних залізобетонних плит прольотом 6 м мають власну вагу близько 4,7 кПа; перекриття житлових будівель можуть бути такими самими, або виконуються по дерев'яних балках при власній вазі 0,7 кПа.

Характеристичне значення корисного навантаження на перекриття житлових будівель дорівнює 1,5 кПа, а громадських може сягати 4,0 кПа. Характеристичне значення снігового навантаження залежно від географічного району змінюється від 0,8 кПа до 1,8 кПа.

Власна вага стін обчислюється в процесі виконання розрахунків з урахуванням конструкції стіни та густини використаного ніздрюватого бетону.

З урахуванням граничних (найбільших та найменших можливих) значень перелічених факторів встановлено, що при висоті будівель від одного до п'яти поверхів сумарне навантаження на 1 погонний метр простінку нижнього поверху може змінюватися від $Q=5$ кН/м до $Q=400$ кН/м. Частина вказаних навантажень, що передаються через перекриття безпосередньо над простінком нижнього поверху, прикладається позацентрово, а навантаження з вищих поверхів – по осі стіни.

Товщина стін визначається згідно з вимогами норм [4, 5] з умов несучої здатності простінка та забезпечення достатнього опору теплопередачі за робочими формулами, наведеними у [8]. Виходячи з умов забезпечення несучої здатності та необхідного опору теплопровідності, розглядаються конструкційно-теплоізоляційні ніздрюваті бетони марок від D 300 до D 800 за середньою густиною, розрахунковий опір яких змінюється від 0,42 МПа до 2,07 МПа, а коефіцієнт теплопровідності – від 0,08 Вт/м×К до 0,27 Вт/м×К [4...7].

Товщина стін, необхідна для забезпечення несучої здатності простінків, змінюється від 200 мм для одноповерхових житлових будівель до 1400 мм для п'ятиповерхових громадських будівель з найбільшими можливими навантаженнями при використанні бетону марки D 300. Залежно від використаної марки бетону, товщина стін з умов теплової надійності змінюється від 300 мм до 800 мм для першої температурної зони України за [5] та від 250 до 700 мм для другої температурної зони. Виходячи з рівності обох товщин при заданій величині погонного навантаження на простінок, встановлені оптимальні значення густини ніздрюватого бетону для стін, розміщених у першій та другій температурній зоні ДБН [5].

Отримані в результаті виконаних розрахунків залежності оптимальної густини ніздрюватого бетону від сумарного навантаження на простінок наведені на рисунку 1.

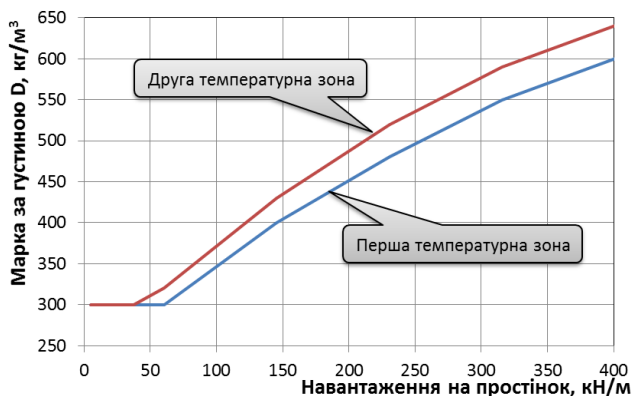


Рис. 1 Оптимальна густина ніздрюватих бетонів при навантаженнях на простінок

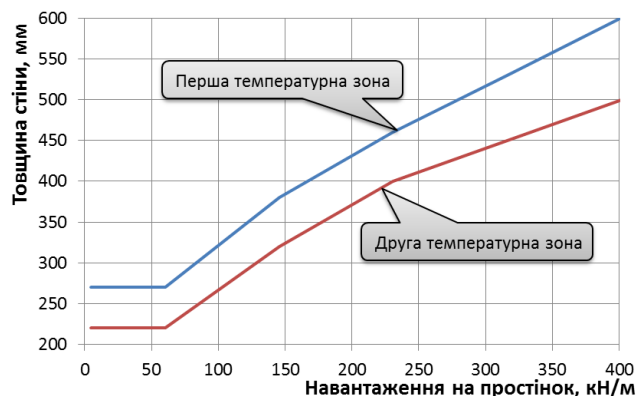


Рис. 2 Орієнтовна товщина стін з ніздрюватих бетонів оптимальних марок

З рисунка видно, що при навантаженнях на простінок до 70...80 кН/м оптимальною є найменша з проаналізованих марок D 300. Зростання погонного навантаження на простінок до 400 кН/м обумовлює збільшення оптимального значення середньої густини до 600 кг/м³. Різниця між оптимальними значеннями густини для першої та другої температурної зони не перевищує 40 кг/м³, тобто не виходить за межі кроку зміни марок за густиною.

Досить систематичний характер залежностей, наведених на рисунку 1, дозволив наближено описати їх поліномами другого ступеню, які мають вигляд:

$$\text{для першої температурної зони} \quad D = 220 + 1,4Q - 0,0012Q^2; \quad (1)$$

$$\text{для другої температурної зони} \quad D = 230 + 1,6Q - 0,0016Q^2, \quad (2)$$

де Q – погонне навантаження на простінок у кН/м без урахування власної ваги стіни.

Замість рисунка 1 чи формул (1), (2) для вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону можна також скористатися даними таблиці 1.

Таблиця 1 – Відповідність марок ніздрюватого бетону навантаженням на простінок

Марка ніздрюватого бетону	D 300	D 350	D 400	D 500	D 600
Навантаження на простінок в першій температурній зоні	< 80	80 – 120	120 – 200	200 – 320	320 – 400
Навантаження на простінок в другій температурній зоні	< 70	70 – 100	100 – 170	170 – 270	270 – 400

На рисунку 2 наведені залежності необхідної товщини стіни, зведеної з оптимальної марки бетону, від величини погонного навантаження на простінок Q. Для більш жорстких кліматичних умов першої температурної зони товщина стін повинна бути більшою, ніж для другої. При навантаженнях на простінки $Q < 60$ кН/м отримані мінімальні конструктивні значення товщини 200 мм. Наведені на рисунку 2 значення товщини стін враховують вимоги до несучої здатності й теплопровідності, а тому можуть бути першим наближенням при проектуванні зовнішніх стін цивільних будівель.

Оптимальне проектування стін малоповерхових будівель, виконаних із ніздрюватих бетонів, рекомендується виконувати в такому порядку:

1. На підставі призначення об'єкта, його архітектурно-планувального та конструктивного рішення визначаються постійні та корисні навантаження від перекриттів і покрівлі, а також снігове навантаження на дах. З урахуванням ширини вікон та простінків обчислюються погонні навантаження на типовий простінок від перекриття над ним (позацентрово прикладена складова навантаження) та від наступних за висотою перекриттів і покрівлі (центрально прикладена складова навантаження), а також сумарне погонне навантаження без урахування ваги стін.

2. За значенням сумарного погонного навантаження на простінок та температурною зоною, для якої проектується будівля, за рисунком 1, таблицею 1, або формулами (1), (2) визначається оптимальна густина ніздрюватого бетону, яка округлюється до стандартної марки за середньою густиною (як правило, у бік збільшення). У випадку отримання $D < 300$ кг/м³ слід прийняти бетон марки D 300.

3. Для прийнятої оптимальної марки ніздрюватого бетону за нормами проектування [4, 5] визначаються необхідні розрахункові характеристики міцності та теплопровідності.

4. За рисунком 2 орієнтовно визначається необхідна товщина стіни, після чого виконується теплотехнічний розрахунок згідно з вимогами [5] і перевірка несучої здатності найбільш напружених простінків згідно з вимогами [4]. Здійснюється необхідне коригування товщини з урахуванням сортаменту типорозмірів стінових блоків з ніздрюватого бетону та виконуються перевірочні розрахунки несучої здатності й опору теплопередачі.

Виконання наданих рекомендацій забезпечує рівну надійність запроєктованих стін за критеріями несучої здатності та теплового захисту та їх відповідність чинним нормам проектування будівель.

Приклади проектування стін з використанням розроблених рекомендацій виконано для двоповерхового котеджу та п'ятиповерхового житлового будинку. Обидві будівлі мають збірні залізобетонні перекриття прольотом 6 м та зовнішні стіни з блоків ніздрюватого бетону із зовнішнім захисним шаром на основі цементного розчину та внутрішньою штукатуркою з вапняно-піщаного розчину. При ширині простінка, рівній ширині вікна, сумарне погонне навантаження на простінок котеджу складає 72,3 кН/м, а п'ятиповерхового житлового будинку 198,8 кН/м. Обидві будівлі проектуються для умов першої температурної зони, для якої нормами [5] встановлено мінімально необхідний опір теплопередачі $R_{q \min}=3,3 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$. Товщина стін з ніздрюватого бетону визначалася з урахуванням вимог до опору теплопередачі та несучої здатності простінків та з урахуванням вимог стандартів [6, 7] щодо розмірів блоків приймалися кратною 50 мм.

За таблицею 1 та рисунком 2 при вказаних вище навантаженнях на простінки визначені оптимальні марки ніздрюватого бетону та рекомендовані товщини стін (з округленням до 50 мм) для будівництва в першій температурній зоні України. Коефіцієнти використання несучої здатності простінків, обчислені за методикою [8], та отримані опори теплопередачі наведені в таблиці 2. Оскільки погонне навантаження на простінок 198,8 кН/м лежить на межі між двома марками бетону, для стін житлового будинку проаналізовані два варіанти вибору марки ніздрюватого бетону.

Таблиця 2 – Перевірка несучої здатності та теплових характеристик стін

Тип будівлі	Марка бетону	Товщина стіни, мм	Коефіцієнт використання	Опір теплопередачі
Двоповерховий котедж	D 300	300	0,71	3,53
П'ятиповерховий житловий будинок	D 400	450	1,06	4,29
	D 500	450	0,77	3,20
	D 400	500	0,93	4,74
	D 500	500	0,72	3,53

З таблиці 2 видно, що обрана згідно з розробленими рекомендаціями стіна двоповерхового котеджу з ніздрюватого бетону марки D 300 товщиною 300 мм відповідає вимогам норм проектування до несучої здатності та опору теплопередачі. Спроба зменшити товщину стіни до 250 мм вказала на недостатній опір теплопередачі $R=2,98 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$. Стіна п'ятиповерхового житлового будинку товщиною 450 мм з бетону марки D 400 перевантажена на 6%, а з бетону марки D 500 не відповідає вимогам норм [5] до мінімально необхідного опору теплопередачі. Це вимагає збільшити товщину стіни до 500 мм. З двох останніх рядків таблиці 2 видно, що використання бетону марки D 400 при товщині стіни 500 мм дає достатню несучу здатність та великий запас по опору теплопередачі, а марка D 500 істотно збільшує несучу здатність простінка при достатніх теплових характеристиках. Остаточний вибір марки за густиною ніздрюватого бетону слід робити на підставі уточнених перевірочних розрахунків та економічного порівняння отриманих варіантів.

Висновки за результатами досліджень. Виходячи з принципу рівнонадійності за умовами несучої здатності та теплової ізоляції, отримані графічні, аналітичні й табличні залежності оптимальної марки за густиною ніздрюватого бетону від погонного навантаження на простінок для двох температурних зон України. Ці залежності разом з рекомендованим порядком проектування дозволяють обрати оптимальну марку ніздрюватого бетону та встановити орієнтовну товщину стін конкретної будівлі. На прикладі двоповерхового котеджу та п'ятиповерхової житлової будівлі показана можливість використання одношарових стін з ніздрюватого бетону марок D 300...D 500 в кліматичних умовах України.

Література

1. Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного бетону з альбомом технічних рішень. – К., УкрНДПЦивільбуд, – 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. Пашинський В.А., Настоящий В.А., Дарієнко В.В., Товмаченко Є.О. Практичний досвід використання збірного і монолітного неавтоклавного пінобетону при зведенні енергоефективних будівель ТОВ "Будспектр" // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Атлант, 2016. – Випуск 65. – С. 132–136.
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.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К., 2017. – 31 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.
8. Пашинський В.А., Карпушин С.О. Методика вибору оптимальної марки ніздрюватого бетону для стін // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2017. – Вип. 66. – С. 93–98.