

# ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 625.7/8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук

## ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ЖОРСТКИХ ПОКРИТТІВ

**Анотація.** В статті розглядається доцільність збільшення будівництва доріг з цементобетонним покриттям з використанням високоміцних бетонів в умовах інтенсивного руху великантажних транспортних засобів.

**Ключові слова:** жорсткий дорожній одяг, високоміцний цементобетон, інтенсивність руху, осьове навантаження.

**Аннотация.** В статье рассматривается целесообразность увеличения строительства дорог с цементобетонным покрытием с использованием высокопрочных бетонов в условиях интенсивного движения большегрузных транспортных средств.

**Ключевые слова:** жесткая дорожная одежда, высокопрочный цементобетон, интенсивность движения, осевая нагрузка.

**Annotation.** This article discusses the feasibility of increasing road construction, cement concrete pavement with high-strength concrete in heavy traffic and heavy vehicles.

**Keywords:** rigid road pavement, high-strength cement concrete, traffic, axle load.

### Вступ

Протягом багатьох років, як в Україні, так і в усьому світі спостерігається динамічне зростання інтенсивності руху (більше як у два рази за десять років) та навантаження на вісь (більше 115 кН).

У світі від 3 до 6 % дорожньої мережі мають бетонне покриття. Перекладаючи цю статистику для нашої країни отримаємо, що близько 10.000 км доріг України повинні мати цементобетонне покриття. Зокрема це стосується магістральних автомобільних доріг та швидкісних доріг, де висока міцність поверхні дуже важлива. Розвиток стратегії будівництва покриттів добре прослідковується у наших сусідів на заході.

У Німеччині в 70-ті роки минулого століття будувалося 30 % цементобетонних покриттів, у 80-ті близько 60 %, а у другій половині 90-х вже 62 %. Так само в Чеській Республіці, де в останні 15 років близько 65 % нових доріг були збудовані з бетонним покриттям. В інших європейських країнах, також постійно зростає частка цементобетонних доріг. Наприклад, в Австрії і Великобританії частка бетонних доріг більше 50 %. У Бельгії, цементобетонні шосе складають 40 %, а доля місцевих доріг побудованих за цементобетонною технологією складає близько 60 % [1].

В Україні більшість цементобетонних покриттів побудовані в 50 - х ... 70 - х роках минулого століття. Майже всі вони потребують ремонту або вже відремонтовані з використанням асфальтобетонних шарів покриття. Із близько 170 тис. доріг загального користування тільки 2,4 тис. мають цементобетонне покриття, що становить всього 1,4 %.

**Постановка задачі.** В умовах стрімкого зростання навантажень на покриття та цін на нафтопродукти і відповідно органічні в'язучі виникає закономірне питання які дороги нам будувати? Із асфальтобетонним чи цементобетонним покриттям.

Статистика зміни вартості дорожньо-будівельних матеріалів вказує на стрімке її зростання. На рис. 1 – 2 наведені дані зміни вартості заповнювачів та в'язучих за останнє десятиріччя.

Вартість різних фракцій щебеню (рис. 1) зростає за експоненційною залежністю в період з 2000 по 2008 рік в 5...8 разів, проте в останні роки спостерігається практично незмінна вартість.

Вартість бітуму за десятиліття зростає в 10 разів (рис. 2). Особливо швидко росте вартість бітуму за останні 3 місяці з темпом 1200 грн/т в місяць і досягає на червень 2011 р. більше 7000 грн./т, збільшуючись ледве не щоденно. Вартість бітумної емульсії повторює зростання бітуму з коефіцієнтом 0,88 для

модифікованої і 0,66 для традиційної. Вартість цементу зросла за 10,5 років в 4,7 рази та за останні 3 роки практично не змінювалася.

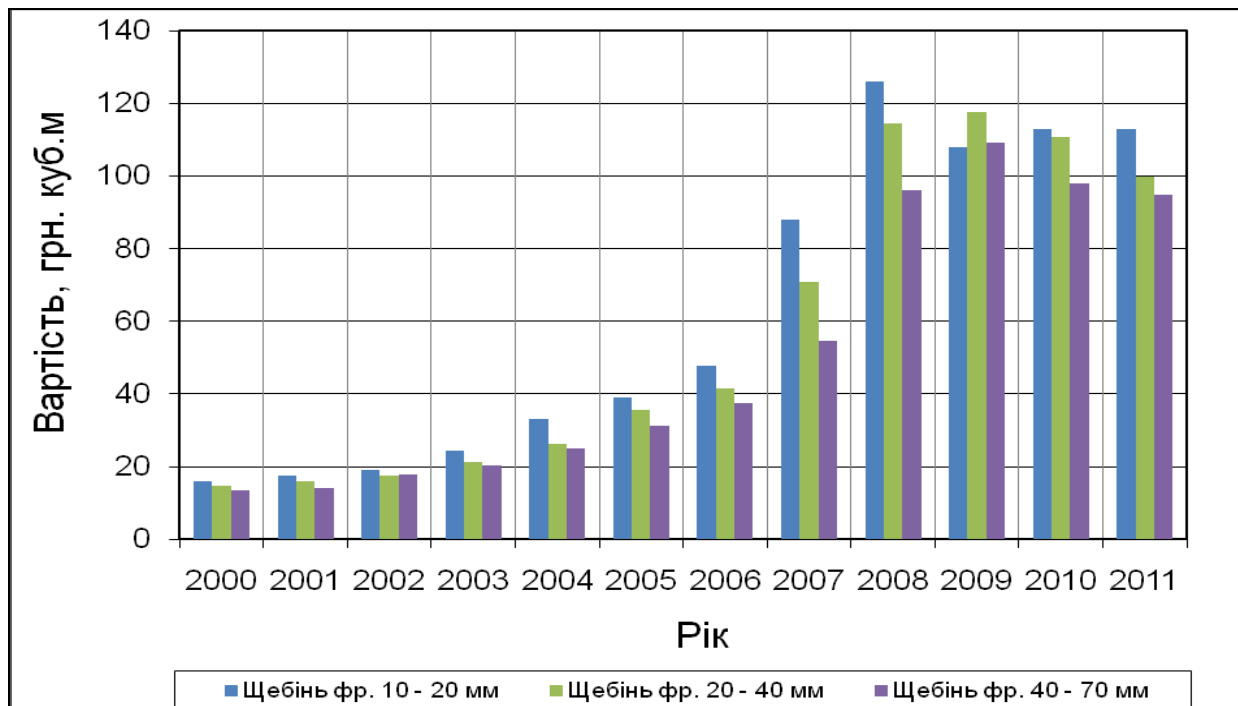


Рис. 1. Зміна вартості різних фракцій щебеню за останні 10,5 років

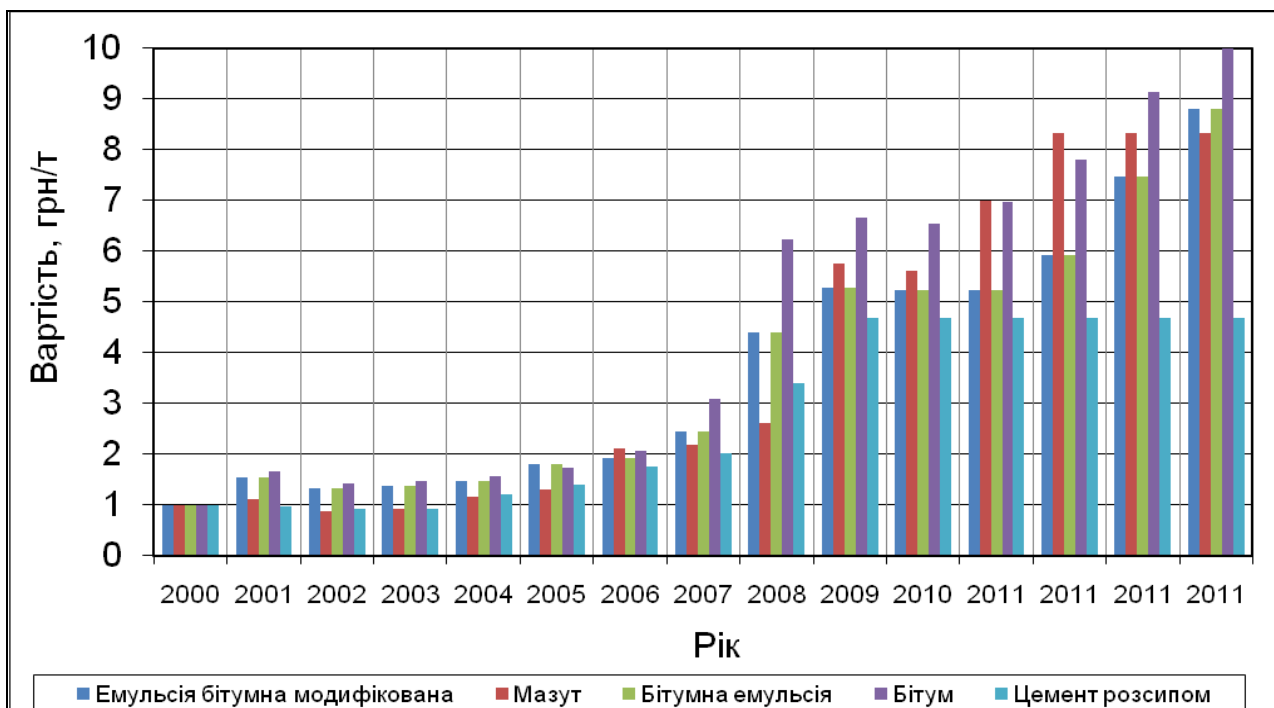


Рис. 2. Зміна вартості в'язучих за останні десять років

Багато аспектів впливають на вибір бетонного покриття.

Основні переваги цементобетонних покриттів в порівнянні з асфальтобетонними:

- більша міцність і довговічність;
- відсутність явища колійності;
- забезпечення більшої безпеки руху;
- наявність вітчизняної сировини;
- менше нагрівання за рахунок світлої поверхні;
- можливість переробки та повторного використання;

і навіть здатність забезпечити більш низький рівень шуму при влаштуванні шарів зносу.

В Україні спостерігається нестача власної сировини та недостатня кількість виготовлення дорожнього бітуму, щоб забезпечити потреби будівництва, тому виникає необхідність в імпорті.

**Мета роботи.** Оцінка ефективності використання високоміцних бетонів на сучасному етапі розвитку автодорожнього комплексу України.

**Основна частина.** Для розрахунку товщини цементобетонної плити [2] необхідні достовірні дані про зміну міцності на розтяг при згині, модуля пружності, коефіцієнта Пуассона та показника витривалості високоміцного бетону в залежності від класу міцності на стиск або розходу цементу при заданих технологічних режимах укладки (легкоукладальності чи жорсткості суміші).

Для установлення модуля пружності  $E$  цементобетону необхідно мати залежності “напруження  $\sigma$  – деформація  $\varepsilon$ ” (рис. 3), звідки із закону Гука визначається модуль пружності ( $E = tg\alpha = \sigma/\varepsilon$ ) [3].

Нажаль таких даних на даний час обмаль [4]. На рис. 4 наведена апроксимація даних по визначенню розрахункового модуля пружності бетону від класу бетону по міцності на розтяг при згині [2]. Звертає на себе увагу відсутність в нормах на проектування жорстких дорожніх одягів [2] бетонів з класом міцності вище  $B 35$  ( $B_{tb} 4,4$ ), в той час як при будівництві аерордромів [5] допускається використання бетонів з класом міцності до  $B 60$  ( $B_{tb} 6,4$ ).

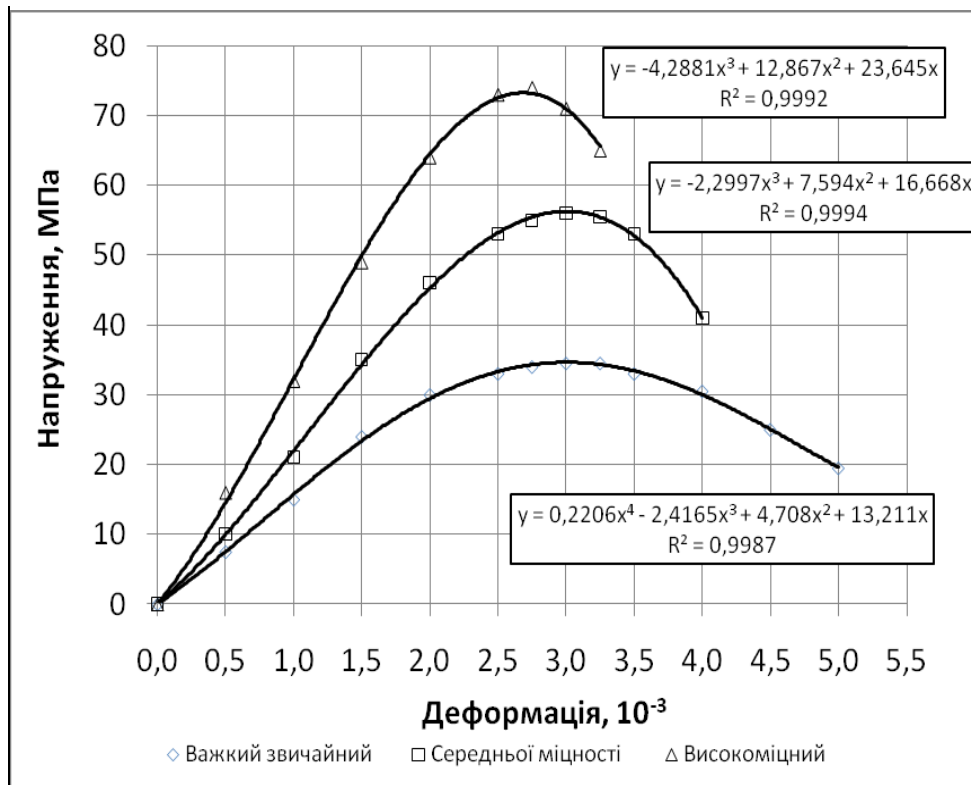


Рис. 3. Типова залежність “напруження - деформація” для високоміцного, важкого бетону середньої міцності та звичайного бетонів

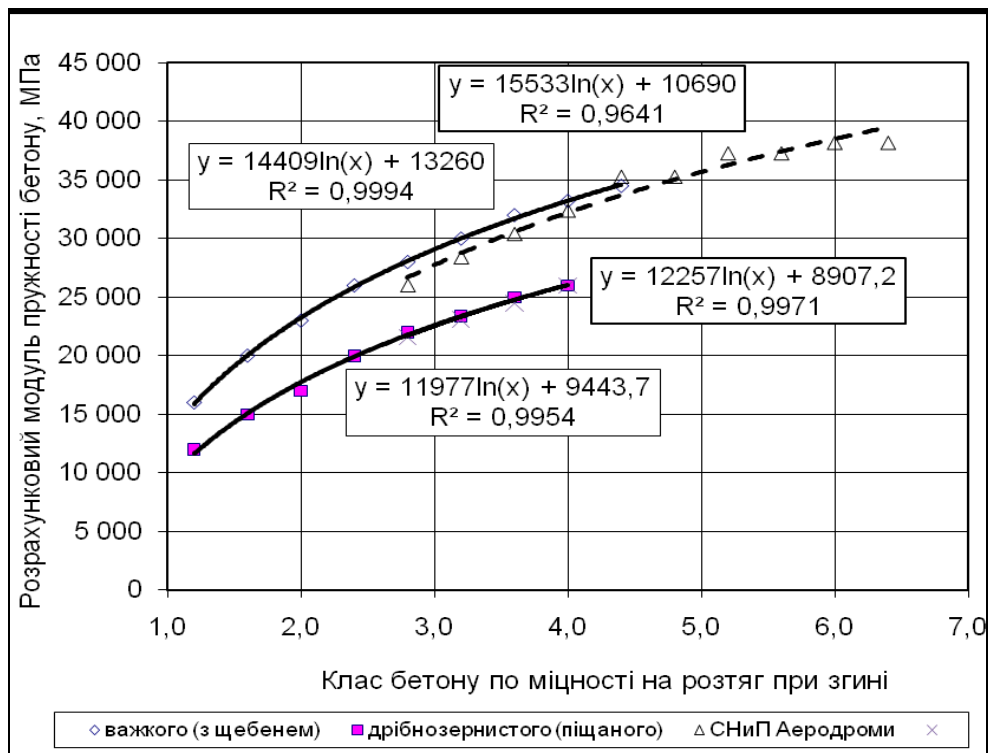


Рис. 4. Апроксимація даних по визначенню розрахункового модуля пружності бетону від класу бетону по міцності на розтяг при згині

**Теоретична частина.** Використовуючи розрахункові залежності ВБН В.2.3-218-008-97 [2] отримана залежність для визначення товщини цементобетонної плити від зміни факторів впливу

$$h \geq \sqrt{K_{МЦ} \frac{60 \cdot Q_p \cdot K_M \cdot K_{умв} \cdot K_{умт} [0,0592 - 0,09284 \cdot \ln(R/h \cdot \sqrt[3]{E(1-\mu_0^2)}) / [6E_0^e (1-\mu^2)])]}{B_{tb} K_{мс} \cdot 1,08 \cdot N_{\Sigma}^{-0,063} K_t(h)}}, \quad (1)$$

де КМЦ – коефіцієнт міцності, що визначається залежно від категорії дороги та рівня надійності;

$Q_p$  – розрахункове навантаження, кН;

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження;

$K_{умв}$  – коефіцієнт, що враховує умови роботи;

$K_{умт}$  – коефіцієнт, що враховує вплив з'єднань із штирями;

$R$  – радіус відбитка колеса:

$$R = \sqrt{Q_p / (0,1\pi q_{ш})}, \quad (2)$$

тут  $q_{ш}$  – тиск у шинах, МПа;

$E$  і  $\mu$  – модуль пружності, МПа і коефіцієнт Пуассона бетону;

$\mu_0$  – коефіцієнт Пуассона основи;

$E_0^e$  – еквівалентний модуль пружності основи, МПа;

$B_{tb}$  – мінімальний проектний клас бетону за міцністю на розтягування при згині, МПа;

$K_{мс}$  – коефіцієнт набору міцності;

$N_{\Sigma}$  – сумарна кількість проїздів розрахункових осей за строк служби дорожнього одягу (осей/строк служби);

$K_t$  – коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит, апроксимується лінійною залежністю для різних дорожньо – кліматичних зон

$$K_t(h) = a + b \cdot h. \quad (3)$$

Модуль пружності дорожнього бетону  $E$  апроксимується логарифмічною функцією в залежності від  $B_{tb}$  класу міцності на розтягування при згині

$$E = 13260 + 14409 \cdot \ln(B_{tb}). \quad (4)$$

Із залежності (1) з врахуванням (2 – 4) товщина визначається рішенням трансцендентного рівняння. Для виконання практичних розрахунків в середовищі MathCad складена програма, в якій реалізовано метод діхотомії для визначення товщини із залежності (1).

**Приклад розрахунку.** Розглянемо конкретний приклад проектування конструкції площадки сільськогосподарського ринку в м. Києві.

**Вихідні дані:**

- інтенсивність руху 50 авт./добу;
- ґрунт робочого шару земляного полотна: суглинок легкий (піщанистий);
- дорожньо-кліматичне районування У-II (Центр);
- строк служби дорожнього одягу  $T_{cl} = 25$  років;
- група розрахункового навантаження  $A_1$ ;
- нормативне статичне навантаження  $Q_p = 115$  кН/вісь;
- питомий тиск  $p = 0,8$  МПа;
- розрахунковий діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля  $D_\delta = 34,5$  см;
- показник зміни інтенсивності руху  $q = 1,0$ ;
- коефіцієнт динамічності 1,3;

Інтенсивність руху автомобілів за строк служби становить: 456 250 авт.

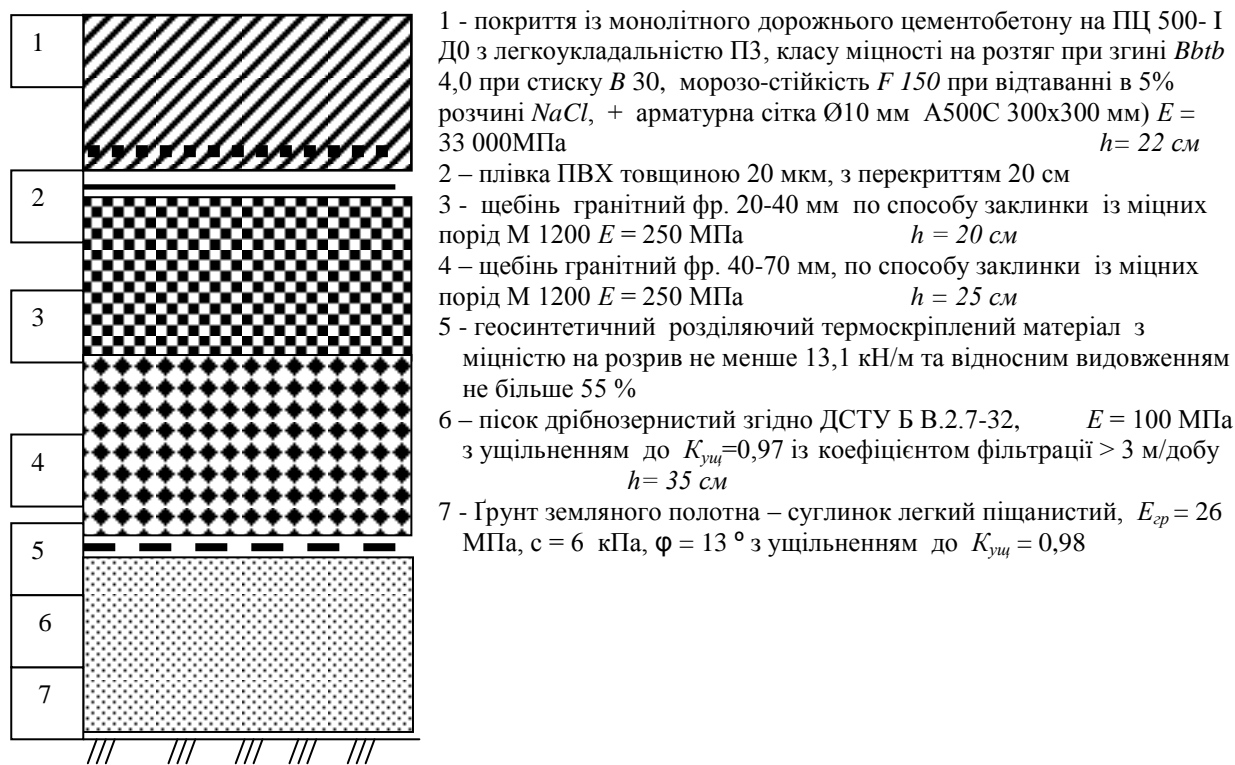


Рис. 5. Конструкція дорожнього одягу площадки

Звичайно проектувальники задають марку бетону на стиск В 22,5 з армуванням арматурою класу А500 діаметром 10 мм, з кроком 200х200 мм. Товщина плити при цьому приймається 20 см. Часто така конструкція починає руйнуватися вже через декілька років інтенсивної експлуатації. Альтернативним є варіант влаштування бетонної плити товщиною 22 см із бетону класу міцності В 35, однак ЦБЗ відмовляються готувати такий бетон.

Результати розрахунку товщини цементобетонної плити в залежності від класу міцності бетону на розтяг при згині подані на рис. 6.

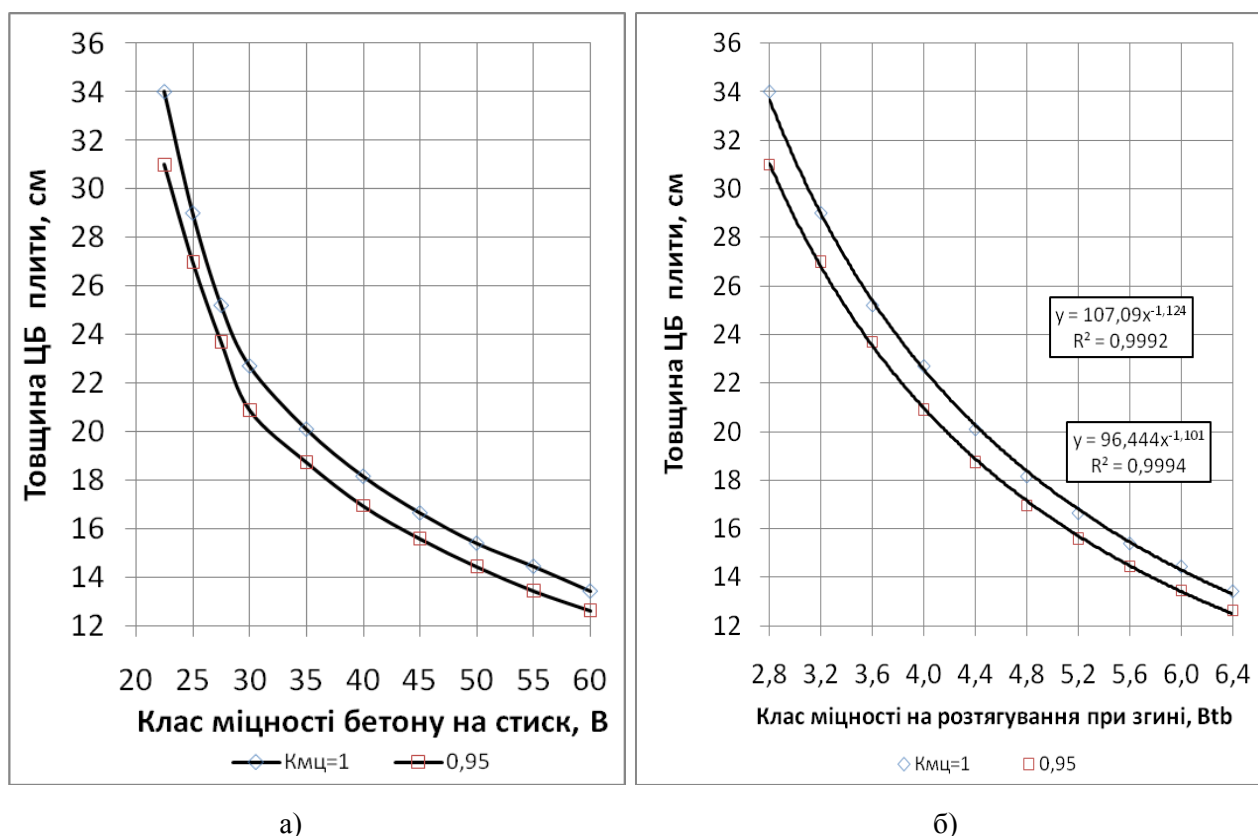


Рис. 6. Залежність товщини цементобетонної плити від класу міцності бетону:  
а) на стиск; б) на розтягування при згині

Як слідує з результатів розрахунків (рис. 6) збільшення міцності бетону приводить до значного зменшення товщини плити і дозволяє відмовитися від армування металевою сіткою.

Моніторинг вартості 1 куб. м бетону на підприємствах будівельної індустрії в м. Києві вказує на експоненційну залежність ціни від класу міцності на стиск  $Ціна\_бетону = 350,3 \cdot e^{0,0205 \cdot B}$ . На рис. 7 наведений графік зміни відносної ціни 1 куб. м бетону по відношенню до базової ціни бетону класу міцності В 30.



Наприклад, при використанні замість бетону *B 30* бетону *B 60* ціна зростає в 1,9 разів, а товщина цементобетонної плити зменшується майже в два рази, що дає змогу добитися значної економії заповнювачів. Мінімальна товщина плити має бути не менше 14...16 см із умов температурних деформацій.

Зміна відносного тарифу на доставку товарного бетону та розчинів апроксимується лінійною залежністю виду:

$$\text{Тариф} = 0,7362 + 0,0272 \cdot \text{Відстань}_{\text{перевезення}}$$

При збільшенні відстані доставки з 10 до 50 км тариф зростає в 2,1 рази у відношенні до базового тарифу на 10 км 77,76 грн/м<sup>3</sup>.

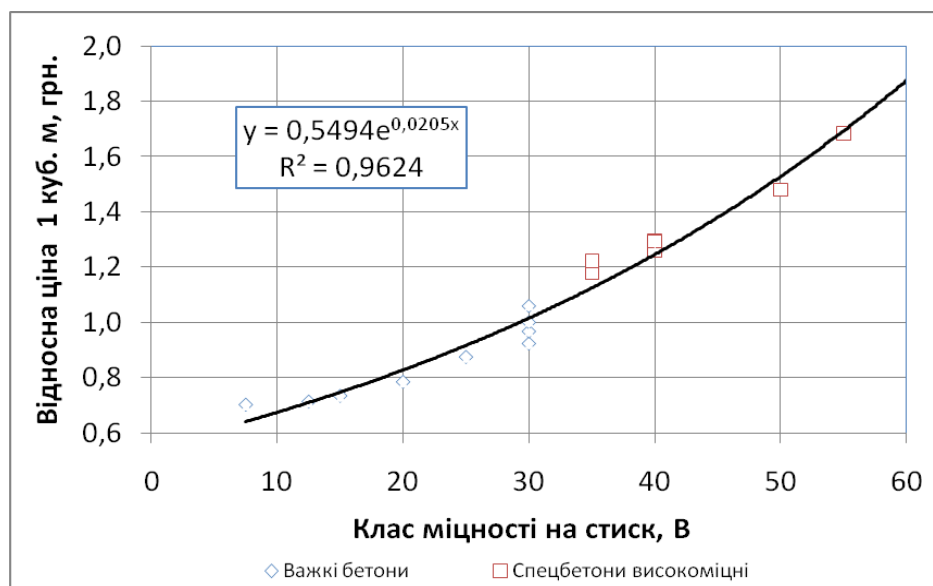


Рис. 5. Зміна відносної ціни 1 куб. м бетону по відношенню до базової ціни бетону класу міцності В 30 (637 грн/ м<sup>3</sup>) в залежності від класу міцності на стиск

## Висновки

В умовах інтенсивного руху з великими швидкостями і різким гальмуванням важких автомобілів, автобусів і тролейбусів високі експлуатаційні якості покриттів вимагають збільшення будівництва доріг з цементобетонним покриттям.

Основними достоїнствами доріг з цементобетонним покриттям є:

- велика міцність, мале зношування поверхні, великий строк служби без значного ремонту при невеликій вартості утримання;

- достатня шорсткість поверхні покриття, що дозволяє розвивати значну швидкість руху автомобілів.

- цементобетонні покриття не змінюють несучу здатність при різких сезонних коливаннях температури і вологості. Більш того, з часом їх міцність зростає. Коефіцієнт опору руху у цементобетонних покриттів менший ніж у покриттів інших типів, завдяки чому зменшується витрата пального і зношуваність шин.

У наш час корінним чином змінилися умови дорожнього будівництва. Промисловість тепер може поставляти дорожні цементи в необхідних кількостях і потрібного складу. Будівництво цементобетонних покриттів виконується сучасними високопродуктивними комплектами машин з ковзаючими формами.

Зростання інтенсивності руху та навантажень на вісь на дорогах України вимагає значно збільшити будівництво цементобетонних покриттів. При капітальному ремонті та реконструкції існуючі покриття слід розглядати як основу для підсилення цементобетоном. При новому будівництві необхідно віддавати перевагу покриттям з високоміцного бетону (В 40 ... В 60 і вище). Слід очікувати значний економічний ефект при будівництві цементобетонних покриттів сучасних аеродромів, де товщина плити більше 45 см, а загальна товщина цементовмісних шарів більше 1,0 м.

## Література

1. www. Drogi Betonowe. Polska. – 2011.
2. ВБН В.2.3.-218-008-97 Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. - К.: Укравтодор, 1997. – 218 с.
3. Caldarone M.A. High-strength concrete. A practical guide. – New York, Taylor & Francis, 2008. – 252 p.
4. Васильев Ю.М., Агафонцев В.П. и др. Дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов. - М.: Транспорт, 1989. – 191 с.
5. СНиП 2.05.08-85 Аеродроми. - М.: ЦИТП Госстроя СРСР, 1985. - 59 с.