

Каганов В. О., к.т.н., доцент, ORCID ID: 0000-0002-9607-2951
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

ТЕНДЕНЦІЇ ПРОЦЕСУ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВІБРОПРЕСУВАННЯ НАДЖОРСТКИХ ТА ЖОРСТКИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ В ІНДУСТРІАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ УКРАЇНИ

Статтю автора присвячено дослідженню сучасних підходів до використання високоефективних бетоноутворювальних комплексів для заводського виробництва бетонних фасонних елементів мощення (БФЕ) на основі твердих і надтвердих бетонних сумішей із застосуванням дрібнозернистого митого гранітного кубічного щебеню. У публікації проаналізовано сучасний стан у процесі впровадження в Україні основних технологічних прийомів формування та ущільнення жорстких і наджорстких бетонних сумішей, а саме: вібропресування та пресування дрібнобетонних ФЕМ для дорожнього та інженерного будівництва.

Наведені в статті факти щодо досвіду ефективності заводської технології виробництва жорстких і наджорстких бетонних сумішей з використанням напівсухого вібропресування свідчать про високу ефективність згаданого промислового способу виробництва фасонних елементів мощення.

Проведений у статті аналіз бетонних профільних елементів мощення, що функціонують у промисловому виробництві України, з використанням високоефективних імпортних бетоноформувань комплексів свідчить про очевидну ефективність методу напівсухого вібропресування наджорстких і жорстких бетонних сумішей в якості якісних і естетично привабливих виробів для дорожнього та інженерного будівництва.

Загальна тенденція до використання сучасних зарубіжних бетоноформувань комплексів з продуктивністю від 1500 до 9600 квадратних метрів бетонних ФЕМ на добу свідчить про те, що українські промислові виробники вібропресованих бетонних виробів перебувають на правильному шляху і потужно підтримують сучасні світові технологічні підходи у виробництві ефективних бетонних виробів власними силами. Крім того, можна констатувати факт значного підвищення міцності бетону на стиск, міцності на розтяг

при розколюванні та водопоглинання натурних зразків бетонних ФЕМ, виготовлених за технологією вібрації в замкнутому контурі металевої форми під навантаженням, порівняно з виготовленням елементів вищевказаних виробів методом напівсухого об'ємного пресування на технологічному обладнанні фірми «Columbia» (США).

Ключові слова: жорстка бетонна суміш; наджорстка бетонна суміш; вібропресування; формування методом пресування; міцність бетону на стиск.

Вступ. Характерною особливістю розвитку заводського виробництва України вібропресованих бетонних виробів на початку ХХІ століття виявилось використання високопродуктивного технологічного бетоноформувального обладнання. На вітчизняному будівельному ринку за останнє десятиріччя з'явилось декілька груп сучасного професійного устаткування провідних виробників світу для індустріального виготовлення екологічно чистої та естетично привабливої бетонної продукції, яка використовується для благоустрою міської вулично-проїжджої мережі і комунальних територій.

Постановка мети і задач досліджень. Автор має на меті здійснити аналіз фактичного стану впровадження сучасних технологій формування наджорстких та жорстких кольорових бетонних сумішей з використанням високотехнологічних ліній для вібропресування бетонних виробів тротуарних неармованих, каменів бортових та малих архітектурних форм, які застосовуються при благоустрої міських територій та комунально-дорожніх об'єктах на теренах України.

Аналіз останніх досліджень. Проблематиці вивчення досвіду українських підприємців на будівельному ринку в процесі використання сучасного бетоноформувального обладнання при вібропресуванні наджорстких та жорстких бетонних сумішей присвячено науково-популярні статті А. Олійника [1].

Окремою стрічкою в питаннях висвітлення питань, пов'язаних з впровадженням технології вібропрасування бетонних сумішей на українських підприємствах будівельної індустрії, стоять наукові дослідження здійснені Ушеровим-Маршаком О. В. [2].

Проблемам розробки ефективного бетоноформувального обладнання нового покоління для вібропрасування кольорових жорстких та наджорстких бетонних виробів присвячено науковій праці Р. Реша, який детально висвітлив питання використання сучасного бетоно-

формувального обладнання німецького машинобудівного концерну «HESS» в країнах Східної Європи [3].

Виклад основного матеріалу статті. Характерною рисою в питаннях, пов'язаних з виготовленням високоякісної та естетично привабливої бетонної продукції для благоустрою вулично-дорожньої мережі в сучасній Україні, є специфічний розподіл по території України підприємств з обладнанням від різних машинобудівних виробників з різних країн Західної Європи.

Аналіз змонтованого бетоноформувального обладнання на підприємствах будівельної індустрії в період з 2000 по 2020 роки в Україні свідчить про наступні пріоритети при виборі вібропресувальних технологічних ліній, як наприклад:

- в м. Києві та Київській області це німецькі комплекси корпорації "TORWERK GROUP" марок HESS-RH 2000-2 та HESS-RH 1500 – SA (корпорація «Ковальська», м. Київ) та ліцензійне обладнання концерну SIMEM S.R.L., яке встановлено у м. Вишневому Київської обл. на виробничих площах ТМ «Золотий мандарин»;

- на Рівненщині (м. Костопіль) та м. Рівне виробники бетонних дрібноштучних елементів свій вибір зупинили на технологічних лініях американського виготовлення фірми «Columbia», які орієнтовані на властивості потужного ефекту пресування штучних композиційних виробів на основі мінерального зв'язного;

- Львівщина та м. Львів у своїй виробничій діяльності зупинилися на використанні бетоноформувальних комплексів з Німеччини, а саме: ТМ «Мій Двір» (ТзОВ «Магік», м. Львів) – це MASA модель XL-9.2 та ZENITH моделі HB940S і HB828MAZ, а ТзОВ «Озон» (м. Городок) – технологічні лінії компаній KNAUER AG та SCHLOSSER-PFEIFFER GmbH.

В м. Дніпро місцевий виробник бетонної продукції ТОВ «Ганг» при виборі для себе основного технологічного обладнання за базу обрав бетоноформувальне обладнання німецького концерну MASA-HENKE, яке було демонтовано в Німеччині в процесі заміни існуючих технологічних ліній виробництва бетонних вібропресованих елементів на більш сучасне та економічно орієнтоване формувальне устаткування з промислових площ підприємства в передмісті м. Кельна.

Все наведене вище бетоноформувальне обладнання необхідно віднести до розряду професійного устаткування, яке в стані продукувати від 1500 до 9600 квадратних метрів бетонних фігурних елементів мостіння в одну зміну.

Методика наукових досліджень. В процесі наукових досліджень були використані стандартні лабораторні випробування, що виконувались за вимогами діючих ДСТУ Б EN 1338:2016; ДСТУ Б EN 1339:2016 в умовах атестованої в системі Міністерства економічного розвитку і торгівлі України (система Держстандарту України) виміральної лабораторії діючого підприємства ТМ «Мій двір».

Результати наукових досліджень. Основним технологічним процесом створення високоякісних бетонних виробів тротуарних напольованих та каменів бортових різноманітної конфігурації є спосіб ущільнення вібраційним методом з використанням гармонійних коливань наджорстких та жорстких бетонних сумішей з привантаженням у замкненому контурі в середині матриці прес-форми відповідної модифікації бетоноформуального комплексу. Саме цей технологічний прийом у процесі комплексного вібропресування наджорстких та жорстких бетонних сумішей у процесі напівсухого формування на сьогодні слід вважати найбільш ефективним в індустріальному виробництві високоякісних естетично привабливих бетонних елементів для благоустрою міських територій та при влаштуванні комунальної вулично-проїжджої мережі.

Теоретичним вивченням основ структуроутворення матриці ущільненого вібропресованого бетону за допомогою вібраційних гармонійних коливань в замкненому контурі прес-форми під зовнішнім привантаженням методом напівсухого шарового формування із застосуванні сучасного технологічного обладнання в науковому співтоваристві дослідників бетонів активно займались польські фахівці З. Ямроза [4] та В. Брилицький [5]; німецькі бетонознавці Ф. Блюме та Т. Клауссен [6]; великий творчий колектив українських авторів під орудою професора Дворкіна Л. Й. [7; 8] та інші відомі дослідники в галузі будівельного матеріалознавства і технологій індустріального бетону [9; 10; 11; 12].

Базову роль у процесі структуроутворення матриці вібропресованого елемента з наджорсткої та жорсткої бетонної суміші при фактичній жорсткості по приладу Вебе від 60 с до 120 с, безумовно, відіграє кілька основних факторів, а саме:

- добір оптимального гранулометричного складу робочих бетонних сумішей для напівсухого формування на основі митих гранітних щебенів;

- вибір правильного водоцементного співвідношення в кожному з шарів вібропресованої бетонної продукції, оскільки більшість зга-

даних вище виробів, виготовляється двошаровими з метою підвищення естетичної виразності готових елементів благоустрою;

- постійний лабораторний та технологічний моніторинг за фактичними величинами фактичної вологості виробів на основі дрібнозернистої наджорсткої та жорсткої бетонної сумішей в процесі виробництва готових бетонних елементів благоустрою;

- застосування у виробничому процесі найбільш ефективного технологічного обладнання, що забезпечує як якісні, так і кількісні параметри свіжовідформованої готової всієї номенклатури вібропресованої бетонної продукції.

Особливістю досліджуваного технологічного процесу вібропресування у замкненому контурі металевої форми з привантаженням при гармонійному ущільненні є той факт, що на бетонну суміш, яка була пошарово завантажена в комірки прес-форми одночасно впливають відразу дві компоненти: 1) ефект пресування від спеціальних пуансонів зверху до низу; 2) за допомогою встановлених на формі збуджувачів вібраційних коливань. В цьому випадку процес подвійного впливу на свіжовкладену в металоформу наджорстку та жорстку бетону суміш, в якості пресувального тиску, підсилюється від віброуючого зусилля та суттєво покращує ефект кінцевого формування готових вібропресованих виробів при напівсухому формуванні.

Досвід вібропресування наджорстких бетонних сумішей на бетоноформувальних комплексах виробництва MASA та Zenith GmbH (Німеччина) свідчить, що саме наведений та проаналізований вище технологічний принцип використання подвійного впливу вібрації та об'ємного пресування на свіжовідформовані бетонні елементи благоустрою дорожнього та комунального призначення закладає потенційно високі експлуатаційні властивості готових бетонних виробів. Цей факт є аргументом, що всі відомі провідні виробники вібропресованої бетонної продукції в цілому світі зупинили свій вибір на застосуванні у виробничому процесі саме німецького обладнання у вигляді бетоноформувальних комплексів, які застосовують в процесі виготовлення виробів описані вище технологічні принципи.

На користь вибору вискоелективного вібропресувального обладнання на базі ущільнення наджорстких та жорстких бетонних сумішей в замкненому контурі металоформи з привантаженням у процесі виробництва свідчать прикладні наукові дослідження, які проводились в атестованій заводській вимірювальній лабораторії підприємства ТМ «Мій Двір» (м. Львів). В період з 2019 по 2022 роки у

співавторстві з фахівцями кафедри «Будівельне виробництво» Національного університету «Львівська політехніка» були здійснені лабораторні дослідження з метою оцінки початкової та кінцевої міцності бетонних фігурних елементів мостіння (ФЕМ) з декількох партій натурних зразків, як виготовлених методом напівсухого вібропресування, так і бетонних ФЕМів, які виготовлялись на комплексі фірми «Columbia» (США) способом об'ємного пресування наджорстких та жорстких бетонних сумішей в спеціальних прес-формах.

В таблиці публікації приведено дані лабораторних досліджень визначення міцності готових натурних бетонних фігурних елементів мостіння різної товщини на стиск, на міцність, на розтяг при розколі натурних зразків водопоглинання. Представлені результати лабораторних досліджень, що виконувались на випробувальному автоматизованому обладнанні італійського виробництва «Controls», атестованому в системі Держстандарту України у вимірювальній заводській лабораторії ТМ «Мій Двір» (м. Львів).

При цьому для об'єктивності аналізу обирались натурні бетонні фігурні елементи мостіння з приблизно однаковими витратами зв'язного на 1 м³ готової продукції, що становив в середньому від 340 до 360 кг портландцементу марки ПЦ-500 І на один кубічний метр наджорсткої та жорсткої бетонної суміші.

Таблиця

Усереднені результати лабораторних досліджень міцнісних характеристик вібропресованої та пресованої бетонної готової продукції і водопоглинання зразків за підсумками сезону виробництва ТМ «Мій Двір» та ТЗОВ «Юнігран» 2022 року^{*)}

№ з/п	Товщини бетонних фігурних елементів мостіння (ФЕМ), мм	Міцність на стиск у віці 1-ої доби, МПа	Міцність на стиск у віці 7-ми діб, МПа	Міцність на стиск у віці 28-ми діб, МПа	Міцність на розтяг при розколі, МПа (28 діб)	Водопоглинання зразка, %
І	Вібропресована бетонна продукція, виготовлена ТМ «Мій Двір» (м. Львів, виробник ТЗОВ «Магік»)					
1	100	17,30	37,10	49,80	3,59	4,50
2	80	19,30	37,30	51,20	3,70	4,50
3	60	17,10	39,60	51,00	3,77	4,70
4	45	18,00	37,80	50,50	3,65	4,10

продовження таблиці

II	Пресована бетонна продукція, виготовлена ТОВ «Юнігран» (м. Київ)					
5	100	15,80	34,50	42,70	4,12	5,20
6	80	16,10	35,15	43,10	4,21	5,35
7	60	16,40	35,40	43,84	4,95	5,50
8	45	16,90	34,90	41,90	4,64	5,65

¹⁾ випробування здійснювались у вимірjuвальній заводській лабораторії ТМ «Мій Двір» (м. Львів) в період з січня по лютий 2022 року.

Саме підвищена міцність бетону на стиск та міцність бетону на розтяг при розколі вібропресованих фігурних елементів мостіння товщиною від 45 до 100 мм у порівнянні з аналогічними бетонними виробами, виготовленими методом об'ємного пресування, яскраво свідчить про переваги вібраційного ущільнення наджорстких та жорстких бетонних сумішей у замкненому контурі під приваженням перед лише пресувальним методом виробництва виробів для влаштування покриттів з дрібноштучних бетонних фігурних елементів мостіння.

Висновки. Проведений в статті аналіз функціонуючих в індустріальному виробництві України бетонних фігурних елементів мостіння з використанням високопродуктивних імпорتنих бетоноформувальних комплексів свідчить про очевидну ефективність методу вібропресування напівсухим способом наджорстких та жорстких бетонних сумішей при виготовленні якісних і естетично-привабливих виробів для дорожньо-комунального будівництва. Яскравим підтвердженням цього факту є більше ніж на 15,7% вища міцність бетону натурних виробів через 28 діб після випробувань на стиск та на 13,6% при визначенні міцності бетону натурних зразків на розтяг при розколі вібропресованих ФЕМів у порівнянні з готовою продукцією, виготовленою способом пресування наджорстких та жорстких бетонних сумішей у процесі заводського виготовлення.

Загальна тенденція на застосування сучасних закордонних бетоноформувальних комплексів продуктивністю від 1500 до 9600 кв. м бетонних ФЕМів в добу демонструє, що українські індустріальні виробники вібропресованої бетонної продукції знаходяться на правильному шляху та потужно власними справами підтримують сучасні світові технологічні підходи при виготовленні ефективної бетонної продукції. Крім того, можна констатувати факт суттєвого під-

вищення міцності бетону на стиск, на розтяг при розколі та на водопоглинання натурних зразків бетонних ФЕМів, виготовлених за технологією ущільнення вібрацією в замкненому контурі металоформи під привантаженням у порівнянні з виробництвом елементів вищезгаданої продукції методом напівсухого об'ємного пресування на технологічному обладнанні фірми «Columbia» (США).

Наведені вище лабораторні дослідження підтверджують ефективність технології заводського вібропресування жорстких та наджорстких бетонних сумішей на відміну від способу напівсухого формування методом пресування при індустріальному масовому виробництві виробів бетонних тротуарних неармованих на теренах України.

1. Олійник Андрій. Обустройство пешеходных зон. Инновации и перспективы. *Бетон* : журнал. Київ, 2018. № 2(56). С. 22–26.
2. Ушеров-Маршак А. В. Современный бетон и его технологии. *Бетон и железобетон: Оборудование. Материалы. Технологии* : ежегодный сборник. Санкт-Петербург, 2010. С. 30–35.
3. Реш Рафаель. «Hess-Group» новинки на Baume. *Бетон и железобетон: Оборудование. Материалы. Технологии* : ежегодный сборник. Санкт-Петербург, 2010. С. 42–49.
4. Jamroz Z. Beton i jego technologia. Warszawa. Krakow : PWN, 2000. 485 с.
5. Brylicki W. Zasady kształtowania Własności wibroprawniej kostki brukowej. Polski Cement, Krakow, 2000. 176 s.
6. Blume F., Claussen T. Betonowe projektu nawierzchniowe wg DIN 18501 i wg projektu norm europejskiej. Report o wynikach centralnego programu badan. *Concrete precasting; Plant and Technology*. 1994. Issue 4. P. 37.
7. Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Каганов В. О. Бетон на основі наджорстких сумішей. Рівне, вид-тво РДЦНТЕІ, 2006. 179 с.
8. Дворкін Л. Й., Житковський В. В. Бруківка з вібропресованого бетону на гранітному відсіві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2001. Вип. 62. С. 102–107.
9. Бауман В. А., Клушаков Б. В., Мартаков В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М. : Машиностроение, 1981. 324 с.
10. Orchard D/P/ *Concrete Technology*. London, 1979. Vol. 12. 1033.
11. Lawrence C. The properties of cement paste compacted under high pressure. Cement and Concrete Association research report. London, 1969. P. 176–191.
12. Roy D., Gouda G., Bobrowski A. Very high strength cement pastes prepared hofpressing and of her high pressure Technigues. *Cement and concrete Researd*. 1972. N. 3. P. 807–820.

REFERENCES:

1. Oliinyk Andrii. Obustroystvo peshehodnyih zon. Innovatsii i perspektivy. Beton : zhurnal. Kyiv, 2018. № 2(56). S. 22–26.
2. Usherov-Marshak A. V. Sovremennyiy beton i ego tehnologii. *Beton i jelezobeton: Oborudovanie. Materialyi. Tehnologii* : ejegodnyiy sbornik. Sankt-Peterburg, 2010. S. 30–35.
3. Resh Rafael. «Hess-Group» novinki na Baume. *Beton i jelezobeton: oborudovanie. Materialyi. Tehnologii* : ejegodnyiy sbornik. Sankt-Peterburg, 2010. S. 42–49.
4. Jamrozy Z. Beton i jogo technologie. Warszawa. Krakow : PWN, 2000. 485 s.
5. Brylicki W. Zasady ksztaltowania Wlas ciwosci wibroprawanej kostki brukowej. Polski Cement, Krakow, 2000. 176 s.
6. Blume F., Claussen T. Betonowe projectu nawierzchniowe wg DIN 18501 i wg proectu norm europejskiej. Report o wyhikach centralnego programe badan. *Concrete precasting; Plant and Technologi*. 1994. Issue 4. P. 37.
8. Dvorkin L. Y., Zhytkovskyi V. V. Brukivka z vibropresovanoho betonu na hranitnomu vidsivi. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2001. Vyp. 62. S. 102–107.
9. Bauman V. A., Klushakov B. V., Martakov V. D. Mehanicheskoe oborudovanie predpriyatiy stroitelnyih materialov, izdeliy i konstruktsiy. M. : Mashinostroenie, 1981. 324 s.
10. Orchard D/P/ Concrete Technology. London, 1979. Vol. 12. 1033.
11. Lawrence C. The proberties of cement paste compacted under high pressure. Cement and Concrete Association research report. London, 1969. P. 176–191.
12. Roy D., Gouda G., Bobrowski A. Very high strength cement pastes prepared hofpressing and of her high pressure Technigues. Cement and concrete Researd. 1972. N. 3. P. 807–820.

Kahanov V. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
ORCID ID: 0000-0002-9607-2951 (Lviv Polytechnic National University,
Lviv)

TRENDS IN THE PROCESS OF IMPLEMENTATION OF MODERN TECHNOLOGIES OF VIBRATORY PRESSING OF ULTRA-HARD AND HARD CONCRETE MIXTURES IN THE INDUSTRIAL PRODUCTION OF UKRAINE

The author's article is devoted to the research of modern approaches to the use of high-performance concrete forming complexes for the factory production of concrete shaped paving elements (FEM) on the basis of hard and super-hard concrete mixes with the use of fine-grained washed granite cubic crushed stone. The publication analyzes the current state of affairs in the process of implementing the main technological methods of forming and compacting hard and ul-

tra-hard concrete mixes, namely: vibro-pressing and pressing of small-scale concrete FEMs for road and utility construction in Ukraine.

The facts presented in the article regarding the experience of the efficiency of the factory production technology of hard and ultra-hard concrete mixtures using the semi-dry vibropressing motor indicate the high efficiency of the above-mentioned industrial method of shaped paving elements production.

The analysis carried out in the article of concrete shaped paving elements functioning in the industrial production of Ukraine with the use of high-performance imported concrete forming complexes shows the obvious effectiveness of the method of semi-dry vibropressing of ultra-hard and hard concrete mixtures in the high-quality and aesthetically attractive products for road production of and utility construction.

The general trend towards the use of modern foreign concrete forming complexes with a productivity of 1,500 to 9,600 square meters of concrete FEMs per day demonstrates that Ukrainian industrial producers of vibropressed concrete products are on the right track and powerfully support modern global technological approaches in the production of effective concrete products with their own resources. In addition, it is possible to state the fact of a significant increase in the compressive strength of concrete, tensile strength at splitting and water absorption of full-scale samples of concrete FEMs manufactured using the technology of vibration in the closed loop of the metal form under load, in comparison with the production of elements of the above-mentioned products by the method of semi-dry volume pressing on the technological equipment of the company "Columbia" (USA).

***Keywords:* hard concrete mix; ultra-hard concrete mix; vibro-pressing; forming by pressing method; compressive strength of concrete.**
