

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПОВНЮВАЧІВ РЕЦИКЛІНГУ  
В ВІБРОПРЕСОВАНИХ БЕТОНАХ МАСОВОГО ВИГОТОВЛЕННЯ НА  
ОСНОВІ НАДЖОРСТКИХ СУМІШЕЙ**

**PROSPECTS OF USING RECYCLING AGGREGATES IN  
VIBROPRESSED MASS-PRODUCED CONCRETES BASED ON ULTRA-  
STIFF MIXTURES**

**Каганов В. О., кандидат технічних наук, доц., ORCID : 0000 – 0002 – 9607 - 2951 (Національного університету «Львівська політехніка»)**

**Kahanov Vadym, candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
(Lviv Polytechnic National University)**

Серійне виробництво вібропресованих дрібнозернистих наджорстких бетонних фігурних елементів мостіння (ФЕМ) в останні роки все більше поширюється на теренах України та все активніше займає чільне місце у виготовленні будівельних виробів для дорожньо-комунального будівництва. Оскільки в процесі виготовлення сучасних бетонних ФЕМів на високопродуктивних формувальних комплексах допускається можливість появи бракованих свіжовідформованих виробів, то виникає потреба в їхній утилізації з технологічної лінії виробництва готової продукції. Отримані в процесі виготовлення свіжовідформовані бетонні браковані вироби доцільно переробляти в заповнювачі рециклінгу з метою подальшого їхнього використання при виробництві якісної вібропресованої готової продукції.

Serial production of vibropressed fine-grained ultra-stiff concrete paving elements (PE) has been increasingly widespread in Ukraine in recent years, progressively occupying a leading position in the manufacture of construction products for road and municipal construction. As the production of modern concrete PEs on high-performance forming complexes allows for the possibility of defective freshly molded products, there arises a need for their removal from the technological line of finished product manufacturing. Defective freshly molded concrete products obtained during production should be processed into recycled aggregates for subsequent use in the production of high-quality vibropressed finished products.

**Ключові слова:** вібропресованії наджорсткий бетон; заповнювачі рециклінгу; дрібнозерниста бетонна суміш; бетоноформувальний комплекс; водоцементне співвідношення.

vibropressed ultra-stiff concrete; recycled aggregates; fine-grained concrete mix; concrete forming complex; water-cement ratio.

**Вступ.** Масове виготовлення вібропресованих сумішей для бетонних фігурних елементів мостіння ставить перед підприємствами-виробниками нові технологічні та виробничі виклики. Потреба в утилізації бракованої бетонної продукції під час виготовлення та необхідність вирішення екологічних проблем вібропресування наджорстких сумішей призводить до появи певної кількості заповнювачів рециклінгу, які можна ефективно використовувати при їхній переробці у виробництві бетонних сумішей в бетонозмішувачах примусової дії для формування готової якісної продукції з водоцементним (В/Ц) співвідношенням  $\leq 0,4$ .

**Аналіз останніх літературних джерел.** При аналізі літературних джерел за даною проблематикою більшість досліджень в Україні та цілому світі були присвячені використанню заповнювачів рециклінгу із затверділого бетону, що повторно перероблялись та у вигляді компонентів з крупного і дрібного заповнювачів застосовувались в наступних замісах бетонної суміші різноманітного призначення. Таким чином, з другої половини ХХ століття в країнах Західної Європи, Північної Америки, Азії та Австралії активно досліджувались бетони на основі заповнювачів рециклінгу, що замінили значну частку кондиційних компонентів для виготовлення товарних готових бетонних сумішей та для бетонних сумішей спеціального призначення в готових виробках.

До прикладу, в працях Львівської школи бетонознавців під орудою професора Саницького М.А. колективом авторів в складі професора Кропивницької Т.П. та аспірантки Рихліцької О.В. був встановлений алгоритм взаємодії заповнювачів рециклінгу із затверділого бетону крупної фракції 2-5 мм та 5-10 мм. Таким чином, було виявлено, що в результаті повторної переробки відходів бетону отримується двофазна система на основі крупного заповнювача (щебеня або гравія) та залишкового розчину, який адгезується до наведеного вище заповнювача рециклінгу [1,2]. Науковими дослідженнями колективу авторів Саницьким М.А., Кропивницькою Т.П. та Рихліцькою О.В. було встановлено, що при підвищенні пористості переробленого крупного та дрібного заповнювачів рециклінгу проявляється незначне зниження міцності бетону (до 10-15%) з використанням наведених вище компонентів [3].

Аналогічні дослідження функціонування заповнювачів рециклінгу з затверділого бетону у готових виробках були здійснені фахівцями з Індії Саураба Сінгха, Сураджа Кумар Сінгха, Мохаммед Махглуба, Шихнавада Ахмед Міра, Шруті Кенга, Суджит Кумара, Панкаджа Кумара та Гоухара Мераджа [4], в яких була виконана ґрунтовна оцінка екологічних переваг в процесах застосування бетонних заповнювачів рециклінгу з піску для стійких

будівельних характеристик різноманітних видів спеціальних бетонних сумішей.

Китайськи бетонознавці Сяомін Кан та Ін Лі [5], які ретельно досліджували вплив переробленого в результаті рециклінгу дрібнодисперсного порошку та мінеральних домішок (золи – винесення сухого відбору ТЕС) на властивості цементного розчину в вібропресованих бетонах повторного виготовлення встановили їхні особливості. В даній публікації досліджувались заповнювачі рециклінгу з затверділого бетону.

В публікації португальських науковців Р.В.Сільви, І. Дж. де Бріто, Р.К.Дхіра [6] були здійснені дослідження основних характеристик вторинного заповнювача бетону в свіжому стані. У представленому в статті ґрунтовному огляді аналізувались властивості вологості заповнювачів рециклінгу та вплив процесу переробки заповнювачів у свіжовідформованому стані на експлуатаційні характеристики повторно перероблених бетонних сумішей

Як можна, констатувати в результаті здійсненого аналізу літературних першоджерел за зазначеною вище проблематикою, то переважна більшість наукових досліджень присвячені застосуванню заповнювачів рециклінгу на основі затверділого бетону, що в подальшому використовувався у готових бетонних сумішах в якості повторно використаних компонентів будівельних сумішей.

Однак, при вібропресуванні дрібнозернистих бетонних двошарових фігурних елементів мостіння можуть утворюватись свіжовідформовані браковані вироби, що у вигляді бетонної неущільненої суміші висипаються на технологічний піддон бетоноформувального комплексу. Тобто мова, йдеться про заповнювачі рециклінгу із ще незатверділої бетонної суміші, яку в процесі повторної переробки можуть, крім властивостей лише крупного та дрібного заповнювача, мати частку непрогідрованого цементного тіста, що очевидно, виступає в якості зв'язного невисокої активності.

Метою проведених у виробничих умовах Торгової Марки «Мій Двір» (м.Львів) було наукове дослідження використаних заповнювачів рециклінгу на основі бракованої незатверділої дрібнозернистої бетонної суміші в процесі вібропресування бетонних ФЕМів серійного виробництва в заводських умовах.

Результати наукових досліджень в дослідно-промислових умовах.

В процесі вібропресування бетонних ФЕМів на бетоноформувальному комплексі марки MASA 9.1XL автором даної публікації було виготовлено три дослідно-промислових партії натурних зразків з використанням бракованих бетонних виробів, які у вигляді незатверділої недоущільненої суміші застосовувались в процесі повторного виготовлення (у кількості 20% від загального обсягу повного замісу будівельної суміші) для виробництва готової продукції за стандартною рецептурою робочого складу бетону. В якості базових компонентів бетонних сумішей для основного (нижнього)

шару вібропресованих дрібнозернистих фігурних елементів мостіння використовувались:

- 1) Портландцемент марки ПЦ II/A-III 500-Н ПрАТ «Івано-Франківськ»;
- 2) Пісок кварцовий митий з  $M_{кр} \geq 2.1$  Славутського кар'єру Хмельницької області;
- 3) Щебінь гранітний (митий) фракції 2-5 мм Кльосівського кар'єру Рівненської області;
- 4) Щебінь гранітний (митий) фракції 5-10 мм Кльосівського кар'єру Рівненської області;
- 5) Зола – винесення сухого відбору Бурштинської теплової електростанції.

Алгоритм використання рециклінгу бракованої свіжо-відформованої бетонної суміші застосовувався у наступний спосіб: здійснювалась заміна 20% кондиційних вищенаведених компонентів на відходи від бракованої недоущільненої суміші при повторному виготовленні наступного замісу бетонної суміші в бетонозмішувачах примусової дії бетоноформувального комплексу MASA 9.1 XL. За основу процесу здійснення дослідно-промислового було обрано комплект технологічного обладнання, який був раніше проаналізований в публікаціях Каганова В.О. [7,8].

В умовах заводської вимірювальної лабораторії ТМ, «Мій Двір» автором публікації був проведений комплекс інструментальних випробувань з метою визначення впливу заповнювачів рециклінгу введеного у бетонну суміш повторного використання на вібропресовані бетонні натурні зразки ФЕМів, а саме на 2-у та 28-му добу тверднення з моменту формування їх на технологічній лінії ТМ «Мій Двір».

В таблиці 1 автором публікації представлено отримані в результаті лабораторних досліджень параметри міцності бетону на стиск на 2-у та 28-му добу виготовлених натурних зразків вібропресованих бетонних ФЕМів з заповнювачем рециклінгу та без його використання під час процесу виготовлення в стандартних умовах масового виробництва.

В таблиці 1 автором публікації наведено результати лабораторних досліджень міцності натурних бетонних зразків з вібропресованого бетону з використанням 20% заповнювачів рециклінгу з незатверділої бракованої бетонної суміші та готових виробів з вібропресованого бетону на основі лише кондиційних компонентах з відхиленням від стандартної міцності.

Аналіз результатів проведених автором наукових досліджень міцності дослідно-промислових партій еталонних зразків партій 1, 2, 3 із зразками на основі 20% використання заповнювача рециклінгу із незатверділого бракованого не ущільненого бетону після повторної переробки, свідчить про незначне (до 15%) зниження фактичної міцності на стиск у випробуваннях контрольних натурних зразках. Але його можна компенсувати, за рахунок, взаємодії зв'язаного з активними мінеральними домішками, які додатково вводяться в бетонну суміш.

Таблиця 1

## Міцність вібропресованих бетонних ФЕМів

| №<br>п/<br>п | Взірці                                                           | Портлан<br>д-<br>цемент<br>марки    | Міцність на стиск, МПа |                                                  |           |                                                  |
|--------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|
|              |                                                                  |                                     | 2<br>доби              | Відхилення<br>від<br>контрольного<br>о зразка, % | 28<br>діб | Відхилення<br>від<br>контрольного<br>о зразка, % |
| 1            | 2                                                                | 3                                   | 4                      | 5                                                | 6         | 7                                                |
| 1            | Дослідна партія зразків № 1                                      | ПАТ ІКСЕМ<br>ПЦ ІІ/А-ІІІ<br>500 р-н | 26,1<br>9              | -                                                | 53,2<br>6 | -                                                |
| 2            | Дослідна партія зразків № 1 з 20% заміни заповнювачем рециклінгу | ПАТ ІКСЕМ<br>ПЦ ІІ/А-ІІІ<br>500 р-н | 16,3<br>5              | -37,57                                           | 41,1<br>2 | -23,51                                           |
| 3            | Дослідна партія зразків № 2                                      | ПАТ ІКСЕМ<br>ПЦ ІІ/А-ІІІ<br>500 р-н | 18,6<br>4              | -                                                | 42,4<br>5 | -                                                |
| 4            | Дослідна партія зразків № 2 з 20% заміни заповнювачем рециклінгу | ПАТ ІКСЕМ<br>ПЦ ІІ/А-ІІІ<br>500 р-н | 15,7<br>2              | -32,47                                           | 40,5<br>3 | -20,81                                           |
| 5            | Дослідна партія зразків № 3                                      | ПАТ ІКСЕМ<br>ПЦ ІІ/А-ІІІ<br>500 р-н | 23,2<br>8              | -                                                | 51,1<br>8 | -                                                |
| 6            | Дослідна партія зразків № 3 з 20% заміни заповнювачем рециклінгу | ПАТ ІКСЕМ<br>ПЦ ІІ/А-ІІІ<br>500 р-н | 16,6<br>7              | -28,39                                           | 40,7<br>1 | -20,40                                           |

**Висновок.** В результаті аналізу вивчених літературних джерел та підсумків лабораторної перевірки міцності на стиск натурних вібропресованих бетонних зразків, виготовлених із заповнювачів рециклінгу на відміну від контрольних зразків з використанням кондиційних будівельних матеріалів, можна констатувати, що заповнювачі рециклінгу із незатверділого вібропресованого бетону у вигляді переробленого браку в кількості 20% від загального обсягу інертних заповнювачів за рецептурою робочого складу бетонної продукції масового виготовлення, призводить до незначного зниження міцності бетону. Міцність натурних зразків з заповнювачем рециклінгу у повторно виготовлених вібропресованих дрібнозернистих бетонів можна компенсувати за рахунок використання в робочих складах бетонних сумішах активних мінеральних добавок, що призводить до значного екологічного ефекту та певної економії фінансових ресурсів в результаті ліквідації браку в процесі серійного виготовлення готової бетонної вібропресованої продукції.

1. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Рихліцька О.В., Яніцький О.Н. Швидкотверднучі клінкер – ефективні бетони. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць, Рівне, 2020., вип. 38. с. 258-266;
2. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк І.М. Швидкотверднучі клінкер – ефективні цементні і бетони : Монографія. Львів : видавництво ТОВ «Простір-М», Львів, 2021, 206 с.;
3. Рихліцька О.В. «Бетони з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі заповнювачів рециклінгу бетону»; автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії з будівництва. Львів, 2023 – 24 с.;
4. Саураб Сінгх, Сураджа Кумар Сінгх, Мохамед Махтуб, Шихнавад Ахмет Міра, Шруті Кенга, Суджит Кумар, Панкадж Кумар, Гоухар Мерадж «Оцінка перероблених бетонних заповнювачів і піску для стійких будівельних характеристик. Екологічні переваги», Збірник наукових праць «Ciul Eng? 2022, № 12, Р 1-17;
5. Сяомін Кан, Ін Лі «Вплив переробленого дрібнодисперсного порошку та мінеральні домішки на властивості цементного розчину». Матеріали конференції «Земля і навколишнє середовище», 2019, № 219, стор. 79-85;
6. Р.В.Сільва, Дж де Бріто, Р.К. Дхір «Характеристики вторинного заповнювача бетону у свіжому стані. Огляд». Науковий збірник «Будівництво та будівельні матеріали», лютий 2018, стор. 20-28;
7. Каганов В.О. «Тенденції процесу впровадження сучасних технологій вібропресування наджорстких та жорстких бетонних сумішей в індустріальному виробництві України». Вісник НУВГіП, випуск 2(98), Рівне, 2022, с. 49-58;
8. Каганов В.О. Технологічні аспекти забезпечення підвищеної якості вібропресованих бетонних виробів (досвід виробництва). Збірник наукових праць НУВГіП, випуск 43, Рівне, 2023, с. 31-39.