

**ВИКОРИСТАННЯ ВИПАЛЕНОГО ШЛАМУ ПАПЕРООБРОБКИ
(ВШП) ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА**

**USE OF WASTEPAPER SLUDGE ASH (WSA) IN ROAD
CONSTRUCTION**

**Соболь Х.С., д.т.н., проф., Гуняк О.М., к.т.н., Розмус Д.І.
(Національний університет «Львівська політехніка»)**

**Sobol Kh.S., DrSc, prof., Hunyak O.M., PhD, Rozmus D.I. (Lviv
Polytechnic National University)**

Будівельна галузь багатьма розцінена як дуже консервативна в своїх підходах, особливо в плані поглинань досягнень в області матеріалознавства. В сучасних реаліях в'яжучі на основі портландцементу розглядаються як основне джерело консервативних тенденцій, а нові цементні в'яжучі та супутні продукти потребують сертифікації та тривалого впровадження. Таким чином більшість нових матеріалів, незважаючи на вражаючі результати, все ще стикаються з жорсткою конкуренцією з боку більш відомих матеріалів. Яскравим прикладом вищенаведених фактів служить використання зольних залишків від спалювання відходів паперового виробництва в дорожньому будівництві.

Використання відходів паперообробки в будівництві – багаторічна дослідницька практика Європейських країн. У роботі дослідників щодо утилізації макулатурних відходів [1] прослідковуються два основних методи використання: перший включає залучення відходів макулатури у «сирому» вигляді, тоді як інший підхід - застосування випаленого шламу паперообробки (ВШП).

В Європі, за даними офіційної статистики до 2009 року, утворювалося приблизно 11 млн. тон відходів паперового виробництва щороку. Цю сировину доцільно відправляти на переробку, надавши їй екологічний та економічний потенціал, утворюючи майже безвідходний процес виробництва [2]. Оптимальним вирішенням проблеми утилізації макулатури є комплексне використання паливного ресурсу його органічної складової з наступним залученням утворених термооброблених залишків у будівельну індустрію.

На даний час є окремі пропозиції по використанню попередньо висушених відходів у виробництві теплоізоляційних виробів, в керамічній промисловості, для закріплення ґрунтів, та у сільському господарстві. Але більша його частина у вигляді вологого шламу зберігається у відвалах, породжуючи проблему забруднення навколишнього середовища. Використання термооброблених паперових відходів є перспективним напрямом економії паливо-енергетичних та зменшення витрат природних

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

ресурсів при виробництві цементу і бетону, спрямованим на зменшення частки клінкеру в цементі, заміни частини цементу додатковими цементуючими матеріалами. Такий підхід відповідає пріоритетним принципам рівномірного і сталого розвитку галузі, спрямованим на створення екологічно чистих малоенергоємних технологій.

Згідно з попередніми дослідженнями [3] встановлено, що ВШП за своїми фізико-хімічними властивостями та складом (табл. 1) дуже схожі на класичні силікатні в'язучі матеріали і утворюють тверднучі системи. Окремі дослідження [4, 5] показали, що ВШП успішно використовуються в порівняно невеликому дозуванні (5 – 10 % від маси цементу) у бетоні та розчинах для поліпшення механічних властивостей матеріалу.

Таблиця 1

Хімічний склад ВШП

Складові	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	В.п.п.	Σ
Мас. %	49.84	26.44	15.36	2.16	1.16	0.45	3,13	98,54

При розробці дорожніх бетонів для вивчення фізико-хімічних закономірностей підвищення ефективності використання цементів, було використано портландцемент ПЦ II/A-III-400 ПрАТ «Кривий Ріг Цемент». Гранітний щебінь кар'єру м. Коростень Житомирської області суміші фракції (3 - 8) та (5 - 20) використовувався в якості крупного заповнювача для дорожніх бетонів. Як дрібний заповнювач використовували кварцовий пісок Жовківського кар'єру Львівської обл., що задовольняє вимоги ДСТУ Б В.2.7-32-95. Метою дослідження було встановлення можливості застосування випалених відходів целюлозно-паперового виробництва для дорожніх цементобетонів.

Було підібрано три склади дорожнього цементобетону з використанням ВШП: контрольний, із заміною 5 та 10% цементу на ВШП. Номінальний склад бетону Ц:П:Щ(3-8):Щ(5-10)=1:1,94:1:58:2,45 при В/Т=0,42. Для підвищення характеристик бетону до його складу також вводили добавки концерну Sika, а саме суперпластифікатор Plastiment-1135 та повітровтягувальну добавку Sika Mix Plus у кількості 0,8 % та 0,02 % від маси в'язучого відповідно. Властивості сумішей наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Властивості цементобетоних сумішей

Назва складу	ОК, см	Об'єм втягнутого повітря, %	Густина бетонної суміші, кг/м ³
Контрольний	4	5,5	2320
5 % ВШП	4	5,2	2360
10 % ВШП	2,5	5,0	2390

Експлуатаційні та фізико-механічні властивості бетону визначаються його структурою, яка залежить від властивостей складових – крупного і дрібного заповнювачів, цементу, їх кількісним вмістом і взаєморозташуванням, характером структурних і хімічних зв'язків між ними, а також наявністю різноманітних порожнин, мікротріщин та пор у міжзерновому просторі і т.д. З основних властивостей затверділого важкого бетону в цій роботі найбільшу увагу приділяли міцності на стиск і згин (рис. 1).

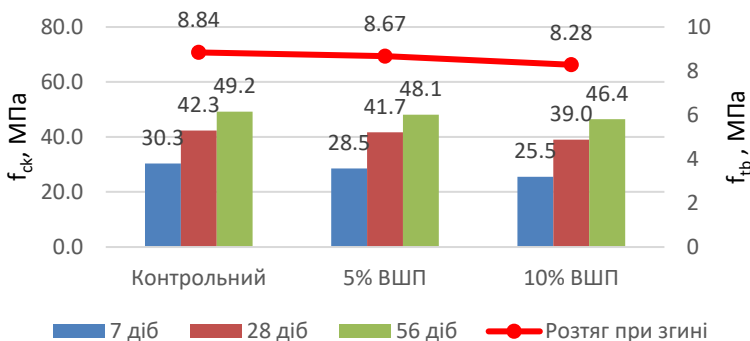


Рис. 1. Міцність бетону на стиск та розтяг при згині

Результати показують незначне падіння міцності на згин на 28-му добу тверднення, на 1,9 % і на 6,3 % відповідно. Слід відзначити, що на початкових етапах тверднення міцність зразків з використанням ВШП є дещо меншою ніж у контрольного зразка, однак з плином часу різниця стає все меншою завдяки пролонгованій гідратації в'язучих компонентів.

Відкрита пористість зразків зросла на 5,9 % із заміною 5 % цементу на ВШП і на 11,5 % при заміні 10 % цементу порівняно з бетоном контрольного складу (рис. 2). Результати корелюють з показниками водопоглинання бетону. Це викликано значною пористістю випаленого шламу.

Згідно отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Використання ВШП в якості додаткових цементуючих матеріалів може мати екологічну та економічну ефективність при використанні їх у бетонах, в тому числі і дорожніх.

2. Додавка ВШП у початковий період тверднення дещо знижує міцність бетону, проте з плином часу негативний вплив на фізико-механічні властивості нівелюється.

3. Із збільшенням вмісту ВШП у бетоні, зростає його водопоглинання та відкрита пористість.

4. Вивчення впливу ВШП на довговічність бетону, зокрема водонепроникність та морозостійкість потребує додаткових досліджень.

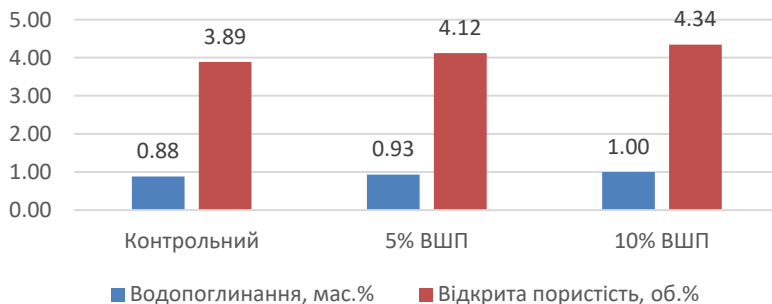


Рис. 2. Водопоглинання за масою та відкрита пористість бетону

Список використаних джерел

1. Ochoa de Alda, J.A.G.: Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. *Resour. Conserv. Recycl.* 2008. 52(7). P. 965–972.
2. Jain S. Utilization of waste paper sludge in construction industry. Technical report., 2015. 15 p.
3. Sobol, K., Solodkyy, S., Petrovska, N., Belov, S., Hunyak, O., Hidei, V.. Chemical Composition and Hydraulic Properties of Incinerated Wastepaper Sludge. *Chemistry & Chemical Technology.* 2020. 14(4). P. 538-544.
4. Frias M., Garcia R., Vigil R., Ferreiro S. Calcinations of art paper sludge waste for the use as a supplementary cementing material. *Appl Clay Sci* 2001, 42(1-2), P. 189-193.
5. Ahmad, S., Malik, M. I., Wani, M. B., Ahmad, R. Study of concrete involving use of waste paper sludge ash as partial replacement of cement. *IOSR Journal of Engineering.* 2013. 3(11). P. 6-15.