

## Застосовування розмеленого доменного згранульованого шлаку як активного мінерального додатку у бетонах і розчинах

В бетонах і розчинах традиційно використовують як в'язівник (в'язучу речовину) такі види цементів як ПЦ П/А-Ш..., ПЦ П/Б-Ш..., ШПЦ Ш/А... й інші з різним вмістом шлаку. Кожний з цих цементів має певну галузь застосовності, свої переваги і вади. Як непросто буває задовольнити вимоги до цехових залізобетонних виробів татоварних бетонних і розчинових сумішей, працюючи на одному виді цементу водночас! Як вирішити проблеми з високо- і низькомарочними товарними бетонами, літніми монолітними бетонними масивами, висолоутворами на поверхні, корозійно- і морозостійкими бетонами тощо? Це вимагає від Ваших технологів і лаборантів неабияких знань і досвіду вирішувати щоденні завдання за допомоги різних наявних марок цементу, хімічних добавок і різних технологічних прийомів.

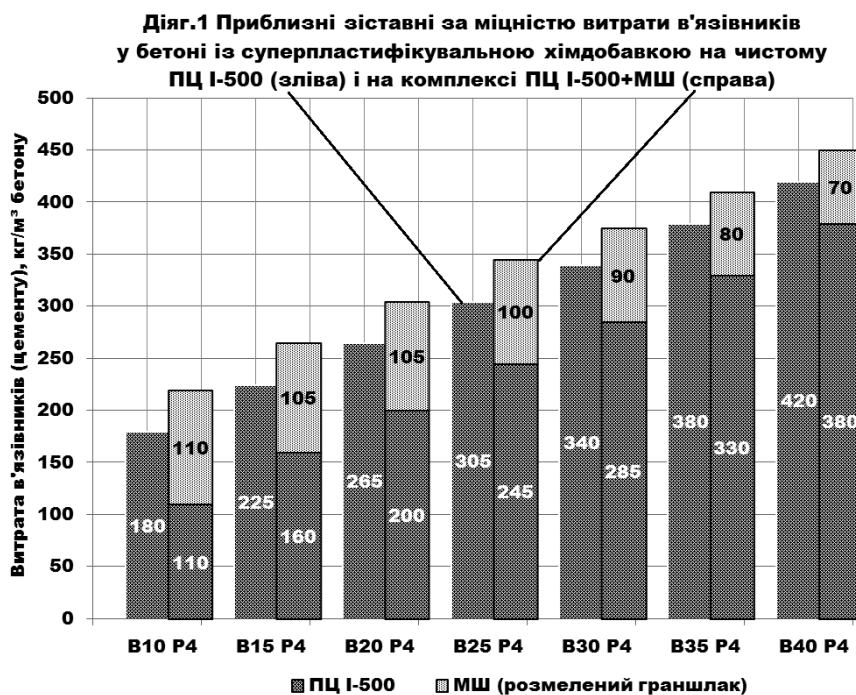
Але що являють собою ПЦ П/А-Ш..., ПЦ П/Б-Ш..., ШПЦ Ш/А...? Це цементи з певною пропорцією сумісно розмелених портландцементоглінкеру, доменного згранульованого шлаку (його скорочено називають граншлаком) і додатку гіпсу. Наприклад, цемент з позначкою "П/А-Ш" за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 повинен містити від 6 до 20% граншлаку, "П/Б-Ш" повинен містити його від 21 до 35%, шлакопортландцемент "Ш/А" в широкому діапазоні від 36 до 65%, авзагалі допустимий вміст граншлаку як основного компоненту речовинного складу цементів за ДСТУ у шлакопортландцементі може сягати до 95%. Виробник цементу його склад визначає на свій розсуд, здебільшого підлаштовуючи під компромісну границю міцності. Зауважимо, що майже ніхто зі звичайних виробників бетону не має можливості оперативної, тобто бодай протягом доби, визначити фактичний вміст граншлаку в цементі.

Втім, якщо змішати готовий портландцемент ПЦ І-500, який є бездобавковий, і окремо розмелений до потрібної дисперсності доменний згранульований шлак (позначають МШ), то по суті результатом буде отримання майже тих самих ПЦ П/А-Ш..., ПЦ П/Б-Ш..., ШПЦ Ш/А... залежно від пропорції.

ТОВ "ЦЕМБУДСЕРВІС" (м. Кам'янське, Дніпропетровська обл.) з 2013 року є виробником розмеленого доменного згранульованого шлаку (МШ) і пропонує його застосовувати як активний мінеральний додаток (АМД) разом з портландцементом до бетонних і розчинових сумішей.

Табл.1 Приклад співвідношення з розрахунку на міцність

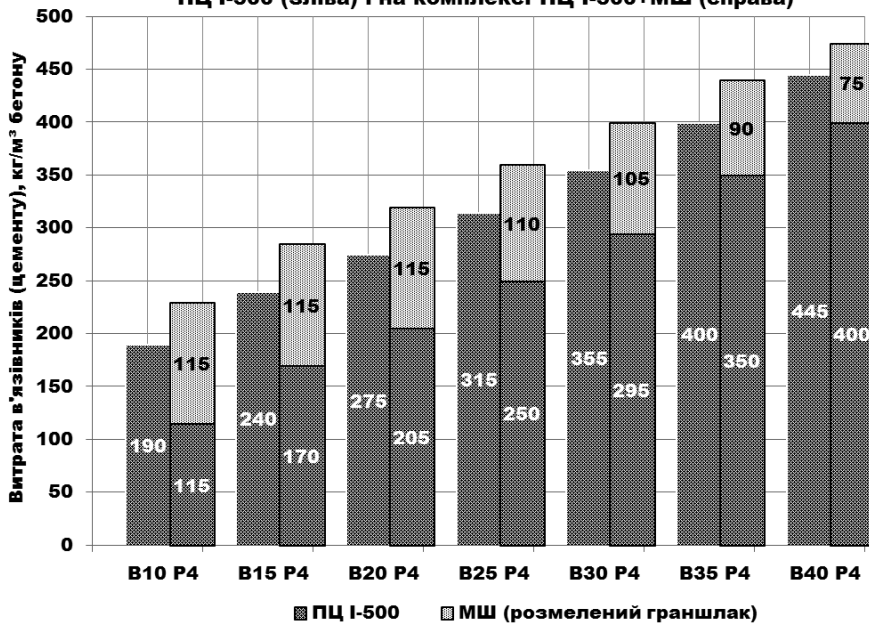
Клас бетону	Співвідношення основних складників цементу, %мас.	
	Клінкерний (ПЦ І-500)	Шлаковий (МШ)
B10	50	50
B15	60	40
B20	65	35
B25	70	30
B30	75	25
B35	80	20
B40	85	15



Отже ми пропонуємо Вам спосіб самим проектувати рецептури цементів. Для цього треба мати на змішувальному виробничому вузлі щонайменше два витратних силоси на певний цемент і на розмелений граншлак (МШ), а також технологічну змогу віддозовувати їх у потрібній Вам пропорції на заміс. Якщо Ви не маєте такої змоги, це насправді нетрудно виконати технічно, але звісно потребуватиме інвестицій. Вкладені ресурси з часом окупляться, адже заощадять Ваші гроші на економії дорожчого цементу і дозволять підвищити якість продукції.

Концепція проектування рецептур цементів з АМД під конкретні вимоги до бетонних чи розчинових сумішей звісно ж не нова. Ще з 1970-х рр. на заводах ЗБВ впроваджували летючу золу. Але тепер крім неї почали додавати і розмелений граншлак– цей напрям успішно розвивають провідні українські виробники бетонів і розчинів.

**Діаг.2 Приблизні зівставні за міцністю витрати в'язивників у бетоні із сильнопластифікувальною хімдобавкою на чистому ПЦ I-500 (зліва) і на комплексі ПЦ I-500+МШ (справа)**



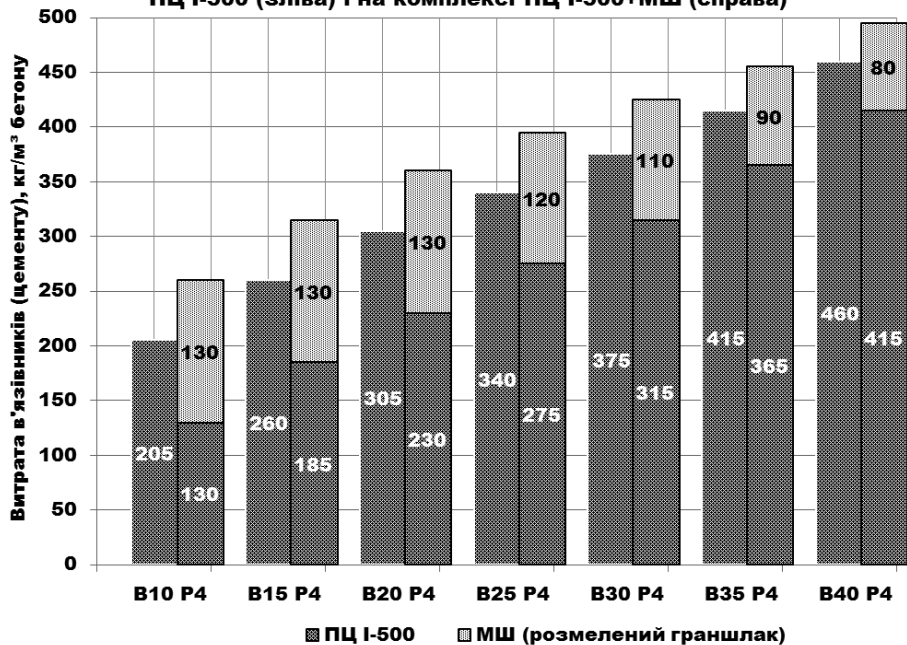
Які переваги одержав би виробник бетонів і розчинів, якби він зміг сам призначати для свого певного виробництва свій самостійний певний тип цементу?

✓ **Вартість складників в 1м³ суміші.** Розмелений доменний згранульований шлак (МШ)приблизно вполовину дешевший від бездобавкового ПЦ I-500. Звісно ж рівноцінно замінити в бетонах і розчинах увесь портландцемент на розмелений доменний граншлак не вдасться. Трохи цементу таки покласти доведеться ☺. А якщо серйозно, то ми рекомендуємо у важких бетонах заміну не

більше як 50% маси бездобавкового ПЦ I-500 (гляд. табл.1), а в розчинах не більше 70%. Замінюють масу

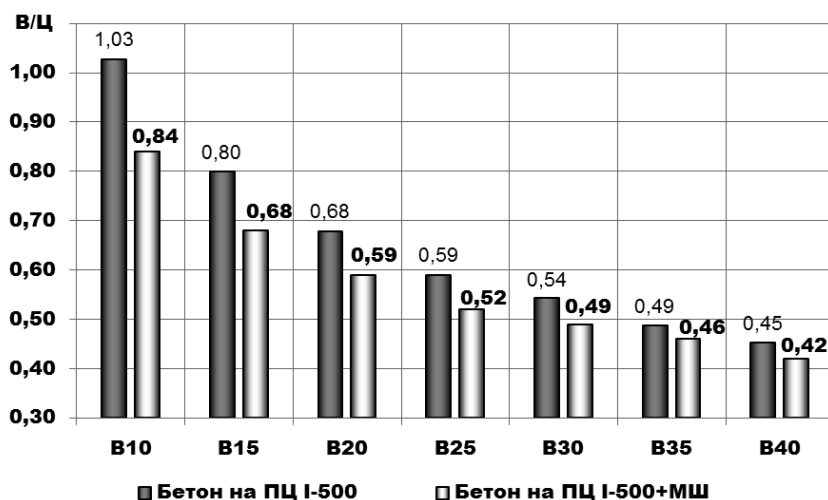
ПЦ I-500 трохи більшою масою розмеленого шлаку, оскільки МШ за своєю природою має більше інертної речовини, а кількісно це залежатиме від кількох чинників, виходячи з Ваших технологічних вимог і умов утворювання цементного каменю.З огляду на наш досвід і знання можемо Вам як приклад порадити орієнтовне зівставлення витрат на чистому ПЦ I-500 (традиційних рецептур) і на комплексі ПЦ I-500+МШ з розрахунку лише на міцність у важких бетонах з хімічними добавками різної пластифікувальноїефективності, що наведені на діяг.1-3.Водоцементні відношення цих бетонних сумішей на діяг.4.Точний економічний ефект прораховують, беручи до уваги всі складники суміші й інші калькуляційні витрати.

**Діаг.3 Приблизні зівставні за міцністю витрати в'язивників у бетоні із пластифікувальною хімдобавкою на чистому ПЦ I-500 (зліва) і на комплексі ПЦ I-500+МШ (справа)**



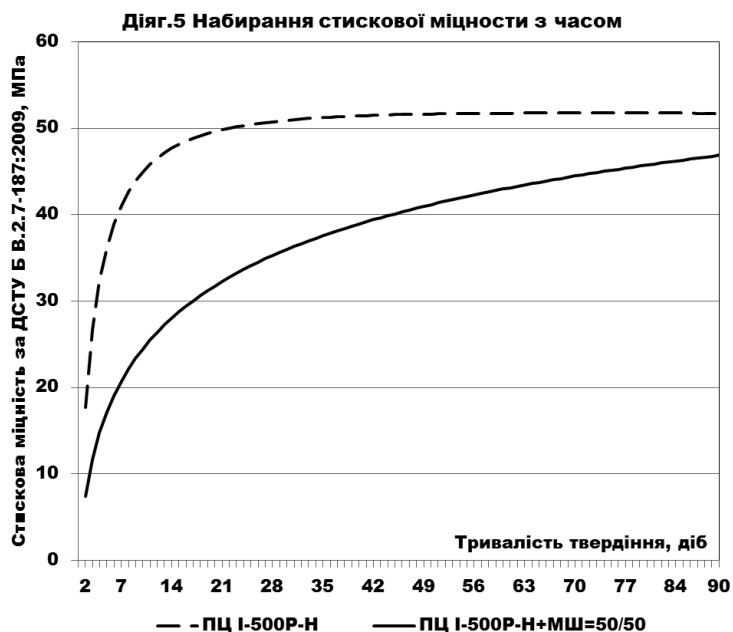
Примітки до діяг.1-4: Застосована сировина: франківський ПЦ I-500P-Н з НГЦТ = 29,0% і стандартною стисловою міцністю 50МПа; заповнювачі середньої якості; кам'янськийрозмелений граншлакМШ-3-Д0; хімдобавки за класифікацією ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Т2 - суперпластифікувальна0,7%мас.в'язивника Stachment 2577, сильнопластифікувальна 0,6% мас.в'язивникаStacheplast 151, пластифікувальна 0,4%мас.в'язивникаStacheplast 115. Вміст утягненого повітря 1,7-2,5%.

Діаг.4 Водоцементні відношення бетонів з діаграм 1-3



бездобавковий ПЦ I-500 частково на розмелений граншлак, Ви збільшите вміст частинок робочої фракції 0-100мкм, а також додатково зв'яжете зайві луги, котрі, наприклад, шкодять молекуламполікарбоксилатів. Взагалі з нашого досвіду, мінеральний склад розмеленого граншлаку мало впливає на адсорбцію пластифікаторів. Цікаво, що 100кг розмеленого граншлаку відповідають об'єму, що майже на 3л більший проти такої самої маси ПЦ I-500, а відповідно і дозволяють отримати більше цементної пасти, яка слугує певним "мастилом" між зернами заповнювачів у сумішах.

- ✓ **Живучість бетонних і розчинових сумішей.** Проблема як зберегти легковкладальність протягом часу транспортування і вкладання на будівельному майданчику є актуальна для товарних сумішей, надто в літній жаркий період. Разом з хімічними уповільнювачами тужавіння цементу, додаючи до нього також розмелений граншлак, можна регульовано подовжувати початок тужавіння, а отже й живучість сумішей.



вирівнюється -цю властивість використовують, коли проектний вік бетону не 28доба, а пізніший, наприклад для фундаментних плит багатоповерхових будинків.

- ✓ **Тепловиділ.** Коли цемент твердне, він виділяє тепло. Масивні монолітні конструкції, наприклад фундаментні плити багатоповерхових будинків, об'єм яких сягає від сотень до кількох тисяч кубів, через тепловиділення цементу саморозігріваються, а влітку це призводить до температурного перепаду в десятки градусів між ядром конструкції і її поверхневою зоною. Це спричинює виникнення розтягувальних напруг та тріщин на поверхні конструкції. Додавання МШ до 50% дозволяє впововину зменшити тепловиділ масивних конструкцій, забезпечуючи від поверхневих тріщин, а отже зберігає проникливість бетону.
- ✓ **Водонепроникливість.** Проникливість бетону залежить від його пористості, що утворюється під час тверднення. Що більшою є кількість дисперсних частинок у суміші, то меншою буде відкрита капілярна пористість. Додаючи розмелений граншлак у бетон, цю кількість збільшують, і, власне, ті капіляри, крізь які просочувалася вода запаковують зернами шлаку. Замінивши в суміші об'єм ПЦ I-500 більшим об'ємом

Вплив розмеленого граншлаку на властивості бетонів і розчинів визначатиметься його витратою, мінералогічним складом, умовами твердіння і застосованими "напарниками" – портландцементом і хімічними добавками.

- ✓ **Співдія з хімічними добавками.** З практики відомо,

що суперпластифікувальні добавки погано працюють у пісних (що мають вміст цементу менший за 280кг/м<sup>3</sup>) сумішах. Замінюючи в таких сумішах дорожчий

- ✓ **Тверднення бетонів і розчинів у природніх умовах.** Цементний камінь на комплексі ПЦ I-500+МШ

черезшлакову мінералогію і фазовий склад має в цих умовах уповільнене набирання міцності, проте володіє потенціалом набирати її протягом часу і після стандартного віку 28діб. Аби підвищити ранню міцність бажано застосовувати ПЦ I-500, що має якомога вищу питому поверхню і вміст аліту. На діаг.5 як приклад наведено кінетику набирання стискової міцності чистого франківського ПЦ I-500P-H і комплексу ПЦ I-500P-H+МШ=50%+50% за умов випробовування згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009. У віці 180діб значення міцності цих в'язників майже

МШ, на супер- і сильнопластифікувальних добавках досягають нижчих значень водоцементного відношення, а отже вищих марок за водонепроникливістю. Так, коли взяти граничні норми витрат в'язівника до бетонів виробів, що до них висувають вимоги з водонепроникливості згідно з СНиП 5.01.23-83 (тут як приклад), то порівняно (гляд. діяг.1-2) з аналогічними бетонними сумішами на чистому ПЦ І-500, бетони на комплексі ПЦ І-500+МШ мають більший сумарний вміст дисперсних частинок (цементу), що дозволяє класам В25, В30 набувати марки W4, класу В35 набувати W6, а В40 – W8. Додатково варто зазначити, що пористість і водопоглин бетонів, що містять МШ, будуть меншими завдяки меншій хімічній усадці, а також утворенню нових сполук, що з часом самоущільнюватимуть камінь.

- ✓ **Морозостійкість.** Додання розмеленого граншлаку не збільшує водовміст у бетонних і розчинових сумішах, і майже не погіршує структуру їхнього порового простору. Бетони, що мають помірний вміст розмеленого граншлаку і низькводоцементні відношення, можуть мати високу марку з морозостійкості, якщо разом з тим суміш виготовлено на супер- чи сильнопластифікувальній хімічній добавці. Коли взяти граничні норми витрат в'язівника до бетонів виробів, що до них висувають вимоги з морозостійкості згідно з СНиП 5.01.23-83, то порівняно (гляд. діяг.1-2) з аналогічними бетонними сумішами на чистому ПЦ І-500, бетони з ПЦ І-500+МШ мають більший сумарний вміст дисперсних частинок (цементу), що дозволяє класам В20, В25 відповідати F100-150, класу В30 відповідати F200, а В35 і В40 можуть мати і вищу марку F300, якщо регульовано збільшувати хімічними добавками повітровтягненість суміші. Важливо забезпечити тривале тверднення до початку дії морозу.
- ✓ **Сульфатостійкість.** Сульфати з ґрунту (ґрунтових мінералізованих вод) або морської води, потрапляючи в портландцементний камінь, утворюють з його кальцій гідроксидом розширні сполуки, що руйнують камінь. Розмелений граншлак, хімічно зв'язуючи кальцій гідроксид, сприяє істотному збільшенню сульфатостійкості. Загальновідомими є сульфатостійкі шлакопортландцементи.
- ✓ **Інші характеристики.** Бетони з додатком розмеленого граншлаку можна застосовувати для заводського вироблення збірного залізобетону, проте вони потребують високотемпературного пропарювання. Міцність таких пропарених бетонів продовжує інтенсивно зростати і після пропарення на відміну від бетонів на ПЦ І-500. Також бетони і розчини з додатком розмеленого граншлаку мають підвищену міцність на розтяг і згин, підвищену жаростійкість, меншу схильність до висолоутвореності, мають підвищену стійкість до дії м'яких вод, а також стійкі у вуглекислих водах.

Наш пропонований продукт відповідає "ДСТУ Б В.2.7-302:2014 МШ-3-Д0" як розмелений згранульований доменний шлак, класу 3, без додаткових складників.

Як сировину ми використовуємо доменний згранульований шлак ПрАТ "Дніпровського металургійного комбінату" (м. Кам'янське, Дніпропетровська обл.).

Як відомо, згранульований доменний шлак отримують скорим охолодженням алюмосилікатного розплаву, який утворюється під час плавлення залізної руди в доменній печі, містить не менше половини за масою склоподібної фази і має гідравлічну активність.

Щоб полегшити розмелюваність, до сировинного шлаку в наші млини ми додаємо технологічну добавку за ДСТУ Б В.2.7-302:2014 в кількості, яка не перевищує 0,04% мас., що не впливає на характеристики бетонів і розчинів.

Технологічний вхідний, операційний і приймальний контроль процесу виготовлення МШ-3-Д0 на виробничому майданчику успішно здійснює наша випробувальна лабораторія ТОВ "ЦЕМБУДСЕРВІС".

Основні технічні характеристики ДСТУ Б В.2.7-302:2014 МШ-3-Д0:

- вологість не більше 1,0%;
- залишок на ситі 008 не більше 10% мас.;
- питома поверхня не менше 2750 см<sup>2</sup>/г;
- показник активності у віці 7 днів становить більше 45%, а у віці 28 днів – більше 70%.

Начальник лабораторії *Канась Ігор* +380674648634