

С.М.Толмачов

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
**МІЦНІСТЬ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СВІЖЕПІДРОБЛЕНОГО  
ЩЕБЕНЮ РІЗНОГО ГЕНЕЗИСУ**

*У статті наведені результати випробувань впливу механічної (шляхом дроблення крупних фракцій щебеню в щоквої дробарки) і хімічної активації (при його обробки водними розчинами суперпластифікатора у змішувачі) щебенів різного походження на міцнісні властивості бетону. Встановлено період, на протязі якого механічна активація ефективна. Показано, що в залежності від походження щебеню ефективність подальшої його хімічної активації різна.*

**Ключові слова:** сієнітовий щебін, гранітний щебін, хімічна активація, механічна активація, розчин суперпластифікатора, міцність бетонів

Табл. 2. Літ. 7.

*В статье приведены результаты исследований влияния механической (путем дробления крупных фракций щебня в щековой дробилке) и химической активации (при его обработке водным раствором суперпластификатора в смесителе) щебней различного происхождения на прочностные свойства бетона. Установлен период, в течение которого механическая активация эффективна. Показано, что, в зависимости от происхождения щебня, эффективность последующей его химической активации различна.*

*The results of studies of the influence of mechanical and chemical activation ballasts of different origin on the strength properties of the concrete. Investigations were carried out on the crushed stone for concrete of granite and syenite rocks. Mechanical activation was carried out by crushing large fractions of rubble in a jaw crusher. For comparison was used the rubble, which is not subjected to crushing. When crushing exposed active sites on the surface of the rubble, primarily acidic. This is due to the presence of large amounts of silica in the composition of granite. The appearance of active centers leads to increased strength of concrete on the granite rubble due to the hardening of the contact zone "hardened cement paste - filler." At the same time on the surface of the rubble of syenite, which included no quartz likely occurrence of positively charged centers. This leads to lower strength concrete on this gravel, perhaps because strength decreases the contact area. Set the period during which an effect of mechanical activation. Shown that their effectiveness and duration varies depending on the mineral composition of rubble. Activation was carried out by chemical treatment with an aqueous solution of crushed stones particles superplasticizer directly in the mixer. It is shown that, depending on the origin (mineral composition) ballast efficiency its subsequent chemical activation is different. It is established that the effect of the chemical activation is also dependent on whether the pre-crushed subjected to mechanical activation. Strength of concrete on the granite rubble in complex mechanical action, and then, chemical activation is higher than concrete rubble of the syenite. This suggests that the effect of the complex activation of crushed granite have a total character.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що найбільш слабким ланцюгом важкого бетону, у тому числі дорожнього, є зона контакту. Існуючі способи підвищення якості зони контакту «цементний камінь-заповнювач» враховують геометричну, фізичну і кристалохімічну природу заповнювача, специфіку гідратування і мінеральної підкладки, електричні властивості гідратів і поверхні заповнювача, можливості інтенсифікації фізико-хімічних процесів і реалізації створення щільної структури бетону. Ці способи можна поділити на групи:

- I група: використання реакційно здібних заповнювачів, а також дробленого клінкера;
- II група: передбачає обробку заповнювачів різними клею вальними складами, або насичення ними пористих заповнювачів;
- III група: попередня обробка заповнювачів поверхнево-активними речовинами;
- IV група: попереднє промивання заповнювачів;
- V група: механічна обробка заповнювачів, особливо крупних;
- VI група: раціональний підбір складу бетону у комплексі зі спеціальними методами перемішування та ущільнення бетонної суміші;
- VII група: ущільнення структури бетону мінеральними добавками;
- VIII група: введення мікродобавок безпосередньо в зону контакту шляхом попереднього насичення пористих заповнювачів спеціальними речовинами;
- IX група: різні підходи при обробці заповнювача розчинами лугів, кислот та інших електролітів, включаючи змочування розведеними розчинами електролітів.
- X група: нестандартні способи активації заповнювачів.

**Аналіз попередніх досліджень.** Використання реакційно здібних заповнювачів типу вапняків та шлаків (I група) має ряд особливостей, до того ж використання таких заповнювачів досить винятково. Спосіб насичення заповнювачів (II група) можливо віднести до компонентів легких бетонів. Крім того, склади, що призначаються до обробки, дуже коштовні. Тому ці прийоми є малоєфективні у дорожніх бетонах.

Існують дані різних авторів, щодо використання для обробки заповнювача різноманітних ПАВ, у тому числі гідрофобізуючих (група III). Вони відзначають, що така обробка підвищує адгезію цементного каменю до заповнювача, наприклад, та сприяє ущільненню зони контакту. Але при цьому можливо зниження довговічності і міцності бетону у проектному віці.

Різновидом є звичайна промивка заповнювачів, але цей прийом, якщо він не здійснюється у змішувачу, потребує великих витрат (IV група), а також негативно впливає на зовнішнє середовище.

Звісно, що існує досить велика кількість методик підбору складу важкого бетону, а також способів інтенсифікації його приготування, ущільнення і тверднення (VI група) [6]. Загальним недоліком способів інтенсифікації є значні витрати на обладнання і забезпечення технологічного процесу ущільнення і тверднення.

Активаційні дії VII і VIII груп засновані на введенні мікродобавок [7]. Слід сказати, що кількість добавок за даними різних авторів коливається від 4 до 15% від маси цементу. При вартості мікронаповнювачів у три рази більше ніж цементу, собівартість бетону значно зростає. Це робить даний спосіб не дуже економічним.

Нестандартні способи активації заповнювачів (X група) представлена електроактивацією, віброімпульсною, магнітною та ін.[2-4]. Доцільно відзначати, що ефекти, які забезпечують ці методи нестабільні і не завжди в загальному присутні. Крім того, щодо реалізації таких методів потрібна іноді занадто дорога механізм та устаткування.

Найбільш широко представлені способи обробки заповнювача розчинами різних електролітів - кислот, солей, лугів і їх різних комбінацій з метою видалення (нейтралізації), зв'язування шкідливих домішок заповнювачів. Особливе місце займають розробки школи, яку очолював У.А. Аяпов [1] по попередній обробці шлаків різного походження і складу розчинами сірчаної кислоти. Іноді після обробки кислотою, наприклад, HCl, використовують нейтралізацію розчинами їдкого натру. Частіше застосовують пряму обробку заповнювача розчинами солей.

Принципово відмінними є розробки О.Г. Ольгінського по використанню для активації заповнювачів слабких розчинів електролітів у вигляді кислот, солей слабкої основи і сильної кислоти, побічних продуктів у вигляді суміші різних кислих солей, а також лугів у суміші зі солями сильної основи й слабкої кислоти, або цементною суспензією [5].

Можливо активувати заповнювач механічним дробленням (V група). Практично без зайвих затрат це роблять на заводах по дробленню гірських порід на щебінь. При цьому відкриваються нові поверхні, концентрація зарядів на поверхні збільшується, тому значно зростає міцність електрогетерогенних контактів між поверхнею заповнювача і особливо, якщо вона здійснюється у водному середовищі, або у заповнювача, який знаходиться у вологому стані. Така обробка дозволяє значно підвищити щільність і міцність зони контакту, а значить і бетону в загальному. Але як довго діє цей ефект, як впливає на нього присутність різних хімічних добавок і мінеральний склад заповнювача досі не відомо.

Як видно з обзору, всі способи спрямовані на очищення поверхні заповнювача від пилювато-глинистих частинок шляхом промивання і електрофізичних, а також механо-хімічної активації заповнювача. Обробка заповнювача розчинами різних ПАР і механічне дроблення представляються найбільш перспективними засобами підвищення зчеплення цементного каменю з поверхнею заповнювача. Інші методи є трудо- і енергоємними, потребують додаткового, часто спеціального обладнання і робочих площ.

**Мета дослідження.** Найбільш розповсюдженим показником якості дорожнього бетону є міцність. Вона впливає на більшість інших показників, її легко визначати. Тому метою цього дослідження є оцінка подовженості впливу механічного дроблення (на заводах по виробництву щебеню) у часи, а також подальшої хімічної активації заповнювача у змішувачі при виготовленні бетонної суміші на міцність дорожнього бетону.

**Основні результати дослідження.** Літературний огляд показав, що серед різних методів активації переважаючими є механічні та фізико-хімічні. Серед фізико-хімічних методів в основному застосовують введення різних хімічних добавок. Найбільш поширеними хімічними добавками у бетонну суміш є пластифікатори. Тому ми досліджували активаційний вплив обробки щебеню розчинами суперпластифікатора BV12 (виробництво Німеччини). У роботі було використано сієнітовий щебінь Тельманівського кар'єру Донецької області, гранітний щебінь кар'єрів Полтавської області, цемент Балаклівського заводу Харківської області і дрібний гідронамивний пісок Днепропетрівської області.

З механічних способів активації кращим є дроблення великого заповнювача з метою оголення свіжих, незабруднених поверхонь, на яких може ефективно формуватися зона контакту «цементний камінь-заповнювач». При цьому міцність такої зони повинна бути вище, ніж у випадку звичайного щебеню. Проведені нами дослідження спрямовані на те, щоб показати, наскільки ефективна механічна активація щебеню, що проводиться шляхом дроблення. Досліджували міцність бетонів різних складів, в яких використовували щебінь звичайний, свіжеподрібнений і витриманий 1...2 тижні (табл. 1, 2).

Звичайний щебінь очищали від пилюватих включень і піску. Його просіювали через сито діаметром 5 мм і виділяли фракцію 5-10 мм.

Подрібнений щебінь отримували дробленням більших фракцій щебеню (20-40 мм та 10-20 мм) у лабораторній щековій дробарці і подальшому виділенню фракції 5-10мм. Частина цього щебеню йшла на виготовлення бетонів, а частину залишали лежати в лабораторії протягом одного та двох тижнів для подальшого виготовлення бетону.

При виготовленні бетонної суміші одну частину щебеню використовували без обробки водним розчином суперпластифікатора BV12, а другу частину використовували після його попередньої обробки розчином BV12 у змішувачі. Результати досліджень показано у табл. 1 і 2.

Міцність бетону з сієнітовим заповнювачем на рядовому щебені у віці 3 діб менше, ніж бетонів на свіжеподрібненому щебені на 8 % і менше, ніж на подрібненому, який був попередньо витриманий протягом 1 тижня на відкритому майданчику на 5 % (табл. 1). Міцність бетону на щебені, який був витриманий протягом 2 тижнів, менше, ніж у бетону на рядовому щебені. Аналіз коефіцієнта дефектності структури, КДС, (по І.М. Грушко це відношення міцності бетонів при стисненні до міцності при розтягуванні при згині) показує, що до 3 діб твердіння найбільш дефектна структура характерна для бетонів на рядовому щебені (найбільший - КДС).

Найменш дефектна структура - у бетонів на свіжеподрібненому сієнітовому щебені (найменший КДС). Обробка щебеню в змішувачі водним розчином суперпластифікатора BV- 12 приводить до істотного зниження міцності бетонів. Але в цьому випадку яскраво виражена тенденція поступового підвищення міцності бетону при переході від свіжеподрібнених щебенів до витриманих 2 тижні. Найімовірніше причина цього явища полягає в тому, що в міру зниження поверхневої активності щебеню починає проявлятися активуючий ефект самої добавки. Загальне зниження міцності бетонів в цьому віці обумовлено блокуючою дією добавки, яка абсорбується на поверхні щебеню і перешкоджає прояву механічної активації (склад на свіжеподрібненому щебені в порівнянні з складом на щебені, який витримано 2 тижні). З іншого боку КДС у таких бетонів значно нижче, ніж бетонів на щебені без попередньої хімічної обробки пластифікатором, що свідчить про формування більш однорідної структури бетону в цілому і зони контакту зокрема.

До 7 доби нормального твердіння різниця в міцності бетонів на свіжеподрібненому і рядовому щебені зростає. Причому більшою мірою це стосується міцності на розтяг при згині, яка збільшилася на 24 %, в той час, як міцність при стисненні зросла на 11 %. Приблизно ті ж результати отримані для бетонів на щебені, який витримано протягом 1 тижня. Це свідчить про підвищення насамперед міцності зони контакту, що формується на активній поверхні щебеню. Цей ефект пропадає для бетонів на щебені, витриманому протягом 2 тижнів. Дані підтверджують характер зміни КДС, який в бетонах на свіжеподрібненому щебені значно менше, ніж у бетонах на рядовому щебені. Застосування попередньої обробки щебеню в змішувачі розчином BV- 12 також приводить до зниження міцності бетонів у віці 7 діб на всіх видах щебеню (в порівнянні з бетонами без хімічної обробки). Особливо це виражено для бетонів на свіжеподрібненому щебені. Тут також, як і в бетонах у віці 3 діб відзначено істотне зниження КДС при використанні рядового щебеню. У віці 28 діб механічна активація щебеню приводить до ще більшого зростання міцності бетону на подрібненому щебені на розтяг при згині (25...28 %) і при стисканні (на 16...18 %) у порівнянні з бетонами на рядовому щебені. Слід зазначити, що КДС у цих видів бетонів до цього періоду не розрізняються так значно, як в більш ранньому віці, що може свідчити про деяке зменшення ефекту механічної активації щебеню. З іншого боку істотно зростає роль попередньої хімічної активації щебеню розчином BV-12.

Таблиця 1

Міцність бетонів на сієнітовому щебені					
Доби	Склад	Заповнювач	R <sub>зг</sub>	R <sub>ст</sub>	R <sub>ст</sub> / R <sub>зг</sub>
3	Без добавки	Рядовий	20,9	198,0	9,47
		Свіжеподрібнений	22,5	210,8	9,06
		Витриманий (1 тиждень)	21,8	208,8	9,29
		Витриманий (2 тижні)	20,6	189,5	9,20
	3 добавкою BV-12	Рядовий	18,1	110,0	6,08
		Свіжеподрібнений	15,1	116,8	7,74
		Витриманий (1 тиждень)	18,6	121,6	6,54
		Витриманий (2 тижні)	19,6	135,2	6,90
7	Без добавки	Рядовий	27,9	235,2	8,43
		Свіжеподрібнений	34,5	260,0	7,54
		Витриманий (1 тиждень)	34,4	260,2	7,56
		Витриманий (2 тижні)	26,8	230,8	8,61
	3 добавкою BV-12	Рядовий	23,4	152,8	6,53
		Свіжеподрібнений	21,7	170,4	7,85
		Витриманий (1 тиждень)	26,6	189,2	7,11
		Витриманий (2 тижні)	29,1	204,8	7,04
28	Без добавки	Рядовий	31,9	248,8	7,80
		Свіжеподрібнений	40,8	294,0	7,21
		Витриманий (1 тиждень)	39,1	287,6	7,36
		Витриманий (2 тижні)	33,4	286,0	8,56
	3 добавкою BV-12	Рядовий	34,4	207,8	6,04
		Свіжеподрібнений	32,7	201,2	6,15
		Витриманий (1 тиждень)	39,4	257,2	6,37
		Витриманий (2 тижні)	41,0	273,2	6,66

Таблиця 2

Міцність бетонів на гранітному щебені					
Доби	Склад	Заповнювач	R <sub>зг</sub>	R <sub>ст</sub>	R <sub>ст</sub> / R <sub>зг</sub>
3	Без добавки	Рядовий	22,5	175,0	7,78
		Свіжеподрібнений	25,0	237,0	9,48
		Витриманий (1 тиждень)	23,5	225,0	9,57
		Витриманий (2 тижні)	26,0	220,0	8,46
	3 добавкою BV12	Рядовий	23,0	190,0	8,26
		Свіжеподрібнений	25,2	215,0	8,53
		Витриманий (1 тиждень)	25,3	217,0	8,58
		Витриманий (2 тижні)	24,3	200,0	8,23
7	Без добавки	Рядовий	29,0	218,0	7,52
		Свіжеподрібнений	34,0	279,0	8,21
		Витриманий (1 тиждень)	31,5	273,0	8,67
		Витриманий (2 тижні)	32,0	260,0	8,13
	3 добавкою BV12	Рядовий	33,0	260,0	7,88
		Свіжеподрібнений	38,2	300,0	7,85
		Витриманий (1 тиждень)	37,0	285,0	7,70
		Витриманий (2 тижні)	40,0	280,0	7,00
28	Без добавки	Рядовий	32,0	250,0	7,81
		Свіжеподрібнений	37,0	316,0	8,54
		Витриманий (1 тиждень)	35,0	283,0	8,09
		Витриманий (2 тижні)	34,5	290,0	8,41
	3 добавкою BV12	Рядовий	37,8	272,0	7,20
		Свіжеподрібнений	44,1	330,0	7,48
		Витриманий (1 тиждень)	42,0	300,0	7,14
		Витриманий (2 тижні)	46,3	302,0	6,52

Вона приводить до того, що міцність бетонів на подрібненому щебені після його витримування 1...2 тижні зростає на 15...19 % на розтяг при згині і на 24...31 % при стисненні в порівнянні з бетонами на рядовому щебені. Відмінною особливістю цих бетонів є значне зменшення КДС, на щебені, який підданий механічній або хімічній активації. Це може свідчити про формування впорядкованої структури як у зоні контакту, так і в макроструктурі бетонів.

У бетонах на гранітному щебені у віці 3 діб нормального твердіння спостерігаємо дещо інші залежності (табл. 2). Міцність бетонів на подрібнених щебенях, незалежно від часу витримування щебеню, вище, ніж у бетонів на рядовому щебені на 10...16 % на розтяг при згині і на 7...15 %. Але КДС бетону на свіжеподрібненому щебені вище, ніж бетону на рядовому, що свідчить про те, що механоактивація гранітного щебеню в перший період твердіння меншою мірою стосується формування зони контакту, а в основному спрямована на мезо- та макроструктуру. Хімічна активація гранітного щебеню не тільки не приводить до зниження міцності бетонів на подрібнених щебенях, але, навпаки підвищує її порівняно з бетоном на рядовому щебені. Це може служити підтвердженням висловленого вище припущення.

Аналогічні залежності впливу різних видів активації на міцність бетонів на гранітному щебені можна спостерігати зіставляючи результати у віці 7 і 28 діб природного твердіння. У цих випадках також, на тлі загального збільшення міцності бетонів з плином часу, очевидно підвищення міцності при стисненні і на розтяг при згині у бетонів на подрібнених щебенях (незалежно від часу, що пройшов з моменту дроблення, в межах періоду, що спостерігався) порівняно з бетонами на рядовому щебені. Крім цього, явно виражена залежність збільшення міцності бетонів на подрібнених щебенях в порівнянні з бетоном на рядовому щебені при хімічній активації щебенів. Можна відзначити також більш високий КДС у всіх бетонів в бетонах на гранітному щебені по відношенню до бетонів на сієнітових щебенях, що свідчить про те, що структура перших, ймовірно, більш дефектна.

**Висновки.** 1. Механічна активація, яка відбувається при дробленні сієнітового щебеню спрямована в першу чергу на поліпшення якості зони контакту «заповнювач - цементний камінь». Тому активація поверхні сієнітових щебенів (при оголенні активних центрів на поверхні, де зосереджений надлишковий поверхневий заряд) ефективна тільки протягом першого тижня, після чого цей ефект знижується або зникає.

2. Хімічна активація сієнітових щебенів, яка здійснювалась після їх подрібнення, за допомогою розчину суперпластифікатора BV- 12, який володіє сповільнюючою дією, різко знижує ефективність механічної активації в усі терміни твердіння бетонів, які були спостережені. Її особливістю є блокування активних центрів на поверхні подрібненого щебеню, що приводить до уповільнення твердіння бетону, особливо в зоні контакту, і зниження його міцності в цілому.

3. Механічна активація гранітного щебеню дозволяє істотно підвищити міцність бетонів на всьому періоді, що спостерігався і також спрямована на поліпшення зони контакту між щебенем і цементним каменем. На відміну від сієнітового щебеню її ефективність не обмежена часом (це стосується перших двох тижнів після подрібнення).

4. Хімічна активація гранітних щебенів приводить до збільшення міцності бетонів на всіх щебенях (подрібнених і рядових) в порівнянні з міцністю бетонів на щебенях, що пройшли попередню активацію при подрібненні на всьому протязі періоду, що спостерігався. Це дозволяє говорити про аддитивність ефектів різних видів активації.

1. Аяпов У.А. Способ обработки заполнителя / У.А. Аяпов, А.А. Радионова // Оубл. в Б.И.,1980, № 34.
2. Гусев Б.В. Вибрационная технология бетона / Б.В.Гусев, В.Г. Зазимко. – К.: Будівельник, 1991. - 157 с.
3. Крылов Б.А. О воздействии электрического тока на твердение бетона / Б.А. Крылов, А.И. Ли // Бетон и железобетон, 1992. – № 2. – С. 7 – 8.
4. Матвиенко В.А. Электрическая активация в технологии бетона и изделий / В.А. Матвиенко // Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.05. - Х., 1993. - 34 с.
5. Ольгинский А.Г. Тяжелые бетоны на заполнителе, обработанном растворами солей / А.Г. Ольгинский, Ю.М. Мельник // труды IX Всесоюзной конф. по бетону и железобетону. – Харьков, 1983. – С. 67 – 69.
6. Соломатов В.И. Интенсивная технология бетонов / В.И. Соломатов, М.К. Тахиров, Мд. Шах Тахер. – М.: Стройиздат, 1989. – 262 с.
7. Усов Б.А. Бетоны с активированными наполнителями и химическими добавками / Б.А. Усов, А.А. Домокеев, А.Ю. Сорокин // Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов: тез. докл., 1989.- С. 113 – 114.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2014