

УДК 666.972

**НИЗЬКОЕНЕРГОЄМНІ БЕТОНИ ОТРИМАНІ СПОСОБОМ
ВІБРОПРЕСУВАННЯ**

**НИЗКОЭНЕРГОЕМКИЕ БЕТОНЫ ПОЛУЧЕННЫЕ СПОСОБОМ
ВИБРОПРЕССОВАНИЯ**

**LOW ENERGY CONCRETE RECEIVED MANNER THAT
VIBROPRESSING**

Житковський В.В., к.т.н., доц., Дворкін Л.Й, д.т.н, проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Житковский В.В., к.т.н., доц., Дворкин Л.И, д.т.н, проф. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Zhitkovsky V.V., candidate of technical scienses, Dvorkin L.I., doctor of technical scienses (National University of Water Management and Natural Resources, Rivne)

В статті показані особливості виготовлення бетонних виробів вібропресуванням наджорстких сумішей. Представлені результати досліджень поведінки бетонних сумішей при вібропресуванні, ефективності добавок та впливу заповнювача, використання різних видів в'язучих.

В статье показаны особенности изготовления бетонных изделий вибропрессованием сверхжестких смесей. Представлены результаты исследований поведения бетонных смесей при вибропрессировании, эффективности добавок и влияния заполнителя, использование различных видов вяжущих.

The paper shows the features of cement products vibropressing semi-dry mixtures. The results of studies of behavior in concrete vibropressing, performance additives and aggregate effects, the use of different types of binders.

Ключові слова:

Наджорсткі бетонні суміші, вібропресування, ущільнення, цементне і гіпсове в'язучі

Сверхжесткие бетонные смеси, вибропрессование, уплотнение, цементное и гипсовые вяжущие

Semi-dry concrete mix, block-making, packing, cement and gypsum binders

Застосування жорстких та наджорстких бетонних сумішей при виготовленні бетонних виробів за умови їх ефективного ущільнення дозволяє отримати матеріал зі зниженою пористістю та, відповідно, значними міцнісними показниками. За рахунок низької пористості в'язучої матриці та стиснених умов, викликаних інтенсивним ущільненням, для таких бетонів характерна підвищена швидкість наростання міцності в часі, а також можливість суттєвого зниження витрат в'язучого. Такі особливості бетонів на основі жорстких та наджорстких сумішей створюють передумови широкого використання низькоактивних в'язучих (шлакопортландцементів, композиційних цементів, а також безцементних та малоцементних в'язучих), що дозволяє суттєво знизити енергоємність виготовлення бетонних виробів.

Не зважаючи на те, що останнім часом використання інтенсивного ущільнення сумішей підвищеної жорсткості набуло помітного розповсюдження, технологічні їх особливості вивчені досить мало і це часто перешкоджає можливості прогнозування властивостей виробів та забезпеченню раціональних витрат компонентів.

Одним з найефективніших та відносно простих в технічному відношенні способів ущільнення особливо- та наджорстких бетонних сумішей є вібропресування. Найбільш прогресивними формуючими агрегатами для ущільнення жорстких та наджорстких сумішей являються вібраційні преси. Особливостями конструкції вібропресів є обладнання агрегату роздільними чи суміщеними джерелами вібрації та тиску, пристроями для зберігання, вкладання та розрівнювання бетонної суміші, застосування нерозбірних форм, що передбачає негайне вивантаження відформованих виробів і їх транспортування.

Формуюче навантаження у вібропресах різних типів може створюватись як за рахунок маси пуансона, так і з допомогою повітряної чи гідравлічної системи. При ущільненні вібропреси створюють тиск в межах від 0,05 до 0,1 МПа, амплітуду коливаль – 0,5...1 мм, частота – переважно 50...100 Гц при тривалості дії від 5 до 30 с. Такі параметри формування дають можливість досягнути ефективного ущільнення бетонних сумішей підвищеної жорсткості – класів НЖ2, НЖ3 – 50...100 с і більше [1].

Вібропреси використовують для виготовлення як дрібноштучних виробів (стінові блоки, черепиця, тротуарні плити), так і для виробів більших розмірів – кільця, труби, ригелі, балки тощо. Такий метод ущільнення завдяки короткій тривалості циклу та можливості негайної розпалубки є високопродуктивним і допускає можливість максимальної автоматизації технологічного процесу.

Найбільшого розповсюдження набуло вібропресове обладнання для виготовлення виробів для зведення огорожуючих конструкцій як з важкого, так і з легкого бетону (стінові блоки, лищовальні, фундаментні блоки і

камені, пустотні елементи збірно-монолітних залізобетонних перекриттів) та дорожньо-будівельної продукції (дорожні і тротуарні плити, елементи мостення, бортові камені, елементи ландшафтної архітектури).

Відмічені вище основні види бетонних виробів, що виготовляються способом вібропресування, відрізняються перш за все вимогами до бетону, а також геометричними розмірами виробів: для стінових матеріалів необхідна міцність бетону, враховуючи, що вироби переважно пустотні, становить 15...25 МПа, відповідно морозостійкість – F25...F35, при цьому характерна більша висота виробів – 200...300 мм; дорожні ж вироби вимагають підвищеної міцності, надійності і довговічності (міцність 40...60 МПа, F200...F300), висота ж виробів може коливатись від 60...100 мм для плит і до 200...300 мм і навіть 1000 мм – для бортових каменів і елементів архітектури, відповідно. Такі особливості призвели до появи різних напрямків розвитку формувального обладнання.

Особливості бетонних сумішей для виготовлення вібропресованих виробів визначаються силовим впливом, що виникає у процесі формування.

Бетонна суміш для вібропресування повинна мати знижену вологість (близько 6...8%) і тому підвищену жорсткість. Суміш такої консистенції являє собою пухке середовище з довільним орієнтуванням частинок заповнювача та їх агрегатів, котрі покриті плівкою із цементного тіста. Бетонна суміш для вібропресування являє собою незв'язну масу, тому її можна віднести до категорії сипких бетонних сумішей (або наджорстких), які лише умовно можуть характеризуватись в'язкістю [2] та іншими реологічними характеристиками.

При вібропресуванні поряд із силовим ущільненням (тиск 0,07...0,1 МПа) відбувається перегрупування частинок, а також тискотропне розрідження цементного тіста, завдяки чому отримується щільна структура з низьким В/Ц (0,3...0,4) та відносно невисоким об'ємом цементного каменю (270...300 л, коефіцієнт розсуву зерен заповнювача близький до 1).

Технологічні властивості наджорстких бетонних сумішей для вібропресування характеризуються їх формувальністю – здатністю зберігати надану в результаті ущільнення форму і не руйнуватись під час технологічних переміщень при деякому оптимальному В/Ц – $(\text{В/Ц})_{\text{опт}}$. $(\text{В/Ц})_{\text{опт}}$ повинне забезпечувати достатнє значення міцності виробів одразу ж після формування та максимальну міцність у проектному віці, при певній витраті цементу. $(\text{В/Ц})_{\text{опт}}$ залежить від властивостей цементу, водопотреби заповнювача, параметрів ущільнення:

$$(\text{В/Ц})_{\text{опт}} = (\text{В/Ц})_{\text{ц.т.}}^{\text{зал}} + \frac{K_{\text{зм}} \cdot 3}{\text{Ц}}$$

де $(\text{В/Ц})_{\text{ц.т.}}^{\text{зал}}$ - В/Ц цементного тіста в ущільненій бетонній суміші; 3, Ц - витрати заповнювача і цементу, відповідно, кг/м³; $K_{\text{зм}}$ - коефіцієнт змочування зерен заповнювача.

$(V/C)_{ц.г.}^{зал}$ залежить від нормальної густоти цементу і параметрів ущільнення (частота, амплітуда, тривалість вібрування, тиск). Для більшості вібропресуючих установок для формування стінових блоків, тротуарних плит та бордюрів, розповсюджених на території країн Європи, значення $(V/C)_{ц.г.}^{зал}$ знаходиться в межах 0,19...0,22.

Визначення $(V/C)_{опт}$ наджорсткої бетонної суміші, чи, іншими словами, оптимальної витрати води є найважливішим моментом, від якого залежать основні показники міцності та довговічності вібропресованих виробів.

Контролювати формувальність з визначенням потрібної витрати води доцільно за оптимальним питомим електричним опором ущільненого зразка бетону чи по появі на його поверхні перших ознак віджимання води, котрі характеризують утворення неперервних плівок цементного тіста на зернах заповнювача.

Підвищена жорсткість бетонної суміші та її пухка структура призводить до наявності у вібропресованих виробих після ущільнення від 200 до 100 л/м³ затисненого повітря (об'єм недоущільнення). Недоущільнена структура вібропресованого бетону призводить до значного зниження міцності та довговічності виробів (рис. 1).

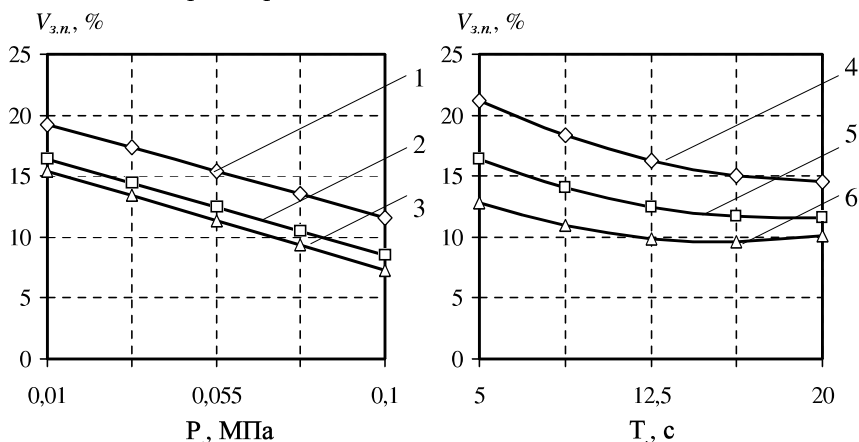


Рис. 1. Вплив витрати цементу ($C, \text{ кг/м}^3$), пресуючого тиску ($P, \text{ МПа}$), тривалості ($T, \text{ с}$) та амплітуди вібрування ($A, \text{ мм}$) на кількість затисненого повітря у вібропресованому бетоні:

- 1- $C=200 \text{ кг/м}^3$; 2- $C=400 \text{ кг/м}^3$; 3- $C=600 \text{ кг/м}^3$; 4- $A=0,35 \text{ мм}$;
- 5- $A=0,5 \text{ мм}$; 6- $A=0,65 \text{ мм}$.

Ущільнення при встановлених нами оптимальних параметрах (амплітуда – 0,5...0,65 мм, тривалість – 15...20 с., привантаження – 0,06...0,1 МПа)

дозволяє знизити об'єм повітря до 60...70 л/м³. Міцність при цьому збільшується у 1,5...2,1 рази [2].

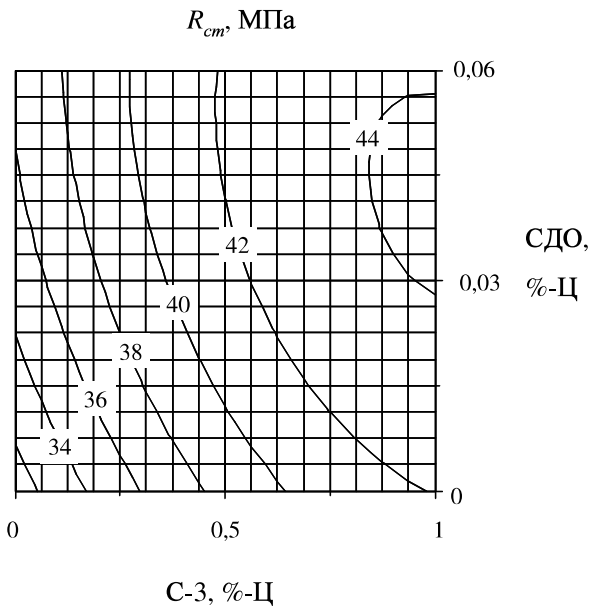


Рис.2. Комплексний вплив дозавок-ПАР на міцність

Дозавки-ПАР різних видів значно покращують ущільнюваність наджорстких сумішей, що особливо помітно при постійному В/Ц. Одночасне зниження В/Ц суміші може спостерігатись при використанні пластифікаторів в комплексі з дозавками зі значним повітрявтягуванням (рис. 2).

Внаслідок низького В/Ц наджорстких сумішей, пониження їх водовмісту не являється необхідним. Більш доцільно підвищення здатності до ущільнення, адже в даному випадку (при недоущільненні 10...15%) це прямо відображається на міцності бетону.

З огляду на отримані дані щодо міцнісних властивостей вібропресованого бетону можна стверджувати, що для можливості прогнозу якісних характеристик в умовах певного виробництва важливо оцінити наявне недоущільнення бетону, щоб уникнути можливого зниження міцності та довговічності, так як кожен відсоток затисненого повітря викликає зниження міцності на 7...8%.

Для прогнозування міцності вібропресованих бетонів на одному рівні доцільно використовувати як класичну залежність від В/Ц, так залежність від витрати цементу: для отримання бетону з потрібним В/Ц необхідно

забезпечити певний водовміст бетонної суміші, котрий крім властивостей вихідних матеріалів та інтенсивності ущільнення визначається також витратою цементу

Як і у звичайних бетонів, характер залежності міцності вібропресованого бетону на кварцовому піску та дрібному щебені (2,5...10 мм) від В/Ц (чи Ц) є практично лінійним. В діапазоні зміни В/Ц від 0,32...0,34 до 0,24...0,26 міцність зростає на 40...57% (до 43...55 МПа).

Особливо помітний вплив на міцнісні властивості вібропресованого бетону створює зерновий склад заповнювача (як дрібного та і крупного). Оптимальна гранулометрія заповнювача суттєво залежить від витрати цементу в бетоні. При використанні дрібного щебеню фракції 2,5...10 мм при витратах цементу в діапазоні від 400...500 кг оптимальна частка фракції 5...10 становить 0,52...0,6.

Порівняно з бетоном звичайної консистенції, для вібропресованого бетону з наджорсткої суміші характерні підвищені значення оптимальної частки піску – 0,45...0,52. З підвищенням витрати цементу вплив крупності щебеню та кількості піску на властивості бетону значно знижується.

Варіювання зерновим складом і, відповідно, пустотністю заповнювача піщаного вібропресованого бетону також суттєво впливає на міцність при стиску. Оптимальний зерновий склад поліфракційного гранітного піску: 10...2,5 мм – 15...25%, 2,5...0,63 мм – 35...45%, 0,63...0,16 мм – 35...45% [2].

Зерновий склад заповнювача (частка піску, крупність щебеню) та об'єм цементного тіста створює також значний вплив на порову структуру вібропресованого бетону. За умови використання оптимальних співвідношень між складовими бетону водопоглинання знижується до 3% за масою.

Вібропресовані бетони з В/Ц=0,28...0,3 при використанні гранітного щебеню фр. 3...10 мм характеризуються морозостійкістю F150...F200, котра в значній мірі залежить від досягнутого ущільнення суміші. Збільшення щільності бетону за рахунок пластифікаторів на основі лігносульфонатів та суперпластифікаторів сприяє підвищенню морозостійкості до F250...300 [2].

Вібропресування може бути застосоване і для ущільнення гіпсових бетонів, а також бетонів на водостійких гіпсових в'язучих. Технологічними особливостями при вібропресуванні гіпсобетонних сумішей можна вважати необхідність забезпечення оптимального водовмісту, що визначає найкращі умови формування та максимальну щільність; інтенсивне перемішування, що сприяє швидкому рівномірному розподіленню рідини; суттєву живучість сумішей, що забезпечує можливість тривалого (до 30 хв.) зберігання суміші у витратних бункерах формувальної установки.

Дослідження проводилися з використанням будівельного гіпсу марки Г-5, а також відвального фосфогіпсу ВАТ «РівнеАзот» (Україна). В результаті нейтралізації кислих домішок і теплової обробки на даному фосфогіпсі

отримали напівгідратне в'яжуче з активністю близько 1,5...2,0 МПа при водопотребі 0,9...1.

Авторами встановлено, що для вібропресованого гіпсобетону існує область оптимального водовмісту (оптимальне $V/G=0,30...0,36$ (рис. 3)), котре являє собою мінімальну кількість води, достатню для отримання суміші з певними реологічними характеристиками, забезпечення максимальної щільності бетону та повної гідратації в'яжучого. Отримані дані підтверджуються аналогічними результатами, одержаними авторами на цементних вібропресованих бетонах [1].

Для вібропресування наджорстких гіпсових сумішей необхідно забезпечити подовження строків тужавлення в'яжучого до 30...40 хв. з метою попередження гідратації і зневоднення суміші у витратному бункері. В даному випадку ефективно використання сповільнюючих добавок (наприклад, лимонної кислоти). Зниження необхідної витрати сповільнювачів можна забезпечити також застосуванням змішувачів безперервної дії.

Особливістю вібропресованих гіпсобетонів є суттєвий вплив кількості заповнювача на процес ущільнення. Оптимальні параметри вібропресування гіпсобетонів є наступні: $V/G=0,25...0,30$; $T=15...20$ с; $P=0,06...0,09$ МПа.

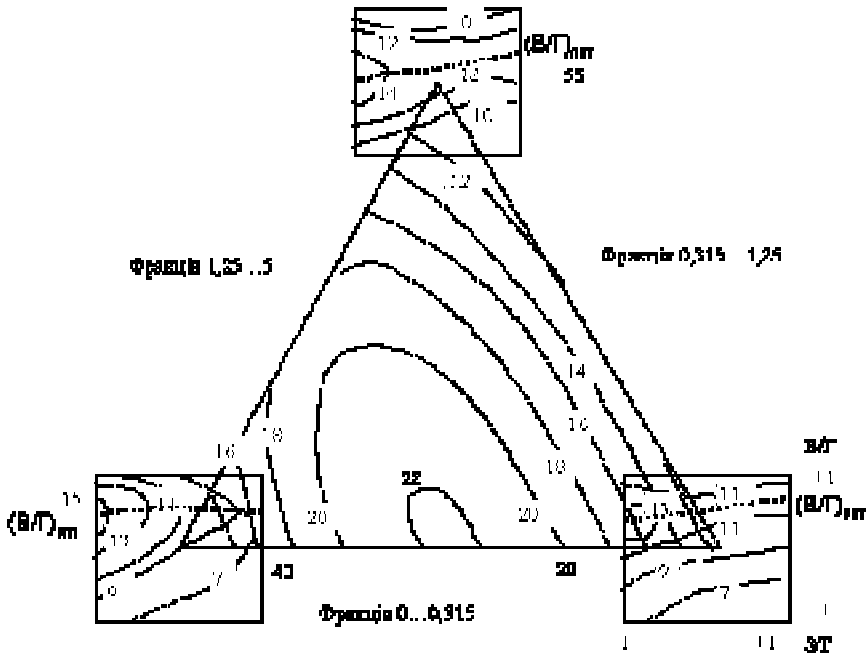


Рис. 1. Ізопараметрична діаграма міцності вібропресованого гіпсобетону

Отже, для вібропресованого гіпсобетону встановлено наявність області оптимального тиску привантаження та тривалості вібропресування, які забезпечують максимальні значення щільності та міцності бетону. Отримані дані підтверджуються аналогічними результатами, одержаними авторами на цементних вібропресованих бетонах [1].

Значення середньої густини вібропресованого гіпсобетону знаходяться в межах 1400...2000 кг/м³. Найбільше зростання ρ_0 викликає збільшення частки заповнювача: суміші з меншою кількістю в'язучого в більшій мірі піддаються ущільненню внаслідок вібраційних коливань крупних частинок і їх компактного розташування. В той же час відмічене зростання щільності не супроводжується підвищенням міцності, причому спостерігається значне зниження формувальної міцності.

При оптимальних параметрах ущільнення та кількості заповнювача міцність отриманого матеріалу становить 15...20 МПа на 1 добу твердіння у висушеному стані (на фосфогіпсовому в'язучому міцність - 10...13 МПа).

Суттєвими факторами, що впливають на міцність гіпсобетону на основі наджорстких сумішей є вид і властивості заповнювача. Для бетонів на основі наджорстких сумішей заповнювач формує структурний каркас, тому важливим є забезпечення максимальної щільності заповнювача в бетоні. Щільна упаковка зерен в гіпсобетоні визначається зерновим складом заповнювача, кількістю в'язучого, жорсткістю суміші та її ущільненням.

Таким чином, вібропресування наджорстких бетонних сумішей дає можливість знизити витрати ресурсів на виготовлення бетонних виробів за рахунок зниження витрат в'язучого та максимального використання відходів різних видів, так як дозволяє суттєво нівелювати їх негативний вплив на властивості бетону.

1. Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, В.О. Каганов. Бетони на основі наджорстких сумішей. Рівне: Вид-во РДЦНТЕІ, 2006. – 179 с. 2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона.— М.: Стройиздат, 1981.— 464 с. 3. Мещеряков Ю.Г. Гипсовые попутные продукты и их применение в производстве строительных материалов. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд. 1982, 144 с. 4. Ферронская А.В. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 485 с.