

УДК 666.97

*Дворкін Л.Й., доктор техн. наук, професор,
Житковський В.В., канд. техн. наук, доцент,
Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне*

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ ГІПСОВОГО БЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦІЛЬНИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ

Важливим завданням отримання ефективних будівельних матеріалів є зниження їх енергоємності. В умовах підвищення цін на енергоносії застосування портландцементу в якості основного в'язучого для виготовлення бетонних виробів призводить до суттєвого підвищення їх вартості. У зв'язку з цим підвищується актуальність більш широкого використання малоенергоємних матеріалів, таких як гіпсові в'язучі та композиції на їх основі. При цьому використання добавок-модифікаторів дозволяє істотно поліпшити властивості гіпсових матеріалів і розширити сферу їх застосування.

Розрахунок складу гіпсобетону має ряд особливостей, зумовлених широким діапазоном можливої активності в'язучого (марки від Г-5 до Г-25); істотною відмінністю між методикою визначення міцності в'язучого і реальними умовами роботи гіпсобетону в конструкції; можливістю зміни в широких межах витрат та виду заповнювача.

Основними вихідними даними для проектування складів є міцнісні характеристики гіпсобетону (міцність при стиску) і легкоукладальність суміші, обумовлена умовами формування.

Міцність гіпсобетону, так само як і міцність цементних бетонів [1], визначається щільністю матриці, що формується при твердінні в'язучого, яка обумовлена, в першу чергу, гіпсоводним відношенням (Г/В). Відомо кілька виразів, що характеризують залежність міцності гіпсобетону (R_g) від водогіпсового відношення [2, 3]. Однією з найбільш широко застосовуваних є формула Г.Г.Буличова:

$$R_g = \kappa A \frac{(G/V)^\alpha - 0,5}{(G/V) - 0,5} \quad (1),$$

де $(G/V)'$ - величина, зворотна нормальній густоті гіпсового в'язучого; А - активність в'язучого; α - коефіцієнт тонкості помелу гіпсового в'язучого, що приймається для будівельного гіпсу рівним 1,3; κ - масштабний коефіцієнт.

Аналізуючи формулу (1) слід зазначити, що в ній не врахований вплив на міцність гіпсобетону виду та кількості заповнювачів. Вплив нормальної густоти на міцність, очевидно враховується як через величину $(G/V)'$, так і через зміну водопотреби гіпсобетонної суміші (тобто через Г/В). Аналіз впливу основних факторів на міцність гіпсобетону за відомими і нашими експериментальними даними вказує, що при загальному близькому до лінійного впливу Г/В на міцність (рис. 1) має місце істотний розкид експериментальних значень, зумовлений кількістю заповнювача в бетоні. Вироби з гіпсобетону можна отримувати, використовуючи суміші з широким діапазоном співвідношень "заповнювач : гіпсове в'язуче" (З/Г). При цьому, застосування розріджувальних добавок, а також різних способів ущільнення бетону дозволяє формувати вироби при Г/В, що значно відрізняються від стандартної нормальної густоти в'язучого.

Так як основні фактори, що впливають на міцність гіпсових і цементних бетонів близькі, для визначення міцності гіпсобетону і проектування його складу пропонується використовувати рівняння Болемея, вводячи специфічні значення коефіцієнтів:

$$R_g = pAR_g(\Gamma / B - b) \quad (2),$$

де R_g - міцність гіпсобетону в сухому стані, МПа; R_g - активність гіпсу, визначена за чинним стандартом, МПа; pA - ($pA = A_1 A_2 \dots A_n$) мультиплікативний коефіцієнт, що враховує вплив різних факторів на міцність (якість заповнювача, умови твердіння, використання сповільнювача строків тужавлення та ін.); b - коефіцієнт, що визначає вплив кількості заповнювача.

В результаті аналізу експериментальних даних нами отримані рівняння для розрахунку емпіричних значень коефіцієнтів A і b для гіпсобетону на кварцовому піску та будівельному гіпсі. При використанні гіпсу певної марки ці коефіцієнти суттєво залежать від масового співвідношення між заповнювачем і в'язучим:

$$A = 1,45 - 0,18 \cdot 3 / \Gamma \quad (3)$$

$$b = \frac{7,8 + 0,21 \cdot 3 / \Gamma}{7,2 - 0,88 \cdot 3 / \Gamma} \quad (4)$$

$3/\Gamma$ – співвідношення між масовими витратами заповнювача і гіпсу

Уточнені значення коефіцієнтів можна отримати з урахуванням експериментальних даних випробувань гіпсобетонів на конкретних вихідних матеріалах.

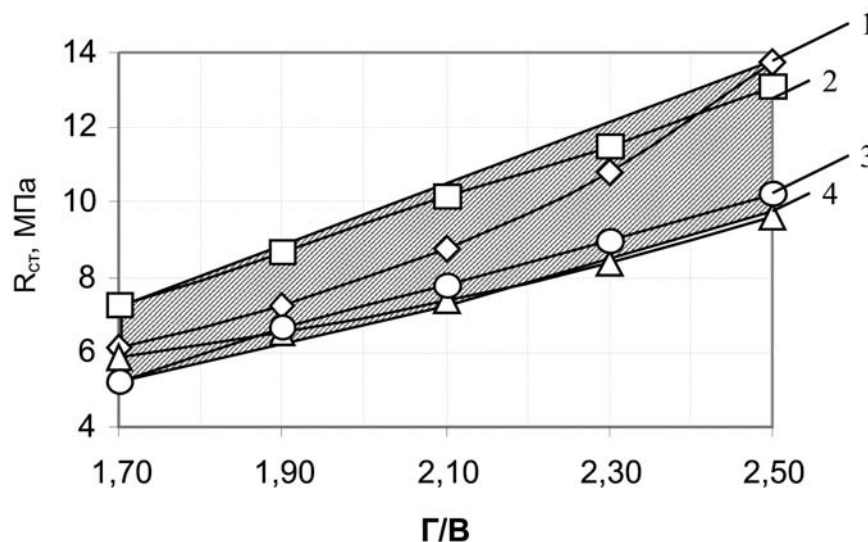


Рисунок 1 - Залежність міцності при стиску гіпсобетону (R_g) від гіпсоводного відношення:

1 – за даними [2]; 2 і 3 – за даними авторів; 4 – за даними [3];

Легковкладальність гіпсобетонної суміші залежить від гіпсоводного відношення (Γ/V), виду заповнювача і його кількості, а також від властивостей в'язучого (його водопотреби). Найбільш поширеним способом ущільнення гіпсових виробів є лиття, тому в багатьох методиках розрахунку складу гіпсобетону визначення витрати води прив'язується до литої консистенції суміші. Широке застосування інтенсивних способів формування гіпсових виробів вимагає більш точного врахування легковкладальності і пов'язаної з нею водопотреби суміші.

Для визначення необхідного водовмісту гіпсобетонних сумішей можна використовувати отриману нами математичну модель легкоукладальності (Y , см):

$$Y = -111,93 + 105,79 \Gamma/B + 2,243/\Gamma - 20,03 \Gamma/B^2 - 1,283/\Gamma^2 - 1,92 \Gamma/B3/\Gamma \quad (5)$$

Область справедливості даної моделі: $\Gamma/B=2,1\pm 0,4$; $3/\Gamma=0,6\pm 0,6$. При побудові рівняння легкоукладальність визначалася як діаметр розпливу стандартного конуса на струшуючому столику після 10 струшувань. Цей спосіб дозволяє з достатньою точністю оцінити легкоукладальність як литих, так і жорстких дрібнозернистих гіпсобетонних сумішей (рис.2).

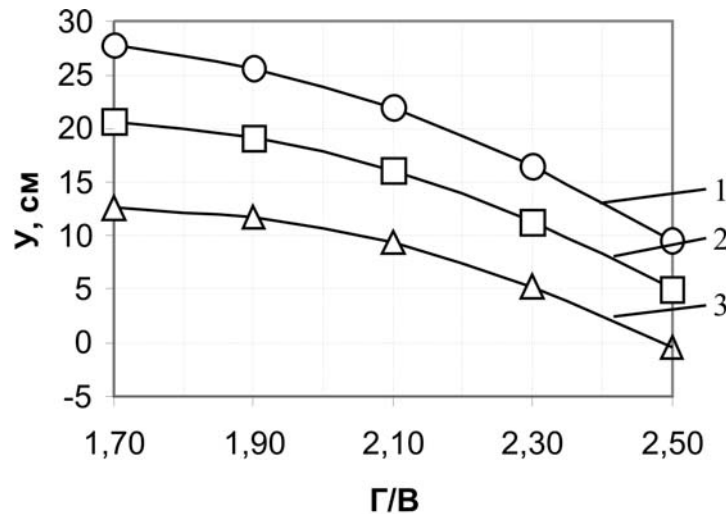


Рисунок 2 - Залежність легкоукладальності (Y , см) від гіпсоводного відношення і кількості заповнювача
1- $3/\Gamma = 0$; 2- $3/\Gamma = 0,6$; 3- $3/\Gamma = 1,2$.

Рішення задачі проектування складу гіпсобетону при заданій міцності і легкоукладальності можливо при вирішенні системи рівнянь (2) і (5):

$$\begin{cases} R_6 = pAR_2(\Gamma/B - b) \\ Y = -111,93 + 105,79 \Gamma/B + 2,243/\Gamma - 20,03 \Gamma/B^2 - 1,283/\Gamma^2 - 1,92(\Gamma/B)(3/\Gamma) \end{cases} \quad (6)$$

Для деяких значень міцності (R_6 , МПа) і легкоукладальності (Y , см) повинен існувати розв'язок у вигляді параметрів складу Γ/B і $3/\Gamma$.

Вирішення даної системи доцільно з використанням персонального комп'ютера. Для зручності практичного застосування даної методики побудована номограма (рис. 3). Номограма справедлива при використанні будівельного гіпсу з водопотребою (нормальною густиною) 51...52%. Для в'язучого з більшою чи меншою водопотребою слід збільшувати (або зменшувати, відповідно) задану легкоукладальність суміші з розрахунку 1 см на кожен відсоток.

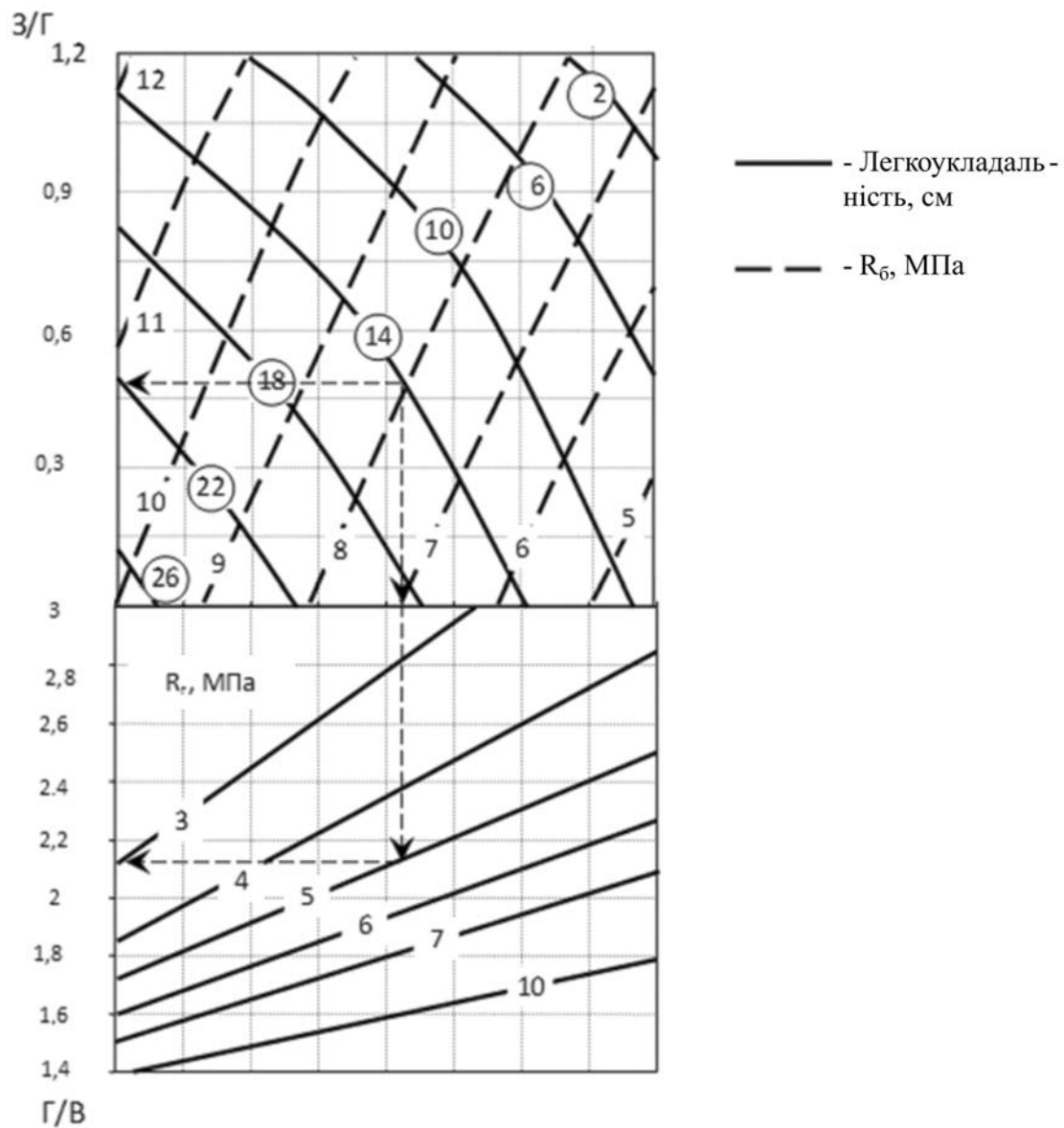


Рисунок 3 - Номограма для визначення параметрів складу гіпсового бетону

Дана номограма (рис. 3) побудована без урахування додаткових чинників (формула (2) коефіцієнти A_1, A_2, \dots, A_n). При використанні додаткових коефіцієнтів і номограми слід змінити заданий значення міцності гіпсобетону ($R_б$) з розрахунку:

$$R_б = pAR_z(\Gamma/B - b) = AA_1A_2 \dots A_n R_z(\Gamma/B - b) \Rightarrow$$

$$\frac{R_б}{A_1A_2 \dots A_n} = AR_z(\Gamma/B - b) \quad (7)$$

При використанні номограми пропонується здійснювати розрахунок складу гіпсобетону на щільних заповнювачах за наступним алгоритмом:

1) За заданими параметрах міцності гіпсобетону при стиску і легкоукладальності суміші, з урахуванням активності, водопотреби в'язучого і з урахуванням додаткових факторів за номограмою (рис. 3) визначаємо значення $\Gamma/B, 3/\Gamma$;

2) Знаходимо витрату гіпсу:

$$G = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_2} + \frac{B}{G} + \frac{(3/G)}{\rho_3}} \quad (8)$$

3). Визначаємо витрату води (B) і заповнювача (3):

$$B = \frac{G}{G/B} \quad (9)$$

$$3 = G \cdot 3/G \quad (10)$$

Приклад: Визначити склад дрібнозернистого гіпсобетону міцністю 5,0 МПа у віці 2 години. Для сповільнення тужавлення використовується лимонна кислота. Гіпсове в'язуче – будівельний гіпс марки Г-5, активність $R_2=5$ МПа, дійсна густина $\rho_2=2,63$ г/см³, заповнювач – пісок кварцевий, $M_{кр}=1,2$; дійсна густина $\rho_3=2,63$ г/см³. Гіпсобетонна суміш – рухлива, діаметр розпливу конуса – 14 см.

При розрахунку прийняти наступні емпіричні коефіцієнти:

A_1 – коефіцієнт урахування впливу сповільнювача ($A_1=0,9\dots0,93$);

A_2 – коефіцієнт переходу від міцності у висушеному стані до 2-х годинної ($A_2=0,65\dots0,68$).

Розрахунок.

З урахуванням коефіцієнтів A_1 і A_2 коректуємо вихідне значення міцності:

$$R'_6 = \frac{R_6}{A_1 A_2} = \frac{5}{0,91 \cdot 0,68} = 8,1 \text{ МПа}$$

За номограмою (рис. 3) визначаємо відношення G/B , $3/G$:

$$G/B=2,15; \quad 3/G=0,48.$$

Знаходимо необхідну кількість гіпсу за формулою (8):

$$G = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_2} + \frac{B}{G} + \frac{(3/G)}{\rho_3}} = \frac{1000}{\frac{1}{2,7} + 0,46 + \frac{0,48}{2,63}} = 982 \text{ кг/м}^3$$

Витрату води і заповнювача визначаємо за формулами (9) та (10), відповідно:

$$B = \frac{G}{G/B} = \frac{982}{2,15} = 457 \text{ л/м}^3;$$

$$3 = G \cdot 3/G = 982 \cdot 0,48 = 472 \text{ кг/м}^3$$

При проектуванні складів гіпсових бетонів також як для бетонів інших видів встановлення остаточних номінальних і робочих складів повинно проводитися при експериментальному проектуванні розрахункових даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. ООО “Стройбетон”, 2006. – 691 с.
2. Ферронская А.В. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004.– 485 с.
3. Брюкнер Х., Дейлер Е. и др. Гипс. Изготовление и применение гипсовых материалов. М.: Стройиздат, 1981.– 210 с.