

УДК 621.798(088.8)

Ю.П. ШОЛОВІЙ, І.В. КУЗЬО\*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації та комплексної механізації машинобудівної промисловості,  
\*кафедра теоретичної механіки

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ БЕТОННОЇ СУМІШІ ЗА АБСОЛЮТНИМИ ОБ’ЄМАМИ

© Шоловій Ю.П., Кузьо І.В., 2009

*Обґрунтовано параметри робочого тиску та об’ємів ємкостей дозатора компонентів бетонної суміші сипких матеріалів, принцип роботи якого ґрунтується на вимірюванні за допомогою повітря абсолютного об’єму одного з компонентів суміші з подальшим автоматичним підбором інших компонентів за пустотністю основного.*

*The parameters of working pressure and volumes of capacities of metering device of components of concrete mixture of friable materials are grounded in the article, principle of work of which is based on measuring by air of one absolute volume of components of mixture with the subsequent automatic gathering additionally of other components after emptiness basic.*

**Вступ.** Стабільна якість бетону забезпечує зниження розрахункових коефіцієнтів запасу міцності конструкцій, а отже, підвищує техніко-економічні показники бетону та залізобетону. Однорідність бетону залежить великою мірою від операції дозування компонентів. Процес дозування пов’язаний як з особливостями періодичного зважування, способом подачі компонентів у вагові ємкості, швидкістю розкриття і закриття впускних і випускних затворів, швидкістю і надійністю взаємодії електропневматичної системи дозаторів, так і з фізико-механічними властивостями компонентів (вологістю, гранульованим складом, насипною щільністю тощо). Аналіз існуючих похибок дозування на заводах товарного та збірного бетону показав, що в 30–50 % випадків ці похибки перевищують нормовані значення залежно від виду матеріалу, що дозується, та конструкцій дозаторів [4]. Підвищення точності дозування сприяє поліпшенню якості бетону або розчину та призводить до економії в’язучих компонентів.

Похибка дозування складових суміші системами автоматичного дозування циклічної і безперервної дії не повинна перевищувати для цементу, води, сухих хімічних добавок, робочого розчину рідких хімічних добавок  $\pm 1\%$ , а для заповнювачів  $\pm 2\%$  [2]. Відповідно до цих вимог сипкі компоненти бетонної суміші дозують за масою (окрім пористих заповнювачів, які дозують за об’ємом з корекцією за масою).

Ці вимоги відповідають сучасним світовим уявленням щодо точності дозування, і всі провідні світові виробники дозаторів для компонентів бетону декларують аналогічні характеристики. Однак забезпечення необхідної точності і надалі залишається нагальною науково-технічною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень.** З метою підвищення якості бетону значну роботу здійснили дослідники в напрямку обліку технологічних факторів під час дозування компонентів бетону, внаслідок результату якої пропонуються різні способи вирішення поставленої проблеми: запропонований спосіб та пристрій для автоматичної корекції складу бетонної суміші при ваговому дозуванні на основі обліку змінних властивостей наповнювачів від замісу до замісу (пустотності, поверхні та вологості); автоматична корекція вмісту піску в бетонній суміші з забезпеченням мінімального споживання води; автоматична корекція складу бетонної суміші за рухливістю суміші і змінної вологи наповнювачів; автоматична корекція дозування матеріалів за допомогою

технологічного режиму ущільнення бетонної суміші з врахуванням її технологічної характеристики тощо. Однак запропоновані способи тільки частково вирішують завдання корекції складу бетонної суміші. Зміна, наприклад, насипної щільності складових суміші зовсім не враховується.

**Постановка проблеми.** Найвні недоліки спонукали до пошуку інших, принципово нових шляхів вирішення проблеми. Тому пропонуємо відмовитись від корекції різними способами вагового дозування з попереднім підбором для нього складових бетонної суміші і перейти до дозування за абсолютними об'ємами. Такий напрям вирішення проблеми буде значно краще відповідати сучасним принципам технології бетону [3]. Дозування наповнювачів за їх фактичною пористістю краще відображатиме функцію наповнення в суміші, ніж параметри гранульованого складу, які використовуються сьогодні. Тому є потреба у створенні такого типу обладнання, яке здійснює дозування за абсолютними об'ємами з необхідністю теоретичного обґрунтування його параметрів.

**Опис методики розрахунку.** Технологія бетону диктує певні вимоги щодо підбору компонентів бетону, які враховують такі положення [3]:

- а) міцність бетону з матеріалів, які відповідають вимогам максимального заповнення пористості наповнювача та достатньому покритті поверхні зерен в'язучим залежить тільки від якості цементного тіста;
- б) довговічність бетону залежить тільки від щільності бетону, яка забезпечується: щільністю цементного каменю, необхідною кількістю цементного тіста і добавок, щільністю вкладання бетонної суміші та відповідним доглядом під час твердіння бетону;
- в) консистенція бетонної суміші залежить тільки від зайвої кількості цементного тіста заданої якості за правильного співвідношенні крупного та дрібного наповнювачів.

З наведених положень технології бетону зрозуміло, що від правильного співвідношення компонентів бетону залежать основні якісні показники бетону (міцність, довговічність і технологічність). Правильне співвідношення компонентів бетону своєю чергою залежить від такої характеристики, як пористість матеріалів. Пористість має особливе значення для наповнювачів бетону (щебінь, гравій, пісок), оскільки вони займають в одиниці об'єму бетону основне місце. Однак в реальних виробничих умовах достатня точність співвідношення компонентів бетону може бути досягнута тільки за умови високого ступеня стабільності процесу дозування. Отже, відзначене символічно можна показати у вигляді

$$V_{\sigma} = V_{он} + V_n + V_u + V_d + V_e = const, \tag{1}$$

де  $V_{\sigma}$  – об'єм абсолютно щільного бетону;  $V_{он}$ ,  $V_n$ ,  $V_u$ ,  $V_d$ ,  $V_e$  – відповідно абсолютні об'єми основного наповнювача, піску, цементу, домішок (наповнювачів) і води.

З умови забезпечення щільності бетону впливає необхідність заповнення пористості попереднього компоненту наступним. Це можна виразити таким співвідношенням:

$$V_{\sigma} = V + Vp_1 + Vp_1p_2 + Vp_1p_2p_3 + Vp_1p_2p_3p_4 + \dots + Vp_1p_2\dots p_n, \tag{2}$$

де  $V$  – геометричний об'єм основного наповнювача;  $p_1, p_2, p_3, p_4$  – відповідно пористість основного наповнювача, піску, цементу і домішок, яка виражається коефіцієнтом  $p = \frac{p(\%)}{100} < 1$ .

Припустимо, що:  $p = 1 - V$  і  $p_1=p_2=p_3=\dots=p_n$ .

Знайдемо  $V_{\sigma}$  як суму ряду  $n$  компонентів за співвідношенням (2).

$$V_{\sigma} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n = V(1 + p + p^2 + \dots + p^{n-1}) = \sum_{n=1}^{\infty} Vp^{n-1} \tag{3}$$

Ряд у дужках являє собою геометричну прогресію зі знаменником  $0 < p < 1$ ; його сума дорівнює  $\frac{1}{1-p}$ , відповідно

$$\sum_{n=1}^{\infty} V_n = 1 \tag{4}$$

Приготування бетонної суміші з мінімальною кількістю цементу обов'язкове не тільки з економічних міркувань, але насамперед з технічних. Надлишкова кількість цементу сприяє усадковим тріщинам, пластичним деформаціям тощо [3]. Зменшенню витрат цементу, сприяє мінімальна пустотність наповнювачів, яка досягається підбором відповідним складом фракцій основного наповнювача та гранульованого складу піску. Тому важливо встановити зв'язок між пустотністю і кількістю компонентів наповнювачів. Для визначення суми компонентів скористаємося залежністю (3). Візьмемо суму членів геометричної прогресії  $p < 1$

$$1 + p + p^2 + \dots + p^n = \frac{1}{1 - p}$$

і продиференціюємо обидві частини рівняння по  $p$ :

$$1 + 2p + \dots + np^{n-1} = \sum_{n=1}^{\infty} np^{n-1} = \frac{1}{(1 - p)^2}$$

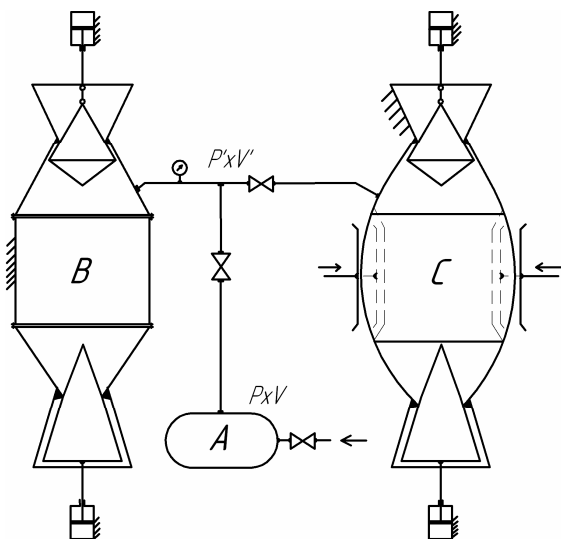
остаточно отримаємо:

$$M_{(n)} = \frac{V_n}{(1 - p)^2} = \frac{1}{(1 - p)^2}, \quad (5)$$

де  $M_{(n)}$  – середня кількість необхідних компонентів (математичне очікування);  $V_n$  – геометричний об'єм основного наповнювача, який відповідно до формули (4) дорівнює одиниці.

Для розв'язку рівняння (5) необхідно встановити величину  $p$ . Теоретично об'єм пустот кожного наповнювача бетону однакової форми і гранульованого складу, наприклад, кульок одного діаметра, залежить тільки від його способу вкладання в одиниці об'єму, тобто від ущільнення і не залежить від величини частинок сипкого матеріалу. За рядкового способу вкладання шарів  $p = 0,48$ , а за шахового –  $p = 0,32$ , в середньому  $p = 0,40$  [3]. Реальні природні та подрібнені наповнювачі мають нестабільну форму, далеку від форми кульок, яка залежить від структури кам'яних порід і способу попередньої переробки. Тому, пустотність їх трохи більша за теоретичну і в середньому становить  $p = 0,45$ .

Отже, наведені залежності (1)–(5) дають змогу встановити раціональну кількість і співвідношення компонентів бетону. Очевидно, що для отримання необхідних якісних показників бетону, необхідно мати точно задану кількість вихідних матеріалів, що відповідають чинним стандартам.



Принципова схема дозатора для двох компонентів бетонної суміші

З цією метою пропонується дозатор, принцип роботи якого ґрунтується на вимірюванні за допомогою повітря абсолютного об'єму одного з компонентів суміші, а далі, плавним автоматичним підбором інших компонентів за пустотністю основного. Дозатор складається з герметичних ємкостей постійного та змінного об'ємів, з'єднаних з ємкістю постійного тиску для повітря та між собою елементами пневмоавтоматики (рисунок).

Принцип роботи цього дозатора ґрунтується на відомих фізичних властивостях повітря (газу), завдяки яким тиск в ємкостях дозатора змінюється залежно від займаного об'єму (закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Дальтона). Тому існує така залежність:

$$PV=P'V', \text{ звідки } P' = \frac{PV}{V'}, \quad (6)$$

де  $P$  і  $V$  – початкові значення тиску і об’єму повітря;  $P'$  і  $V'$  – наступні значення цих величин.

Перетворивши цю формулу, отримаємо

$$V = V_A + V_T; \quad V' = V_B + V_C + V_T + V_A + V'_T$$

де  $V_A$  – початковий об’єм повітря в ємкості А (рисунок);  $V_T, V'_T$  – ємкість ліній зв’язку та елементів пневмоавтоматики відповідно перед ємкістю постійного тиску А і після неї;  $V_B, V_C$  – відповідно, внутрішні об’єми герметичних ємкостей постійної та змінної форми.

Враховуючи усі об’єми, формулу (6) можна записати в такому вигляді :

$$P' = \frac{P(V_A + V_T)}{V_B + V_C + V_T + V'_T + V_A - V_B}. \quad (7)$$

Отриманий таким шляхом тиск  $P'$  відповідає дозувальному тиску робочого середовища  $P_d$ :

$$P_d = \frac{P(V_A + V_T)}{V_C + V_T + V'_T + V_A}. \quad (8)$$

Заповнюючи ємкості  $B$  і  $C$  сипкими матеріалами, а також для отримання необхідного співвідношення між дозуючими компонентами, в формулу (8) необхідно ввести поправкові коефіцієнти, тоді

$$P_d = \frac{P(V_A + V_T)}{\gamma \varepsilon (V_C + V_T + V'_T + V_A)}, \quad (9)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт режиму дозування – це ступінь заповнення пустот основного наповнювача суміші сипким матеріалом меншого гранульованого складу. У разі заповнення 100 % пустот основного наповнювача –  $\gamma=1$ . У разі неповного заміщення пустот сипким матеріалом, наприклад на 5–10 % –  $\gamma=0,91-0,95$ . Під час дозування компонентів крупнопористих та легких бетонів, виникає потреба неповного обволокування піску цементом або щебеня розчином, тоді  $\gamma > 1$ , наприклад, для бетону з 20% порожнистістю  $\gamma = 1,2$  [3];  $\varepsilon$  – коефіцієнт пустотності дозуючого компоненту /дрібного/, який для сипких матеріалів завжди більший від одиниці. Для матеріалу без наявних пустот, наприклад, води  $\varepsilon=1$ . Для піску з пустотністю, наприклад 40%, коефіцієнт  $\varepsilon=1,4$ .

Коефіцієнт режиму дозування  $\gamma$  з формули (1), (2) очевидно, що для заданого режиму дозування, сума компонентів бетону, яка визначається порожнистістю складових, повинна бути постійною величиною. Відповідно дозувальний тиск робочого середовища, розрахований за формулою (8), (9) повинен бути, очевидно, також постійним, тобто  $P_d=const$ .

Отже, отримуємо основну закономірність дозування, яка свідчить, що при постійній величині початкового значення тиску і температури в ємкості з газоподібним середовищем, дозувальний тиск робочого середовища всієї системи дозатора при заданому режимі дозування, є величиною постійною, прямо пропорційною добутку початкового тиску на суму початкових ємкостей і обернено пропорційною сумарному об’єму повітря у всій замкнутій системі.

Символічно ця закономірність виражається так:

$$P_d = \frac{P \sum V_n}{\gamma \varepsilon \sum V_n + V'_T + \sum V_n} = const, \quad (10)$$

де  $P_d$  – дозувальний тиск робочого середовища;  $P = const$  – початковий тиск газоподібного середовища, постійний;  $\sum V_n = const$  – постійний об’єм початкових ємкостей;  $\gamma, \varepsilon$  – відповідно коефіцієнти режиму дозування і порожнистісті матеріалів;  $\sum V_n$  – сумарний, максимально

можливий об'єм порожнин матеріалів, які наповняють дозатор, при  $\varepsilon=1$  і  $\gamma=1$ ;  $V'_T$  – ємкість ліній з'єднань і елементів пневмоавтоматики.

В цій формулі сумарний максимально можливий об'єм пустот матеріалів дорівнює сумі ємкостей всіх змінних посудин дозатора, тобто

$$\sum V_n = V_C + V_{C_1} + V_{C_2} + V_{C_3} + \dots + V_{C_n} = \sum_{n=1}^n V_{C_n}. \quad (11)$$

Пустотність сипких матеріалів є змінною величиною, яка коливається в деяких межах  $\pm \Delta V$ . Тому для двокомпонентного дозатора об'єм ємкості С (рис.1) визначається за об'ємом ємкості В шляхом множення на максимально можливу пустотність сипкого матеріалу, що міститься в цій ємкості, тобто:

$$V_C = V_B P_{B \max} = V_B 2\Delta V \quad (12)$$

Для багатокомпонентного дозатора об'єм n-ї посудини змінної ємкості відповідно буде:

$$V_{C_n} = V_B P_{\max}^{n-1}, \quad (13)$$

де  $n$  – кількість складових компонентів суміші, які одночасно дозуються;  $P_{\max}$  – максимально можливий коефіцієнт пустотності сипких матеріалів, який може бути прийнятий у разі їх нерегулярної форми  $P_{\max} = 0,6$ .

Фактична пустотність сипких матеріалів, які підлягають дозуванню, очевидно, завжди буде меншою від максимально можливої, тобто суцільної маси компонента суміші в посудинах дозатора буде більше. Відповідно фактичний тиск газу буде більший від розрахункового, який визначається за формулою (9):  $P_d < P_{\text{факт}}$ .

Змінюючи ємкість посудини С (рис. 1) стисканням еластичного корпусу, або навпаки, тиск газоподібного середовища змінюватиметься до заданої розрахункової величини  $P_d$ . Отже, відбудеться процес дозування сипкого матеріалу меншого гранульованого складу за пустотністю основного. Відкриваючи за допомогою пневмоциліндрів вихідні отвори ємкостей В та С, вміст дозатора видаляється під дією сили тяжіння.

**Висновки.** Отримані теоретично залежності для визначення параметрів дозатора ґрунтуються на прямому ізотермічному процесі розширення газів. Як відомо, в загальному випадку дійсні термодинамічні процеси є політропними. Однак за деяких умов під час теплообміну, температура повітряного середовища прямує до температури навколишнього середовища і істотних змін температури дозатора не відбувається. Тому з достатньою для практики точністю політропний процес можна розглядати як ізотермічний.

Такий дозатор придатний для роботи в промислових умовах і може бути використаний у будь-якій галузі промисловості, де готують бетонні суміші різноманітного призначення. Використання дозатора дозволить підвищити точність підбору складових компонентів бетонної суміші, що істотно підвищить якість бетону.

1. Бетони важкі. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-43-96. – [Чинний від 1997-01-01]. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 17 с.
2. Суміші бетонні. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-96-2000 (ГОСТ 7473-94). – [Чинний від 2000-07-01]. – К.: Держкоммістобудування України, 2000. – 20 с.
3. Евдокимов Н.И. Технология монолитного бетона и железобетона / Н.И. Евдокимов. – М.: Стройиздат, 1980. – 467 с.
4. А. Черниговский. Современное состояние и перспективы систем автоматизации бетонных заводов / А. Черниговский // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 4.