

ГРАНИЦЫ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ БЕТОНА

Гордеев Е.В.

ООО «ПКФ», starshiy@real-beton.com

Производство бетонной смеси – создание однородной дисперсной системы, в которой твердые сырьевые компоненты – цемент и заполнители распределены в жидкой среде – водном растворе химических добавок. Массовые расходы цемента C , заполнителей Z и раствора B определяются в соответствии с заданием в виде объема V , вязкости f смеси и прочности бетона R . Связь целевого вектора (V, R, f) с вектором (C, Z, B) не однозначна. Она зависит от возмущающих факторов, важнейшими из которых являются нестационарные параметры твердой фазы, в частности, активности и водопотребности цемента, гранулометрического состава и удельной поверхности заполнителей даже для относительно постоянного сырья. Поэтому без замкнутого автоматического управления невозможно обеспечить приемлемую вариацию значения целевого вектора.

Для моделирования объекта применяется следующее описание:

$$R = F_R(CB^{-1})$$

$$V = C / \rho_c + Z / \rho_z + B + V_e$$

$$f = F_f(BC^{-1}, ZV^{-1})$$

где F_R, F_f – нелинейные функции, ρ_c – плотность цемента, ρ_z – плотность заполнителя, V_e – относительный объем воздуха в смеси. В известных прикладных моделях приняты допущения, что F_R – кусочно – постоянная функция цемента – водного отношения (правило Болемея):

$$R = aCB^{-1} \pm c$$

количество воды постоянно для заданной вязкости (правило постоянства водопотребности):

$$f = dBV^{-1} + g$$

где a, c, d, g – постоянные коэффициенты, объем воздуха постоянен для заданного объема бетона [1]. Границы применимости допущений не установлены, что в ряде случаев является причиной неадекватности модели. В частности, в [2] показана потеря корректности правила постоянства водопотребности при изменении фазового состояния системы.

Поскольку способа определения в реальном времени целевых параметров R, V не известно, известные автоматические системы в качестве измеряемого параметра используют вязкость смеси f . Управляющим воздействием служит коррекция массы раствора B :

$$\Delta B = Fc(\Delta f)$$

где Δf – отклонение вязкости от заданной, ΔB – корректирующее значение управляющего параметра, Fc – оператор управления. Нестационарность коэффициентов a, c, d, g при расчете Fc игнорируется. Результатом является отсутствие работоспособных систем, в которых участие оператора в «подстройке» параметра B на основе визуального контроля исключалось бы полностью. Коэффициент вариации бетонов по прочности в 13,5% считается нормальным показателем.

Бетонная смесь представляет собой трехфазную высоконаполненную дисперсную систему. Твердая фаза распределена в воздушно – водной дисперсной среде. В таких системах, по мере увеличения относительной доли жидкой фазы, смесь последовательно меняет поведение от поведения сухого порошка к поведению жидкости. В области сухого порошка и в области жидкости смесь седиментационно неустойчива. Изотропность смеси обеспечивается только в пограничном состоянии.

В свою очередь, твердая фаза дисперсной системы состоит из веществ разного гранулометрического состава. Цемент, как основа вяжущего компонента композита, может быть как мельче заполнителя, так и крупнее:

$$z = \sum_{i=1}^n z_i + \sum_{j=1}^k z_j$$

где индексу i соответствуют компоненты заполнителя со средним размером мельче среднего размера цемента, j – крупнее, n и k – количество компонентов. Чтобы частицы цемента могли контактировать между собой при кристаллообразовании, должно выполняться условие:

$$z > m_n p'_u$$

где m_n – пустотность смеси компонентов заполнителя средним размером меньше среднего размера цемента, p'_u – удельный насыпной вес цемента.

Однородная по объему дисперсия существует только при выполнении условий:

$$V_i > m_{i+1}; i \in \{1; n-1\}$$

$$V_j > m_{j+1}; j \in \{1; k-1\}$$

где V_i – насыпной объем смеси компонентов заполнителя от 1 до i , m_i – пустотность i -го компонента заполнителя.

При одновременном выполнении условий изотропности для заданного (z, z) существует единственное значение B , обеспечивающее максимум прочности.

Таким образом, управляющее воздействие должно откликаться на отклонение смеси от изотропного состояния.

Экспериментально установлено, что при значении B , соответствующем изотропии смеси зависимость электрической проводимости смеси имеет максимум. Таким образом, возможно создать управление, основанное на двумерном операторе:

$$(\Delta B, \Delta z) = Fc(\Delta J, \Delta f)$$

где Δz - корректирующее воздействие второго управляющего параметра, ΔJ - отклонение проводимости смеси от максимального значения.

В настоящее время система замкнутого управления, основанная на двумерном управлении, проходит промышленную апробацию на бетоно – смесительном узле ЗАО «Промтехмонтаж – ЖБИ», г. Ярославль. Техническое и программное обеспечение системы управления разработано к.т.н. О.Ю. Марьясиным при участии студента ЯГТУ М.А. Леухина.

Литература

1. Руководство по подбору составов тяжелого бетона//НИИЖБ. М.:Стройиздат, 1979.
2. Гордеев Е.В., Захарычев А.Л. Водопотребность бетонной смеси//Технологии бетонов, 2011, №5-6, с 16 – 17.