

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ ДЛЯ АСУ ТП СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

Е. В. Филипенко

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. М. Карпенко

Цель данного исследования – установить количественную зависимость между реологическими параметрами формовочной смеси и её компонентным составом для разработки модели песчано-глинистой формовочной смеси.

Задачи исследования состоят в следующем:

- 1) установить количественную зависимость между компонентным составом формовочной смеси и её деформацией, прочностью на срез;
- 2) разработать математическую модель песчано-глинистой формовочной смеси;
- 3) построить номограммы для управления процессом смесеприготовления на основе методов реологии;
- 4) создать алгоритм программы реализации полученной модели.

**Оборудование и инструмент.** В процессе проведения исследования для приготовления смеси применялся лабораторный смеситель (модель LM-2), весы лабораторные (модель ВЛК-500т-м ГОСТ 24104–88), уплотнение образцов из песчано-глинистой смеси для испытаний проводится тремя ударами копра лабораторного (модель L4). Анализ влажности проводили высушиванием проб до постоянного веса и последующим взвешиванием на электрических весах. Содержание активного бентонита в смеси оценивали по поглощению метиленового голубого красителя. Измерение образцов на сжатие и срез производилось на приборе для измерения прочности (модель 04116А).

В экспериментах использовалась смесь, близкая по составу к единой смеси, применяемой на РУП «Гомельский завод литья и нормалей». Такая смесь содержит 93,38–90 % отработанной смеси; 6,1–7,8 % кварцевого песка; 0,33–1,33 % глины бентонитовой; 0,047–0,12% связующего КО; 0,01–0,026 % крахмалита; 0,13–0,67 % угля каменного молотого; воду техническую. Влажность готовой смеси 3,3–3,6 %, содержание активного бентонита 6–11 %.

Для создания автоматизированной системы управления смесеприготовлением необходимо знать количественную зависимость между реологическими параметрами формовочной смеси и её компонентным составом. В качестве варьирующих компонентов могут выступать: свежий песок, связующее, а также различные добавки.

Было принято решение в опытах изменять содержание влаги и бентонита, т. к. влияние этих факторов на свойства смеси по априорным данным определяющее и представляет собой особый интерес. Бентонит увеличивает прочность по сырому, индекс формуемости, текучесть по Орлову, насыпной вес в гильзе, мгновенный модуль упругости, вязкопластические свойства. При увеличении содержания бентонита в смеси, осыпаемость, уплотняемость и газопроницаемость уменьшаются. Вода является определяющим компонентом смеси, который в очень значительной мере, можно сказать определяющим образом, влияет на свойства смеси. Содержание бентонита изменялось от 6 до 12 %, а влажность – от 3 до 6 %.

**План эксперимента.** Первоначально нами использовался дробный факторный план  $2^2$  для того, чтобы определить адекватность модели первого порядка, описывающей зависимость между долями компонентов смеси и её реологическими свойствами. В этой модели оба фактора комбинировались между собой на верхних и нижних значениях (всего имеется 4 комбинации).

Проведённое исследование показало, что модель первого порядка является адекватной только для некоторой узкой области значений факторов и неадекватной для всех значений факторов. То есть зависимость между факторами и откликом является нелинейной. Поэтому нами в дальнейшем использовался центральный композиционный рототабельный план, в котором дисперсия отклика является постоянной во всех точках, одинаково удалённых от центра плана, а также модели первого и второго порядка.

План эксперимента (2/1/10) представлен в нижеприведенной таблице.

Номер опыта	Порядок реализации опытов	Содержание бентонита Б	Влажность смеси W	Деформация $\epsilon$ , мм	Прочность на срез $\tau$ , кг/см <sup>2</sup>
1	3	0,110000	0,033000	5,5	1,102
2	7	0,090000	0,029479	9,2	0,958
3	9 (С)	0,090000	0,041500	16,3	0,993
4	4	0,110000	0,050000	15,6	1,152
5	8	0,090000	0,053521	23,4	1,020
6	2	0,070000	0,050000	26,5	0,860
7	10 (С)	0,090000	0,041500	15,7	0,991
8	6	0,118284	0,041500	8,9	1,177
9	5	0,061716	0,041500	23,9	0,781
10	1	0,070000	0,033000	16,4	0,823

Анализ экспериментальных данных проводился с помощью программы STATISTICA.

Прежде всего для свойств оценивалась адекватность модели второго порядка. При анализе деформации получили, что статистически значимые эффекты имеют два линейных члена  $B(L)$  и  $W(L)$ . Таким образом, у нас имеется линейная зависимость между свойством и компонентами. Анализ линейной модели показал, что данная модель представляется адекватной для описания отклика. Для прочности на срез статистически значимые эффекты дают как линейные, так и квадратичные члены. Так как такая зависимость является сложной для описания, для данного диапазона значений можно рассмотреть линейную модель. Оценка данной модели показала, что она является адекватной.

Далее были найдены регрессионные коэффициенты и получены зависимости  $\epsilon = f(B, W)$  и  $\tau = f(B, W)$ . Для визуализации зависимостей построены графики поверхностей отклика.

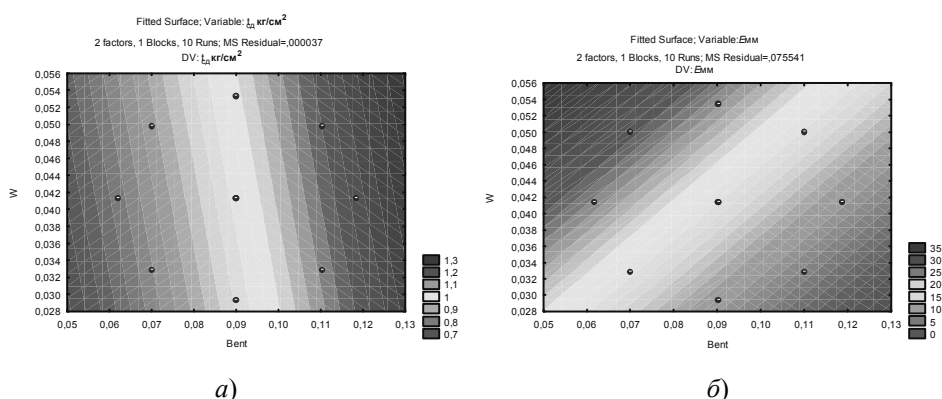


Рис. 1. Зависимость деформации сжатия от влажности и содержания бентонита (а); зависимость предела прочности на срез от влажности и содержания бентонита (б)

Математическая модель – это совокупность математических объектов и отношений между ними, адекватно отображающая физические свойства создаваемого технического объекта.

Таким образом, для исследуемой смеси математическая модель имеет вид:

- 1) при сжатии  $\varepsilon = 592,380W - 268,833B + 15,751$ ;
- 2) при срезе  $\tau = 2,569W + 7,069B + 0,243$ .

Полученная математическая модель показывает связь реологических параметров с основными компонентами состава формовочной смеси: содержание бентонита в формовочной смеси оказывает в 2 раза меньшее влияние на ее деформационные характеристики, чем влажность; содержание бентонита в формовочной смеси оказывает в 3 раза большее влияние на ее прочностные характеристики, чем влажность.

На основе математической модели для современных смесеприготовительных систем, использующих ЭВМ, разработана программа для АСУ ТП смесеприготовления. Программа создана в системе программирования Delphi (рис. 2). Она по известным свойствам смеси ( $\tau$ ,  $\varepsilon$ ) и массе выдает процентное содержание бентонита в смеси и ее влажность. В соответствии с требуемыми свойствами смеси выдаются рекомендации для корректировки состава.

Требуемые свойства смеси

Введите массу смеси	2000 кг		
Введите прочность	0.78 кг/см <sup>2</sup>	Прочность, кг/см <sup>2</sup>	минимальная 0.751    максимальная 1.113
Введите деформацию	16 мм	Влажность, %	3.3    3.6

[ Расчет ]

Характеристика свойств смеси

Влажность смеси, %	2.6423
Содержание бентонита, %	5.76230805

Корректировка состава

Добавить	25.5132882387 л воды
Добавить	77.6782678260 кг бентонита
Добавить	0 кг песка

Рис. 2. Окно программы Delphi

## ***112*    Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов**

---

Использование данной программы в совокупности с установкой непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочных смесей позволит корректировать состав смеси в процессе смесеприготовления для обеспечения требуемых свойств.

Таким образом, концепция создания АСУ ТП смесеприготовления сводится к следующему:

- 1) от смесеприготовительного агрегата отбираются пробы. При помощи установки производится испытание смеси;
- 2) сигналы от установки передаются в устройство управления, где полученные данные сравниваются с заданными. При рассогласовании свойств смеси устройство управления передает сигнал дозаторам компонентов смеси.