УДК: 666.972

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

Цой В.М., *к.т.н., доцент (ТашИИТ)*

Эффективность научных исследований в целом и, в частности, в области исследования свойств бетона, помимо прочих равных факторов, зависит от максимального сокращения сроков перехода от лабораторных исследований к промышленной реализации. Здесь решающую роль играют методы математического моделирования, позволяющие оптимизировать этапы и процесс исследований в целом.

Система автоматизированного на базе ПЭВМ математического моделирования включает в себя следующие элементы: экспериментальное оборудование, измерительное оборудование, методику планирования, проведение и обработки результатов эксперимента. Реализация автоматизированного эксперимента предполагает выполнение исследователем следующих этапов:

- *введение исходной информации для программной реализации эксперимента;*
- *введение априорных данных для выполнения этапов экспериментирования;*
- *внесение корректив в ходе выполнения экспериментирования;*
- *контроль правильности вычислительного процесса;*
- *контроль достоверности получаемой количественной информации.*

Окончательное выражение математической модели зависит от ее целевого назначения, свойств объектов, задаваемых своими параметрами, от количества и качества имеющейся информации. Полный объем информации об исследуемом процессе позволяет составить детерминированную, либо, статистическую математическую модель процесса. Детерминированная модель основывается на построении строгих уравнений, как правило, системы дифференциальных уравнений со своими краевыми условиями, описывающей исследуемый процесс. Статистическая модель строится на основании теории вероятности и математической статистики. При построении математической модели исследуемого технологического процесса, в частности, свойств бетона, как в детерминированном, так и в статистическом подходе, необходимо учитывать гидродинамические режимы компонент системы, скорости химических реакций, диффузии, теплопередачи и т.д., материальный и тепловой балансы, фазовые превращения.

На рис. 1 приведена общая схема входных измеряемых и регулируемых параметров процесса (факторов) $X_1, X_2, \ldots, X_k$ данных модели и ее выходных параметров $Y_1, Y_2, \ldots, Y_k$. Параметры $W_1, W_2, \ldots, W_i$ – неконтролируемые, случайным образом изменяющиеся параметры или «шум», т.е. параметры, которые по тем или иным причинам невозможно (или достаточно трудно) учесть, например, падение активности катализатора, изменение состояния поверхности теплообменной аппаратуры, случайные колебания наружной температуры воздуха и т.п.

Математической моделью процесса является функция отклика – выходной параметр, характеризующий результаты эксперимента, связанные с варьируемыми входными параметрами $X_1, X_2, \ldots, X_k$:

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_k) \qquad (1)$$

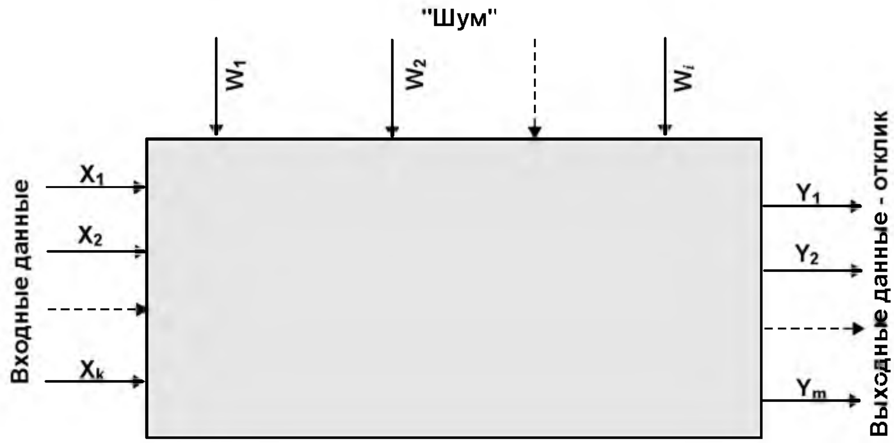


Рис.1. Схема параметров процесса

Конечный результат сложных технологических процессов, к которым, несомненно, относится изготовление бетона, в силу ряда причин, есть величина случайная. Здесь понятие «случайность», безусловно, надо понимать в определенном контексте. Так, в одних случаях случайность предопределяется самой физической сущностью явлений, например, процессы происходят на молекулярном или атомном уровнях, а измеряются макроскопическими приборами. В силу неопределенности Гейзенберга [1] два канонически сопряженных параметра (например, координата и энергия) невозможно измерить с одинаковой точностью. Поэтому значение одного из них, по сути, является случайной величиной. Кроме того, из-за наличия «шума» строго детерминированных процессов не существует, так что в результате повторных измерений в реальных экспериментах получаются отличные друг от друга значения измеряемых факторов и отклика.

В силу выше сказанного представленный программный комплекс математического планирования эксперимента основывается на построении статистической модели эксперимента. При использовании статистических методов [2] математическая модель статики процесса представляется в виде полинома, т.е. отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная функция (1):

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j X_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^{k} \beta_{uj} X_j + \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} X_j^2 + \cdots, \tag{2}$$

где неизвестные коэффициенты β_n (n=0,1, …) определяются выражениями:

$$\beta_0 = f(0);\ \beta_j = \frac{\partial f(0)}{\partial X_j};\ \beta_{uj} = \frac{\partial^2 f(0)}{\partial X_u \partial X_j};\ \beta_{jj} = \frac{\partial^2 f(0)}{2\partial X_j^2} \cdots \ ..$$

Полиномиальной (теоретической) модели (2) соответствуют выборочные коэффициенты регрессии b_0, b_j, b_{uj}, b_{jj}. Выборочные коэффициенты регрессии вычисляются на основание метода наименьших квадратов по экспериментальным данным -по заданной выборки измеренных факторов X_k и отклика Y_m. Выборочное уравнение регрессии, соответствующее теоретическому уравнению (2) запишем в аналогичном виде:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^{k} b_j x_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^{k} b_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^{k} b_{jj} x_j^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j \neq u}}^{k} b_{iuj} x_i x_j x_u + \cdots, \quad (3)$$

где $\hat{y}$ регрессионное значение отклика по заданной выборке, x_k – измеренные факторы, $b_0 = \overline{y}$ среднее по выборке, b_j – линейные коэффициенты, j = 1, 2, …, k, b_{jj} -квадратичные tкоэффициенты, b_{uj} -коэффициенты парного взаимодействия, b_{uji} _коэффициенты тройного взаимодействия и т.д.

Собственно теория планирования эксперимента – это оптимальное управление экспериментом в условиях неполной информации о механизме процесса. Эта неполнота информации в определенном смысле вынуждает исследовать процесс методом исключения незначимых регрессионных коэффициентов взаимодействия из полного числа сочетаний при заданном количестве факторов. В рамках теории математического планирования эксперимента при полном факторном эксперименте, требующего полную комбинаторику сочетаний коэффициентов регрессии, с вычислительной точки зрения необходима оптимизация алгоритма построения комбинаторики сочетаний из заданного количества факторов. [3]

В представляемом программном комплексе реализован полный факторный эксперимент, непременно включающий полную комбинаторику числа сочетаний коэффициентов регрессии при заданных факторах.

На рис. 2 представлен график исследуемой функции для тестового примера

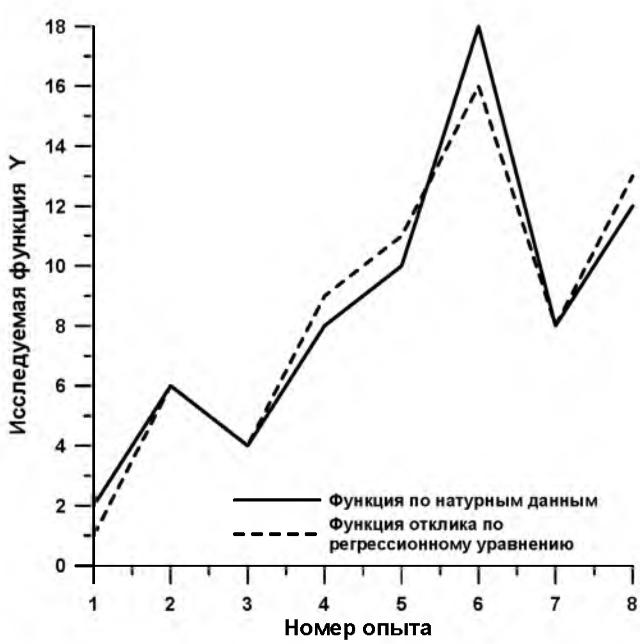
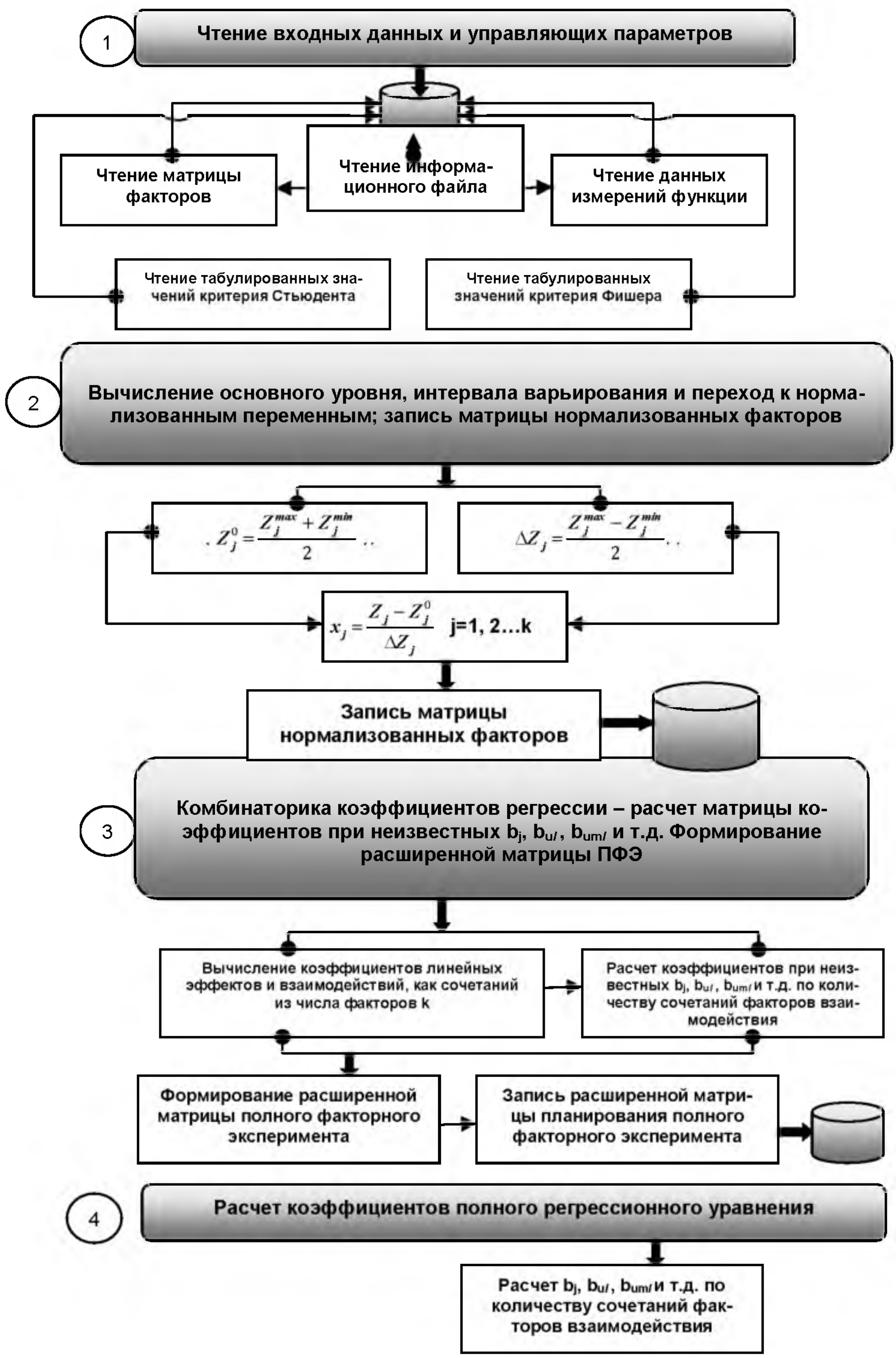
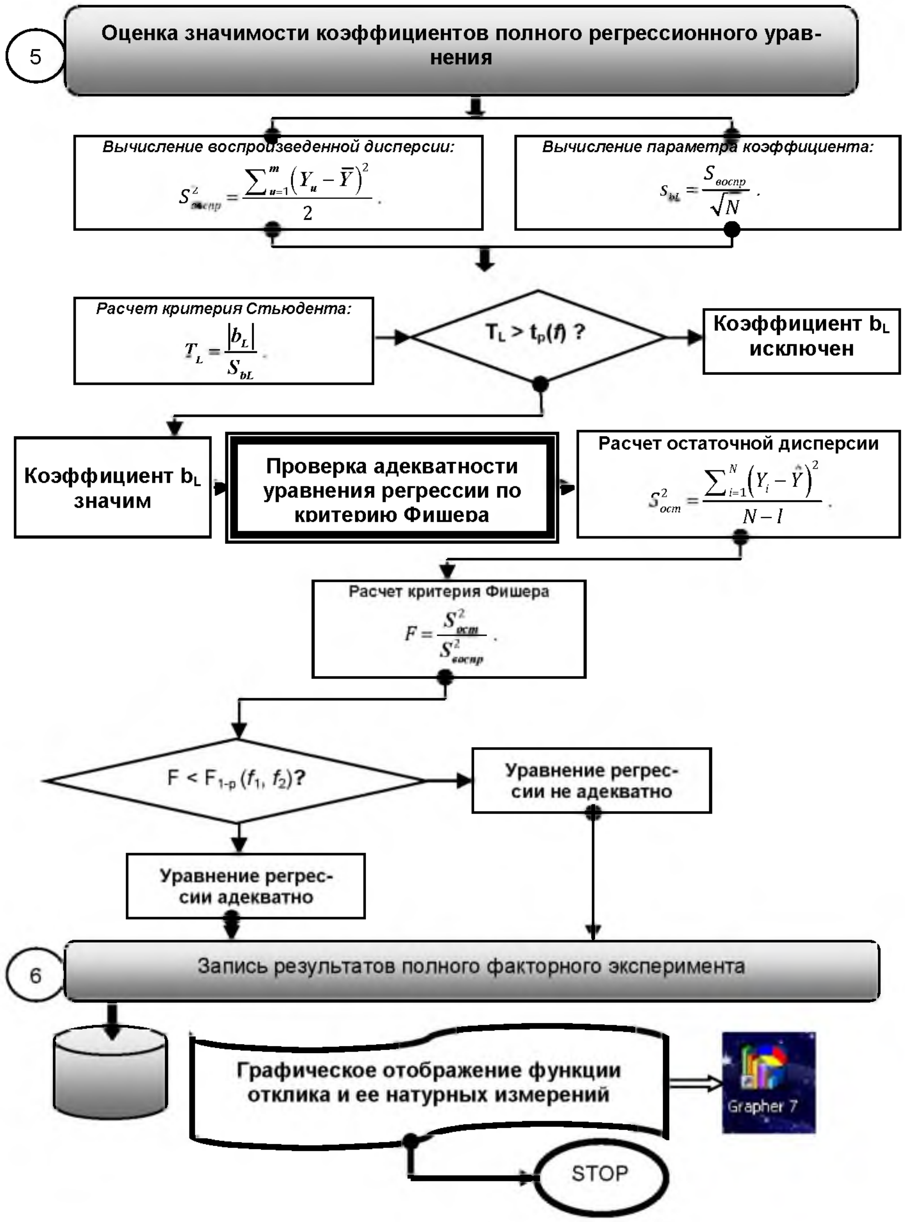


Рис. 2. Графическая иллюстрация исследуемой функции

Блок – схема программы полного факторного эксперимента





Литература

1. Морс Ф. М., Фешбах Г.Ф. Методы теоретической физики. – М.: ИЛ, 1958. – 923с.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М. Наука, 1971. – 576с.
3. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. – М: Мир, 1981. – 507с.