

УДК 539.3

## ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МРАМОРА

*К.А. Герман*

Рассматривается регрессионная модель влияния параметров электрических импульсов на деформационные свойства мрамора. Делаются первоначальные выводы о зависимости напряженно-деформированного состояния образца от воздействия электрического поля.

*Ключевые слова:* метод Бокса – Уилсона; разрушение мрамора; деформация.

---

## CREATION OF THE REGRESSION MODEL CONSIDERING INFLUENCE OF PARAMETERS OF ELECTRIC FIELD ON DEFORMATION PROPERTIES OF MARBLE

*K.A. Herman*

It is considered the regression model of influence of parameters of electric impulses on deformation properties of marble. It is drawn initial conclusions about dependence of the intense deformed condition of a sample on influence of electric field.

*Keywords:* Boxing-Wilson method; marble destruction; deformation.

Мрамор является карбонатной породой, которая в большинстве случаев кристаллизуется в тригональную и ромбическую систему решеток. Электрическое поле непосредственно воздействует на кристаллическую решетку минералов, существенно изменяя их свойства. Поэтому внешнее электрическое поле способно переориентировать дефекты, либо сдвинуть их в определенном направлении.

Электрические и магнитные поля воздействуют на горные породы непосредственно за счет смещения, электрического и магнитного ориентирования (поляризация и намагничивание), возбуждения электронов и ионов и т. д. или косвенно – через тепловое поле, в которое трансформируется электрическая энергия в породах.

В связи с этим выделяют три группы явлений: нагрев пород, непосредственное изменение их свойств под воздействием поля и пробой пород.

*Изменение прочности пород.* Электромагнитное поле не только является источником тепла в горной породе, но и непосредственно воздействует на кристаллическую решетку минералов, существенно изменяя их свойства. Это связано с тем, что дислокации, различные дефекты, имеющиеся в породе как правило, обладают некоторым электрическим зарядом. Поэтому внешнее электромаг-

нитное поле способно переориентировать дислокацию или сдвинуть её в определенном направлении. Это способствует деформации пород.

Для проведения эксперимента был использован *метод Бокса – Уилсона или метод крутого восхождения*. Этот метод позволяет получать статические математические модели процессов, используя факторное планирование, регрессионный анализ и движение по градиенту.

Электрическое поле характеризуется плотностью тока, частотой, формой. Прочность горных пород в значительной степени определяется составом минералов, структурой и количеством воды. Представляет интерес установление связи между прочностью горных пород и между компонентами электрического поля.

При решении задачи используются математические модели объекта исследования. Под математической моделью понимается уравнение, связывающее параметр оптимизации с влияющими факторами  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Это уравнение в общем виде можно записать так:  $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $F$  – *функция отклика*.

Каждый фактор может принимать в опыте одно из нескольких значений. Такие значения называются уровнями. Может оказаться, что фактор

способен принимать бесконечно много значений (непрерывный ряд). Однако на практике точность, с которой устанавливается некоторое значение, не беспредельна. Поэтому можно предположить, что всякий фактор имеет определенное число дискретных уровней. В ходе планирования эксперимента выбиралось среднее значение фактора и для проведения использовались крайние уровни ( $\pm\Delta x$ ).

Электрический ток характеризуется: амплитудой (напряжением тока), силой, плотностью тока, частотой колебаний, скважностью.

Были приняты следующие факторы: напряжение, частота и скважность.

Первой серии опытов предшествовал этап неформализованных решений, направленных на выбор локальной области факторного пространства. При этом оценивались границы областей определения факторов, задаваемые либо принципиальными ограничениями, либо конкретными условиями проведения процесса. Установление области связано с тщательным анализом априорной информации об изменении параметра оптимизации и о кривизне поверхности отклика.

Первоначально, пока неизвестно влияние (числовое значение), выберем функцию отклика в виде полинома первой степени.

$$F(x_1, x_2, x_3) = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_4 x_1 x_2 + B_5 x_1 x_3 + B_6 x_2 x_3 \quad B_i (i = 0-7).$$

Здесь  $x_1$  – напряжение тока;  $x_2$  – частота импульсов;  $x_3$  – скважность.

Для этого составляются кодированные таблицы для вычисления коэффициентов регрессии. Методика и таблицы приведены в [1, 2].

Полное число всех возможных эффектов, включая  $B_0$ , линейные эффекты и взаимодействия всех порядков, равно числу опытов полного факторного эксперимента. Чтобы найти число возможных взаимодействий некоторого порядка, можно воспользоваться обычной формулой числа сочетаний, где  $k$  – число факторов;  $m$  – число элементов во взаимодействии.

Эффект взаимодействия двух факторов называется эффектом взаимодействия первого порядка. Вообще эффект взаимодействия максимального порядка в полном факторном эксперименте имеет порядок, на единицу меньший числа факторов.

Поясним физический смысл эффекта взаимодействия следующим примером. Пусть на процесс влияют два фактора: напряжение тока и скважность. Предположим, что напряжение тока связано с количеством закаченной энергии в образец, скважность влияет на переходные процессы в материале. Совмещение влияния этих факторов есть проявление эффекта взаимодействия.

Подставляя найденные коэффициенты в функцию отклика, получим:

$$F(x) = 0,508423 + 0,102791x_1 + 0,131434x_2 - 0,1293x_3 + 0,13305x_1x_2 - 0,11733x_1x_3 - 0,1219x_2x_3.$$

Адекватная линейная модель, которой мы теперь располагаем, имеет вид полинома первой степени. Коэффициенты полинома являются частными производными функции отклика по соответствующим переменным. Их геометрический смысл – тангенсы углов наклона гиперплоскости к соответствующей оси. Большой по абсолютной величине коэффициент соответствует большему углу наклона и, следовательно, более существенному изменению параметра оптимизации при изменении данного фактора.

Теоретические представления имеют обычно общий характер. Кроме того, априорная информация часто основывается на однофакторных зависимостях. При переходе к многофакторному пространству ситуация может изменяться. Поэтому мы должны быть уверены, что эксперимент проведен корректно. Достоверность полученных данных проверяется с помощью статистических гипотез, что было сделано в работе [2].

Тогда для преодоления противоречия можно выдвигать различные модели и проверять их экспериментально. Если, например, ожидается, что с ростом влияющего фактора должно происходить увеличение исследуемого параметра, а коэффициент регрессии имеет знак минус, то возникает противоречие. Возможны две причины возникновения такой ситуации: либо в эксперименте допущена ошибка, и он должен быть подвергнут ревизии, либо неверны априорные представления. Нужно иметь в виду, что эксперимент проводится в локальной области факторного пространства и коэффициент отражает влияние фактора только в этой области. Заранее не известно, в какой мере можно распространить результат на другие области.

Задача интерпретации решается в несколько этапов.

Первый этап состоит в следующем. Устанавливается, в какой мере каждый из факторов влияет на параметр оптимизации. Величина коэффициента регрессии – количественная мера этого влияния. Чем больше коэффициент, тем сильнее влияет фактор. О характере влияния факторов говорят знаки коэффициентов. Знак плюс свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина параметра оптимизации, а при знаке минус – убывает.

Расположим совокупность факторов в ряд по силе их влияния на параметр оптимизации. В первом приближении рассмотрим влияние частоты

импульсов и скважности. Данные факторы явно не связаны между собой. Абсолютные величины примерно равны между собой и составляют соответственно 0,131 – частота и 0,129 – скважность. Интерпретируя данные коэффициенты можно высказать следующие предположения: частота воздействия влияет на историю развития дефектов (дислокации, микротрещины, а также заполнения дефектов Шотки), а изменение скважности влияет на величину усилий, приводящих к раскрытию и залеживанию указанных выше дефектов.

Интересно рассмотрение комбинации факторов частоты импульсов и скважности в крайних случаях: постоянный ток и отсутствие воздействия электрическим током. Согласно таблицам 1 и 2 в работах [1, 2], нагружение в крайнем положении (напряжение 50 V, частота  $20 \cdot 10^3$  Гц, скважность 2) приводит к увеличению исследуемого параметра модуля Юнга. Это может быть связано с ошибкой измерений или в данном режиме проявляются переходные процессы (для этого требуются дополнительные исследования).

Изменение интервалов варьирования приводит к изменению коэффициентов регрессии. Абсо-

лютные величины коэффициентов регрессии увеличиваются с увеличением интервалов. Инвариантными к изменению интервалов остаются знаки линейных коэффициентов регрессий. Однако и они изменятся на обратные, если при движении по градиенту “проскочим” экстремум. Интерпретация знаков зависит от того, ищем ли мы максимум или минимум функции отклика.

Следующий этап интерпретации сводится к проверке гипотез о механизме явлений и выдвигению новых гипотез. Получение информации о механизме явлений не является основной задачей, но возможность такого рода следует использовать.

#### *Литература*

1. Герман К.А. Применение метода Бокса – Уилсона для изучения влияния электрического поля на деформационные свойства мрамора. Ч. 1 / К.А. Герман // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 3. С. 108–110.
2. Герман К.А. Применение метода Бокса – Уилсона для изучения влияния электрического поля на деформационные свойства мрамора. Ч. 2 / К.А. Герман // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 3. С. 111–115.