

**АЛГОРИТМИЧЕСКИ-ПРОГРАММНОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА  
КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ГРАДУИРОВОЧНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ**

*П.В.Гайский*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

*Рассматривается автоматизация процесса расчета коэффициентов градуировочных характеристик измерительных каналов с использованием регрессионного анализа характеристик по методу наименьших квадратов. Приводятся описание и результаты использования на реальных данных созданного специализированного диалогового программного обеспечения, реализующего полиномиальную, степенную, экспоненциальную, логарифмическую, показательную и гиперболическую регрессии с выводом данных в численно-графическом виде и возможностью ручной подстройки коэффициентов.*

Информационной выходной характеристикой любого измерительного канала является, первоначально, аналоговая величина, выраженная в уровне напряжения, частоте, сопротивлении и т.п. Эта величина при поступлении в устройства регистрации, отображения и обработки данных (например, ПЭВМ) принимает цифровое значение с заданной разрядностью и диапазоном изменчивости. Конечного потребителя интересует значение той или иной физической величины в стандартной системе единиц, поэтому на первоначальном этапе при разработке, а в дальнейшем – при эксплуатации прибора для любого используемого измерительного канала должны рассчитываться и при необходимости корректироваться градуировочные коэффициенты, позволяющие с наименьшей или допустимой погрешностью определить аналитическое соотношение этих кодовых значений и соответствующих выходных физических значений измеряемой величины. Нахождение такого оптимального аналитического соотношения является одной из основных задач метрологической аттестации и поверки прибора, которые в последнее время чаще всего решаются с помощью ПЭВМ. Возникает необходимость

создания специализированной программы позволяющей быстро определить регрессионные (градуировочные) коэффициенты и сформировать результаты. В большинстве случаев – это коэффициенты степенного полинома до третьего-четвертого порядка, но возможно применение другой более подходящей аналитической функции, в особенности, если расчет физических величин проводится еще на аппаратном уровне с помощью программируемого микроконтроллера (без внешней ПЭВМ). Кроме того, корректировка коэффициентов вручную в диалоге, иногда позволяет получить лучшие результаты по сравнению с автоматическим расчетом запрограммированного метода.

Для решения задачи определения коэффициентов градуировочных характеристик измерительных каналов на языке PASCAL в среде BORLAND DELPHI 6 было создано алгоритмически-программное обеспечение – пакет INTERP, который является частью программной системы для любого измерителя, создаваемого отделом автоматизации МГИ НАНУ.

Основными функциями данной программы являются:

- ввод исходных точек градуировки, каждая из которых представляется соотношением: код измерительного канала – значение физического параметра;
- осуществление регрессионного анализа заданной последовательности по методу наименьших квадратов любым из методов по выбору (полиномиальная, степенная, экспоненциальная, логарифмическая, показательная и гиперболическая);
- графический вывод дискретных исходных точек и визуально непрерывного графика проведенного регрессионного анализа на заданном диапазоне значений;
- вывод графика погрешностей между исходными и расчетными по регрессии значениями в точках градуировки;
- возможность ручной коррекции или ввода других градуировочных коэффициентов;
- расчет дисперсии и среднеквадратического отклонения проведенной градуировки;
- вывод численных исходных данных и результатов в отдельный текстовый файл;

- вывод результирующих графиков в стандартные графические файлы.

Формулы используемых методов регрессии:

- полиномиальная степенная

$$y = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

- степенная

$$y = a \cdot x^b \quad (2)$$

- экспоненциальная

$$y = a \cdot e^{bx} \quad (3)$$

- логарифмическая

$$y = a + b \cdot \lg x \quad (4)$$

- показательная

$$y = a \cdot b^x \quad (5)$$

- гиперболическая

$$y = a + \frac{b}{x} \quad (6)$$

где  $a, a_0, a_1, \dots, a_n, b$  - полученные градуировочные коэффициенты;  $x$  - кодовые значения, поступающие из измерительного канала;  $y$  - физические значения в стандартных единицах измерения.

При запуске программы автоматически загружаются последние рабочие данные из файла инициализации. Соответственно при выходе из программы они автоматически сохраняются. Загрузить исходный ряд до 100 градуировочных точек можно также из ранее сохраненного пользователем или самостоятельно созданного простого текстового файла, вид которого представлен на рисунке 1.

Число точек	
12	
Значения (X,Y)	
1.26000000000000E+0003	5.12000000000000E-0003
2.18400000000000E+0003	9.78600000000000E-0002
2.40500000000000E+0003	1.23320000000000E-0001
5.04100000000000E+0003	3.52000000000000E-0001
7.26400000000000E+0003	5.19210000000000E-0001
9.84400000000000E+0003	6.83320000000000E-0001
1.26100000000000E+0004	8.39140000000000E-0001
1.59940000000000E+0004	1.02902000000000E+0000
1.73800000000000E+0004	1.11343000000000E+0000
2.00490000000000E+0004	1.29452000000000E+0000
2.31410000000000E+0004	1.54643000000000E+0000
2.50630000000000E+0004	1.73323000000000E+0000

Рис. 1 - Вид текстового файла данных

Внешний вид интерфейса программы представлен на рисунке 2.

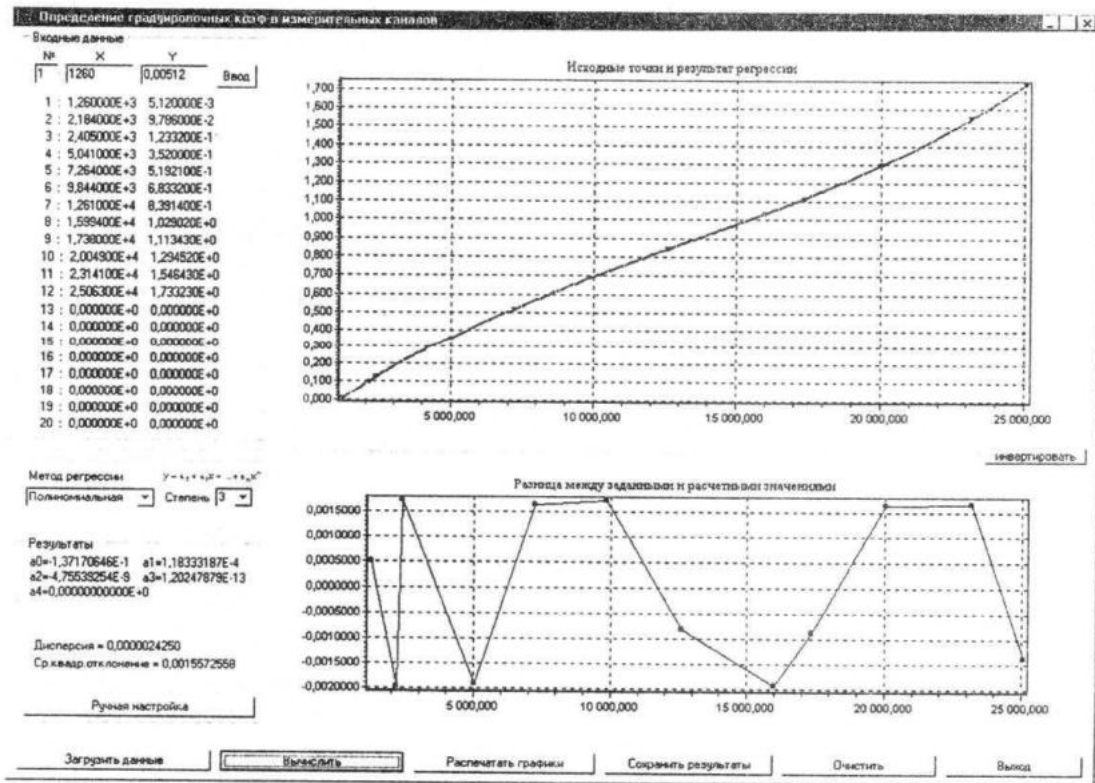


Рис. 2 - Внешний вид интерфейса программы

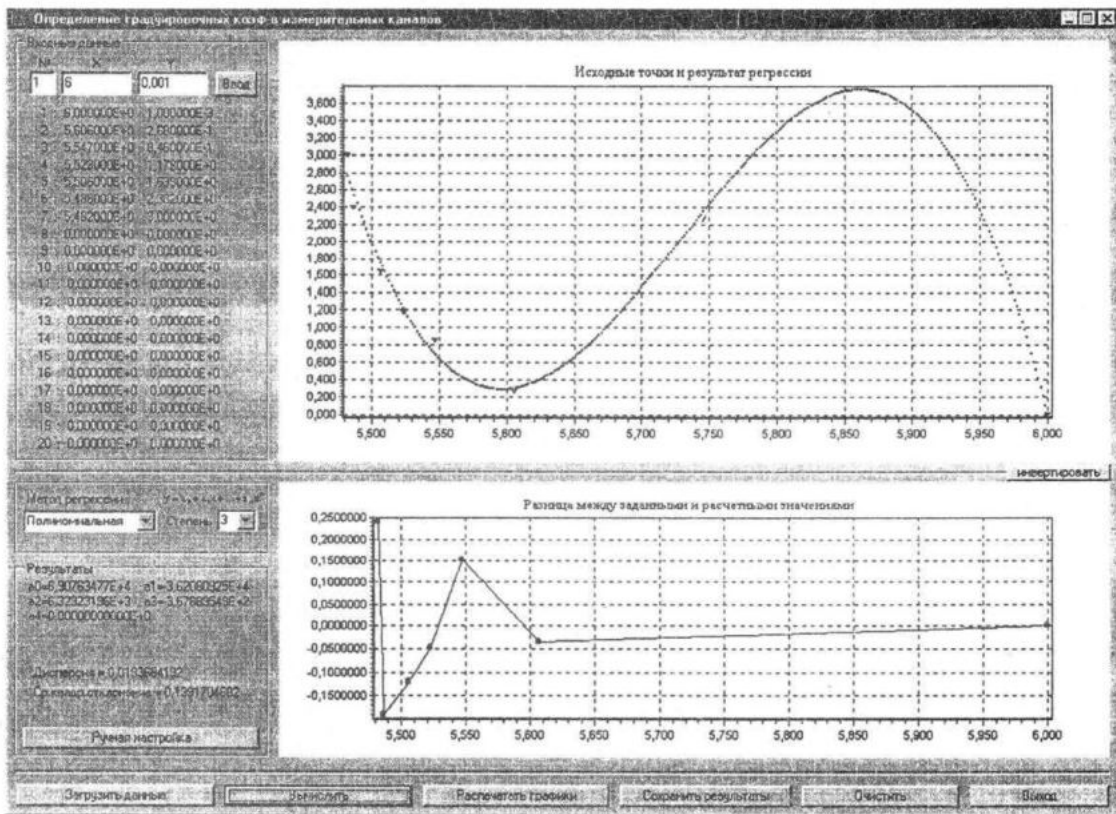


Рис. 3 - Пример автоматического нахождения коэффициентов с помощью степенного полинома

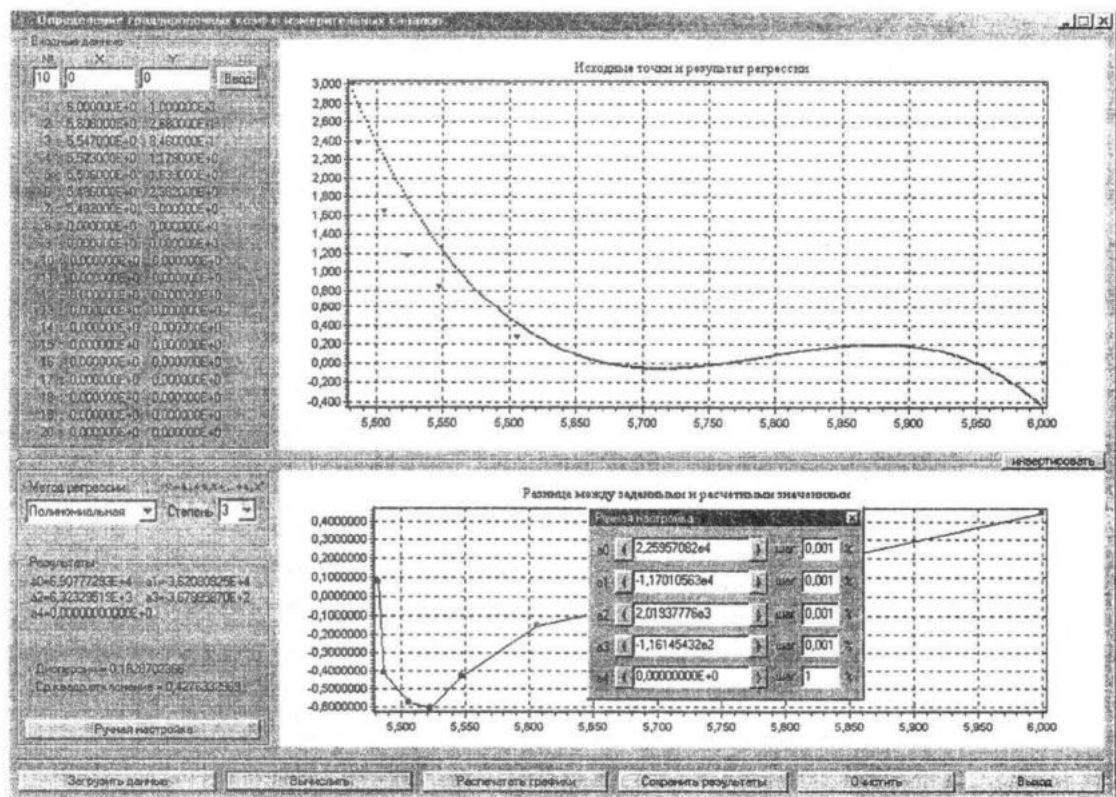


Рис. 4 - Пример результатов ручной подстройки коэффициентов, полученных автоматически с помощью степенного полинома



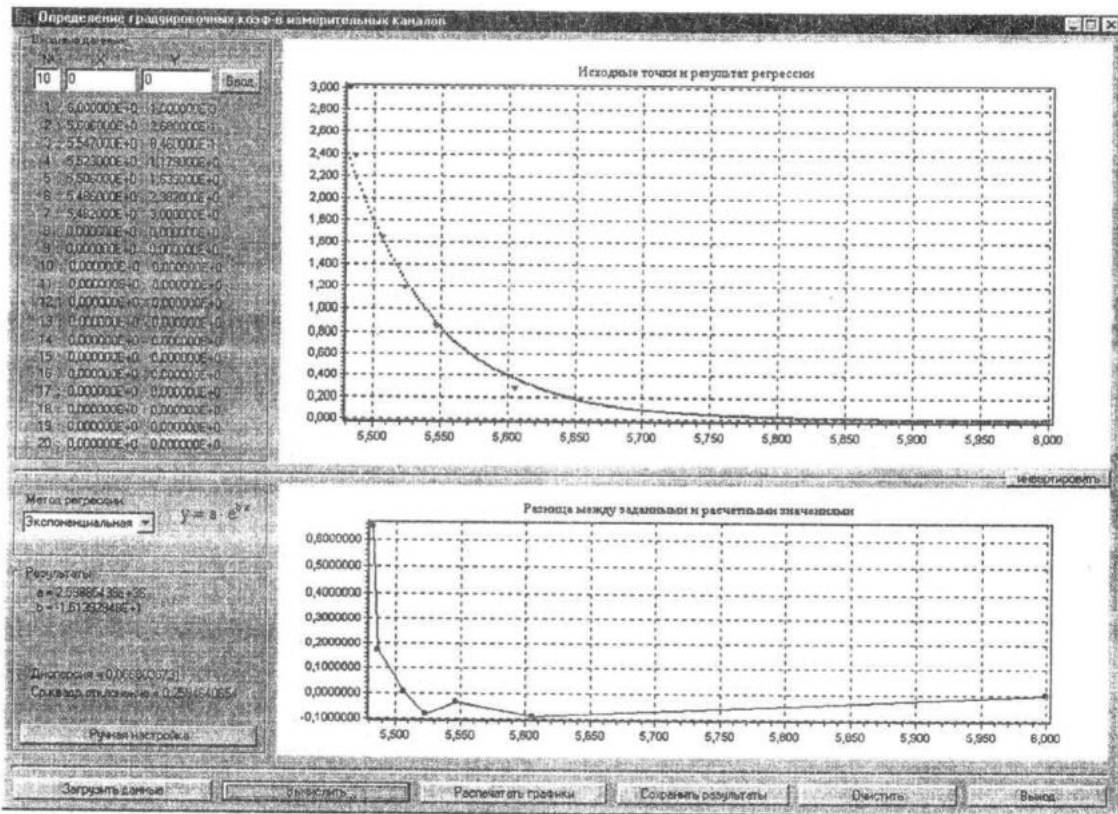


Рис. 5 - Пример автоматического нахождения коэффициентов с помощью экспоненциальной регрессии

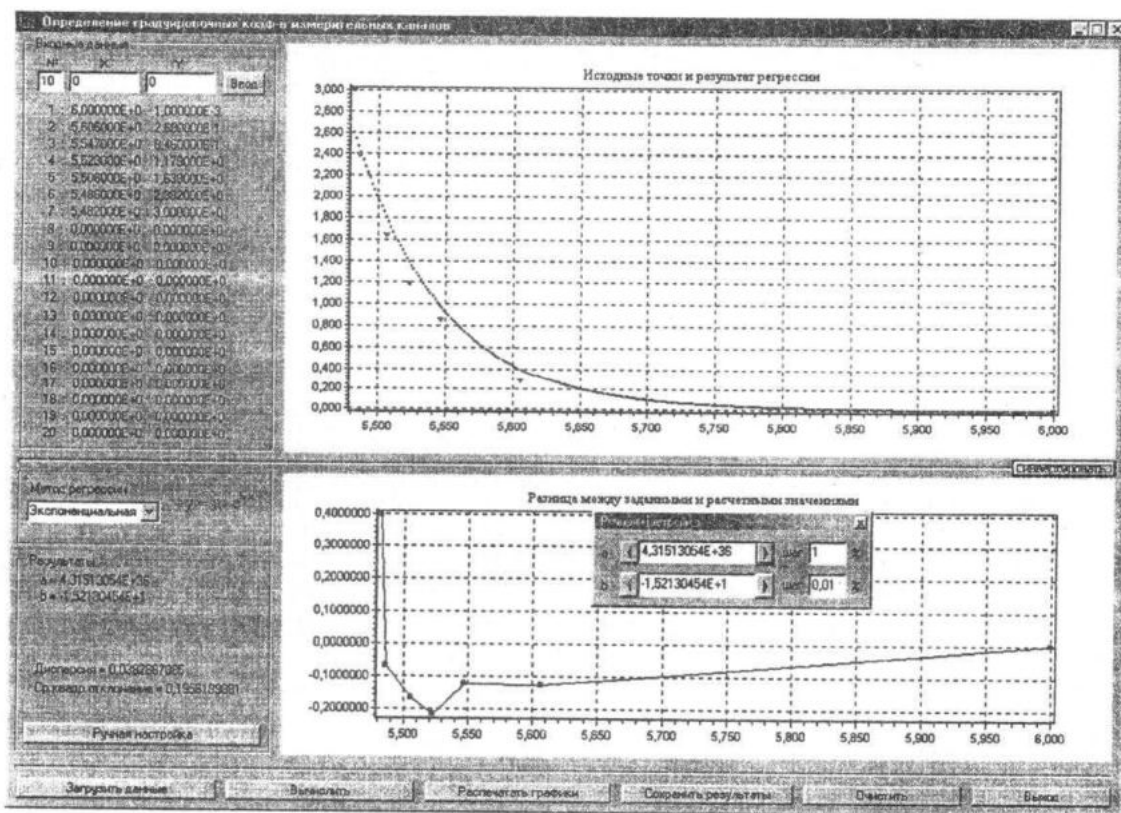


Рис. 6 - Пример результатов ручной подстройки коэффициентов, полученных автоматически с помощью экспоненциальной регрессии

При вычислении коэффициентов для заданной градуировочной характеристики: на графическом окне с исходными дискретными точками производится автоматическое построение графика по полученному аналитическому выражению; во втором графическом окне выводится график погрешностей; рассчитываются и выводятся на экран значения дисперсии и среднеквадратического отклонения; градуировочные коэффициенты автоматически вставляются в поля окна ручной подстройки (см. рис.7).



Рис. 7 - Окно ручного ввода и подстройки градуировочных коэффициентов выбранного метода регрессии

Ручная подстройка коэффициентов предназначена для адаптации градуировочной характеристики в случаях:

- если некоторые исходные точки визуально воспринимаются выбросами на градуировочной характеристике, что сразу наблюдается в графическом представлении данных;

- если в результате выполнения автоматического расчета (применения выбранного метода регрессионного анализа) произошли ошибки вычислительного характера (деление на ноль, переполнение и т.п.), вызвавшие остановку вычислений;

- если необходимо ввести другие градуировочные коэффициенты для проверки или сравнения полученной характеристики с положением исходных точек;

- если есть явная необходимость коррекции автоматически рассчитанной градуировочной характеристики между исходными точками градуировки (см. рис.3 и 4);

- если есть возможность уменьшения среднеквадратической погрешности результатов градуировки (см. рис.5 и 6).

Изменение коэффициентов  $a_0, \dots, a_4$  для полиномиальной регрессии и коэффициентов  $a, b$  для остальных методов, осуществляется прямым вводом или плавным уменьшением (увеличением) с заданным шагом в % от размерности. Любая коррекция автоматически приводит к пересчету и перерисовке результирующих графиков и значений на главном окне программы.

При сохранении результатов исходные данные сохраняются в заданном файле инициализации \*.ini, графики в стандартных растровом (\*.bmp) и векторном (\*.wmf) файлах, а численные результаты в текстовом файле \*.res (см. пример на рисунке 8).

Полиномиальная	N	X	Y	solvY	delta
$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4$	1	1.26000000E+0003	5.12000000E-0003	4.62004899E-0003	4.99951013E-0004
a[0]=-1.37170646377107E-0001	2	2.18400000E+0003	9.78600000E-0002	9.98391625E-0002	-1.97916245E-0003
a[1]= 1.18333186970903E-0004	3	2.40500000E+0003	1.23320000E-0001	1.21588076E-0001	1.73192327E-0003
a[2]=-4.75539253562137E-0009	4	5.04100000E+0003	3.52000000E-0001	3.53908218E-0001	-1.90821838E-0003
a[3]= 1.20247878561130E-0013	5	7.26400000E+0003	5.19210000E-0001	5.17569838E-0001	1.64016185E-0003
a[4]= 0.00000000000000E+0000	6	9.84400000E+0003	6.83320000E-0001	6.81590702E-0001	1.72929801E-0003
Дисперсия = 0.00000243	7	1.26100000E+0004	8.39140000E-0001	8.39960029E-0001	-8.20029490E-0004
Среднекв.отклонение = 0.0016	8	1.59940000E+0004	1.02902000E+0000	1.03096414E+0000	-1.94413721E-0003
	9	1.73800000E+0004	1.11343000E+0000	1.11431220E+0000	-8.82195300E-0004
	10	2.00490000E+0004	1.29452000E+0000	1.29287336E+0000	1.64664131E-0003
	11	2.31410000E+0004	1.54643000E+0000	1.54476570E+0000	1.66429868E-0003
	12	2.50630000E+0004	1.73323000E+0000	1.73460853E+0000	-1.37853129E-0003

Рис. 8 - Вид текстового файла результатов

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для

персональных ЭВМ: Справочник. - М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат.лит., 1987. - 240 с.

2. Калашников П.А. Первичная обработка гидрологической информации. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 151 с.