

Планируемый эксперимент с использованием надстройки «PLExp»

Н.Ю. Батурина

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Разработано приложение «PLExp», являющееся надстройкой для Excel и Access на базе VBA. Приложение предназначено для автоматизации планирования и проведения многофакторных экспериментов, включающее следующие блоки: планирование; проведение эксперимента; регрессионный и дисперсионный анализ; прогнозирование; оценка погрешностей. Применение приложения позволяет повысить эффективности исследований, связанных с проведением натуральных или модельных экспериментов, так как дает возможность уменьшить количество требуемых экспериментов, автоматизировать процессы хранения, извлечения, обработки информации и отыскания оптимальных решений.

Ключевые слова: планирование, фактор, эксперимент, приложение, VBA, регрессия, дисперсия, прогноз, ошибка аппроксимации, функция отклика, запрос, моделирование.

Несмотря на разработанность методов и подходов к планируемым экспериментам [1-3], в последнее время сохраняется поток публикаций, посвященных применению этих методов в разных областях производства, экономики, управления [4-8], включая вычислительные эксперименты на моделях. Является естественным изменение направленности исследований. Первоначально ориентированные на дорогостоящие натурные эксперименты, в настоящее время методы планирования экспериментов развиваются благодаря применению информационных технологий, автоматизации вычислений.

В исследованиях используются различные вычислительные инструменты и инструменты анализа от стандартных математических и статистических пакетов общего назначения (MATHCAD, STATISTICA, STADIA, STATGRAPHICS и др.) до специализированных авторских пакетов, как правило, разработанных на одном из объектно-ориентированных языков, ориентированных на выбранную предметную область [3,6,8,9]. Необходимость обращения к стандартным статистическим пакетам, например, таким как STATISTICA[9], обусловлена тем, набор статистических функций MicrosoftExcelне позволяет решать весь комплекс задач, связанных с плани-

рованием экспериментов. Однако не всегда имеется возможность использования статистических пакетов из-за лицензионных требований. Кроме того, возможности этих пакетов обширны и зачастую даже избыточны, так как они не ориентированы исключительно на планирование эксперимента, а позволяют решать широкий круг задач. Вместе с тем Microsoft Office, включающий Excel, Access, встроенный язык VBA, есть практически на каждом компьютере. При проведении экспериментов, не привязываясь к какой-либо предметной области, на первый план выходит проблема автоматизации вычислений, обработки и хранения результатов экспериментов. Специфика расчетов в этой области такова, что их удобно проводить в Excel, а для хранения результатов и исходных данных использовать Access. Возможности VBA как объектно-ориентированного языка позволяют создать удобную надстройку для автоматизации расчетов и обмена данными.

Анализ публикаций, относящихся к автоматизации планирования экспериментов, показал, что исследования, касающиеся разработки приложений средствами Excel, Access, VBA, практически отсутствуют. Автору представляется это неоправданным, так как это наиболее доступные для пользователей инструменты и вместе с тем достаточные для решения поставленных задач.

Предлагаемый автором подход описан в ранее опубликованной работе [10]. Исследования в направлении совершенствования приложения продолжаются (использование различных планов, совершенствование методов регрессионного и дисперсионного анализа). Приложение тестируется на примерах их из разных областей: исследовались результаты виброакустических измерений [10, 11], имитационные модели систем массового обслуживания.

В исследованиях, проводимых ранее, значимость уравнения регрессии в целом оценивалась по критерию Фишера. Анализ полученных регрессионных моделей показал недостаточность этих оценок и необходимость включе-

ния дополнительного критерия. В качестве такого критерия выбрана средняя ошибка аппроксимации, вычисляемая по формуле

$$ErrorAvg = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left| \frac{y^j - y^{jexp}}{y^{jexp}} \right|.$$

Кроме того, добавлен дополнительный блок оценки погрешностей, позволяющий по любому количеству экспериментальных данных проверить их соответствие полученной регрессионной модели по критериям Фишера и средней ошибки аппроксимации (рис. 1). Результаты оценки сохраняются в таблице ERRORбазы данных, в которой формируется запись, включающая уникальный ID, количество экспериментов, значения критериев и оценки значимости уравнения.

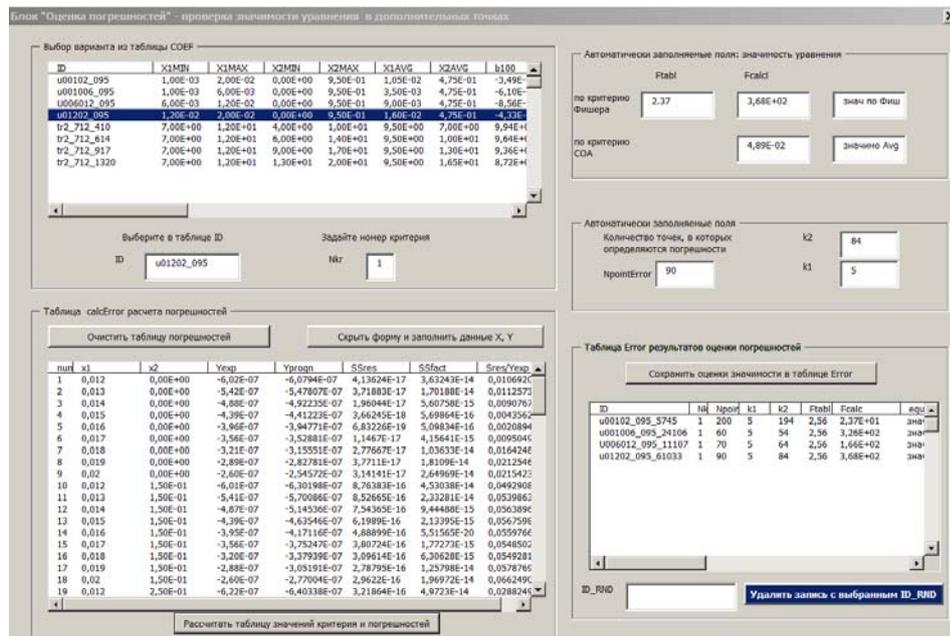


Рис. 1. – Блок «Оценка погрешностей» при двух факторах

Разработанное приложение предназначено для решения комплекса задач. После ввода исходных данных каждая из задач может выполняться независимо. Приведем описание основных задач, решаемых с помощью приложения.

1. Выбирается количество факторов и задаются диапазоны изменения факторов, по ним рассчитываются точки плана для проведения экспе-

- риментов (группа экспериментов), результаты заносятся в базу Access (форма «Планирование эксперимента»).
2. В точках выбранного плана проводятся эксперименты, результаты (значения функций отклика-критериев) передаются в Access, а затем в Excel (форма «Проведение эксперимента»).
 3. По выбранной группе экспериментов строится регрессионная модель в виде аппроксимационного полинома (используются центральное композиционное или ротатабельное планирование второго порядка), оценивается ее качество по критерию Фишера и средней ошибке аппроксимации в точках плана, результаты передаются в Access (форма «Регрессионный и дисперсионный анализ»).
 4. Задаются произвольные значения факторов для выбранной модели в пределах заданных диапазонов, рассчитываются прогнозируемые значения критериев, результаты передаются в Access (форма «Прогнозирование»).
 5. По выбранной группе экспериментов (модели) задаются произвольные точки со значениями факторов в пределах заданных диапазонов, оценивается ее качество по критерию Фишера и средней ошибке аппроксимации в точках плана, результаты передаются в Access (форма «Оценка погрешности»).

Перечисленные задачи относятся к случаю, когда изначально известны диапазоны изменения факторов и эксперименты требуется спланировать и провести. Возможна другая постановка задачи (прогностическая), когда эксперименты в достаточном количестве уже проведены и диапазоны изменения факторов можно определить. Требуется построить модель, которая позволяет прогнозировать значения функций отклика при произвольных значениях факторов в пределах выбранных диапазонов, а также оценивать качество модели.

Такая задача решается с помощью приложения следующим образом. В Access передается весь набор данных экспериментов. С помощью запросов на обновление, выборку и объединение формируются точки плана и значения критериев в них. Далее решается весь комплекс задач, описанных выше.

number	Avg-u
1	-0,000000914764
2	-0,000000396561
3	-0,000000912056
4	-0,000000395412
5	-0,00000101279
6	-0,000000437516
7	-0,000000602288
8	-0,000000600524
9	-0,000000665657

Рис. 2. – Определение значений критерия по запросам

Рассматривалась прогностическая задача по обработке результатов виброакустических измерений. Были проведены замеры перемещений u в разные моменты времени (первый фактор-параметр $X1 = t$) при различном расположении трещины относительно края плиты (второй фактор-параметр $X2 = a$). Общее количество замеров (экспериментальных точек) равнялось 200.

На рис. 2 представлена таблица экспериментальных значений, извлеченных из таблицы «Перемещения0_9» с использованием запросов.

Установлено, что не удастся получить описание перемещений u , представленных двумя точками с диапазоном изменения факторов $t \in [0,001; 0,02]$, $a \in [0; 0,95]$ с помощью одной регрессионной модели. Опреде-

лены допустимые пределы изменения фактора t для получения регрессионных моделей со значением средней ошибки аппроксимации $< 8\%$: $[0,001; 0,006]$, $[0,006; 0,012]$, $[0,012; 0,02]$. На Рис.3 представлен отчет, формируемый в Access, содержащий коэффициенты аппроксимационных полиномов и оценки значимости в целом соответствующих уравнений регрессии.

ID	b100	b101	b102	b103	b104	b105	equatVal1
u00102_095	-3,49E-07	-9,67E-08	5,13E-10	1,65E-10	5,32E-07	4,64E-08	знач по Фишеру
u001006_095	-6,10E-07	-5,10E-07	8,64E-10	7,74E-10	7,53E-08	5,34E-08	знач по Фишеру
U006012_095	-8,56E-07	2,37E-07	1,30E-09	-3,33E-10	-7,25E-09	8,32E-08	знач по Фишеру
u01202_095	-4,33E-07	1,76E-07	6,59E-10	-2,76E-10	-3,65E-08	4,24E-08	знач по Фишеру
tr2_712_410	9,94E+01	8,33E-01	-8,33E-01	1,25E+00	-8,33E-01	-8,33E-01	не знач по Фишеру
tr2_712_614	9,64E+01	4,17E+00	-4,50E+00	5,00E+00	-3,83E+00	-2,83E+00	не знач по Фишеру
tr2_712_917	9,36E+01	7,67E+00	-5,67E+00	6,50E+00	-6,67E+00	1,33E+00	знач по Фишеру
tr2_712_1320	8,72E+01	1,33E+01	-6,17E+00	4,75E+00	-7,67E+00	-2,17E+00	знач по Фишеру
u001005_095	-5,35E-07	-4,54E-07	7,31E-10	6,65E-10	1,60E-08	4,44E-08	знач по Фишеру
u001004_095	-5,35E-07	-4,54E-07	7,31E-10	6,65E-10	1,60E-08	4,44E-08	знач по Фишеру

Рис. 3. –Формирование отчета по коэффициентам выбранных регрессионных моделей

Литература

1. Налимов В. Н., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.

2. Melas V.B., Pepelyshev A.N., Cheng R.C.H. Designs for estimating an extremal point of quadratic regression models in a hyperball // *Metrika*, 2003, № 58. pp. 193-208.

3. Мелас В.Б. О работах по математической теории планирования эксперимента URL: statmod.ru/vega/melas/melas.htm (дата обращения: 22.05.2017).

4. Яценко Н.Д., Спаськова В.С., Закарлюка С.Г., Гончаров И.А., Яценко А.И. Разработка составов фриттованных глазурей для керамической черепицы с применением метода математического планирования эксперимента // *Инженерный вестник Дона*, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3889/.

5. Инюшкин Н.В. Щелчков И.П., Аитова А.И., Шевченко Е.А., Маньков М.Г., Перфилов С.А., Токарева Н.А. Планирование эксперимента по улавливанию летучей золы ТЭС в электроциклоне // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1603/.
6. Лощев А.Г. Оптимизация технологических комплексов на основе методов планирования эксперимента: дис. ... канд. техн. Наук. М., 2010. 225 с.
7. Нечаев К.Н. Теория планирования многофакторных экспериментов – резерв повышения эффективности технологических процессов // Российский научно-технический журнал "Инструмент и технологии", 2008, №23. С. 140-145.
8. Евельсон Л.И., Заикин А.Н., Рыжикова Е.Г. Комплекс программ «КОПТРЕГ» // Информационные технологии в науке, образовании и производстве. Брянск: БГИТА, 2014. С. 103-106.
9. Продукты линейки STATISTICA URL: statsoft.ru/products/ (дата обращения: 22.05.2017).
10. Батурина Н.Ю. Автоматизация планирования эксперимента // Международный научно-исследовательский журнал, 2016, № 11-4. С. 14-17.
11. Uglova E. V., Tiraturyan A. N., Liapin A. A. Integrated approach to studying characteristics of dynamic deformation on flexible pavement surface using nondestructive testing // PNRPU Mechanics Bulletin, 2016, №2. pp. 111-130.

References

1. Nalimov V. N., Chernova N. A. Statisticheskie metody planirovaniya jekstremal'nyh jeksperimentov [Statistical methods of planning of extreme experiments]. М.: Nauka, 1965. 340 p.
2. Melas V.B., Pepelyshev A.N., Cheng R.C.H. Designs for estimating an extremal point of quadratic regression models in a hyperball. *Metrika*, 2003, № 58. pp. 193-208.

3. Melas V.B. o rabotah po matematicheskoj teorii planirovanija jeksperimenta URL: [statmod.ru.vega.melas.melas.htm](http://statmod.ru/vega.melas.melas.htm) (data obrashhenija: 22.05.2017).
4. Jacenko N.D., Spasibova V.S., Zakarljuka S.G., Goncharov I.A., Jacenko A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4 URL: ivdon.ru/magazine.archive.n4y2016.3889.
5. Injushkin N.V. Shhelchkov I.P., Aitova A.I., Shevchenko E.A., Man'kov M.G., Perfilov S.A., Tokareva N.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine.archive.n2y2013.1603.
6. Loshhev A.G. Optimizacijatehnologicheskikhkompleksovnaosnovemetodovplanirovanijajeksperimenta [Optimization of technological complexes on the basis of methods of planning of an experiment]: dis. ... kand. tehn. Nauk. M., 2010. 225 p.
7. Nechaev K.N. Rossijskij nauchno-tehnicheskij zhurnal "Instrument itehnologii", 2008, №23. P. 140-145.
8. Evel'son L.I., Zaikin A.N., Ryzhikova E.G. Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve [Information technologies in science, education and production]. Brjansk: BGITA, 2014. P. 103-106.
9. ProduktylinejkiSTATISTICA URL: [statsoft.ru.products](http://statsoft.ru/products) (data obrashhenija: 22.05.2017).
10. BaturinaN.Ju. Mezhdunarodnyjnauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2016, № 11-4. P. 14-17.
11. Uglova E. V., Tiraturyan A. N. ,LiapinA. A. Integrated approach to studying characteristics of dynamic deformation on flexible pavement surface using nondestructive testing. PNRPU Mechanics Bulletin, 2016, № 2. pp. 111-130.