

К ВОПРОСУ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА НА БАЗЕ ПРИКЛАДНОГО ПАКЕТА EXCEL

Ольга Синяева, Алексей Завгородний, Александр Обыхвост

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Ул. Артема 44, Харьков, Украина. E-mail: khstua@lin.com.ua

Olga Sinyayeva Alexei Zavgrodney, Alexander Obyhivost

Kharkov Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture

St. Artem 44, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khstua@lin.com.ua

Аннотация. Существующие методы получения математической модели математическим планированием эксперимента не всегда могут быть использованы в условиях действующего производства. В связи с этим была сделана попытка разработать новую методику обработки экспериментальных данных и компьютерную программу на её базе. В сравнении с классическими методами новая методика применима в более широком диапазоне условий производства.

Ключевые слова: автокорреляция, компьютерная программа, коэффициенты корреляции, математическая модель, метод наименьших квадратов, пассивный эксперимент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проведение научных исследований в настоящее время немислимо без последующей математической обработки полученных результатов и построения на базе полученных материалов математической модели исследуемого объекта. Существующие методы получения математической модели на основе планируемого эксперимента, не всегда могут быть использованы в условиях действующего производства, особенно при частом и, зачастую, спонтанном изменении технологических условий [1, 12,13,15, 17]. В связи с этим была сделана попытка разработать новую методику обработки экспериментальных данных и компьютерную программу на базе «EXCEL», которая на основе этой методики строит математическую модель исследуемого объекта в автоматическом режиме [7,8,11,3]. Вызывает также интерес сопоставление результатов, полученных вновь разработанным методом и классическим методом планируемого эксперимента.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Широкое проведение научных экспериментов требует совершенствования математического аппарата обработки полученных результатов. В настоящее время назрела необходимость построения математической модели функционирования произвольного объекта, особенно, когда неизвестны законы, управляющие его работой. Существующие методы планирования эксперимента успешно применяются лишь при небольшом числе факторов. Для большого числа факторов нетрудоемкого в применении метода планирования, удобного для алгоритмизации и компьютерной обработки, пока нет.

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Использование традиционных методов планируемого эксперимента [12, 13] хотя и апробированы в течении многих десятилетий и дают, как правило, хорошие результаты при проведении лабораторных исследований, имеют ряд ограничений, которые не всегда дают возможность применить их к разработке математической модели действующего предприятия. Так, например, исследование работы предприятия при использовании т.н. «пассивного эксперимента», когда только фиксируются изменения технологического режима, носящего, зачастую спонтанный характер, не дает возможность провести классический планируемый эксперимент. Кроме того, большая часть этих способов пригодна лишь для построения моделей, в которых исходные параметры меняются на двух-трех уровнях, поэтому они мало пригодны для построения многоуровневых систем.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Разработанная методика основывается на том, что сначала весь массив данных мы рассматриваем как функциональную зависимость какого-либо одного переменного, допустим, X_1 , а остальные считаем постоянными. В итоге получаем зависимость типа:

$$Y(X) = f(X_1) \Big|_{X_2, X_3, X_4, \dots, X_n - const}. \quad (1)$$

Затем проводим подобную операцию для переменных X_2, X_3, \dots, X_n , в результате чего получаем целую систему уравнений:

$$\begin{cases} Y(X) = f(X_2) \Big|_{X_1, X_3, X_4, \dots, X_n - const} \\ Y(X) = f(X_3) \Big|_{X_1, X_2, X_4, \dots, X_n - const} \\ \dots \dots \dots \\ Y(X) = f(X_n) \Big|_{X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-1} - const} \end{cases} \quad (2)$$

При перемножении этих строк друг на друга получим итоговое уравнение:

$$Y^n(X) = f(X_1) \cdot f(X_2) \cdot f(X_3) \cdot \dots \cdot f(X_n), \quad (3)$$

или

$$Y(X) = [f(X_1) \cdot f(X_2) \cdot f(X_3) \cdot \dots \cdot f(X_n)]^{1/n}. \quad (4)$$

В качестве функциональных зависимостей $f(X)$ используется набор элементарных функций, коэффициенты корреляции которых определяются по методу наименьших квадратов. Для каждой переменной X_i подбирают функциональную зависимость по значению коэффициента корреляции, т.е. из всего многообразия элементарных функций $Y(X) = f(X_i)$, которые описывают изменение параметра, выбирается та функциональная зависимость, у которой коэффициент корреляции наибольший.

В принципе, уравнением (4) можно было бы и ограничиться для описания изменения параметра Y от переменных X_i . Однако для получения более точного описания мы провели еще одно уточнение полученной зависимости. Для этого вводится получение корреляционной зависимости между фактическими $Y_{факт}$ и полученными расчетными $Y_{расч}$ значениями параметра Y . Данная операция была названа нами автокорреляцией.

Полученный при этом коэффициент корреляции будет являться общим коэффициентом корреляции и указывает на тесноту связи между фактическими и расчетными значе-

ниями параметра Y . В идеальном случае функция автокорреляции представлена линейной зависимостью $Y = E \times Y_{расч} + D$, причем коэффициент корреляции между фактическими и расчетными значениями параметра Y равен 1, а коэффициенты указанной функции равны $E=1, D=0$. В противном случае это говорит о том, что не все факторы, влияющие на изменение искомого параметра Y , учтены. Коэффициенты корреляции, полученные при расчете уравнений (1-2), являются частными коэффициентами и говорят о том, насколько изменение данной переменной X_i влияло на изменение параметра Y в исследуемом интервале, но никоим образом не говорит о влиянии самой переменной на параметр Y .

Для того, чтобы определить, насколько вышеизложенные постулаты соответствуют действительности, были проведены сравнительные расчеты одной и той же задачи традиционным методом планируемого эксперимента [12, 13] и вновь разработанным методом.

В результате проведенных исследований оказалось, что расчет прогнозируемых значений по новой методике без автокорреляции уступает по точности расчета традиционному методу планируемого эксперимента.

Следует отметить, что сама точность расчетов (средняя абсолютная величина отклонений от истинного значения) выше у новой методики с автокорреляцией (0,85 против 1,16). Если обратиться к более привычному для нас показателю – среднеквадратичному отклонению, то он составит соответственно 0,93 и 2,93. Таким образом, исследования показывают, что новая методика расчета по точности, по крайней мере, даёт результаты не хуже традиционных методов планируемого эксперимента.

В связи с этим, на основе вышеприведенных рассуждений была разработана компьютерная программа, которая позволяет автоматически рассчитывать корреляционные зависимости и составлять статистическую модель работы исследуемого объекта и, опираясь на полученные зависимости, получать прогноз поведения объекта при изменении условий его работы.

Использование подобной методики позволяет:

К ВОПРОСУ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА НА БАЗЕ ПРИКЛАДНОГО ПАКЕТА EXCEL

- Получить математическую модель работы объекта и определить направление влияния каждого из факторов на качество конечного продукта;

- Оценить степень значимости влияния каждого из факторов на изменение качества продукта по частным коэффициентам корреляции;

- Составить прогноз работы изучаемого объекта;

Изложенная методика может быть использована, например, на предприятиях по переработке зерна [5,6,9]. Для ее практической проверки были использованы результаты экспериментов, полученные при испытании пневмосепаратора с наклонными стенками, снабженными вибрационным механизмом [3,5,6,9,10, 14,15]. Эксперимент проводился на семенах подсолнечника. Засоренные семена подсолнечника (количество сора – шелуха, семена сорняков и т.п.) из загрузочного бункера подавались в пневмосепаратор, где под действием потока воздуха происходило разделение кондиционных семян от сора. В качестве факторов, определяющих эффективность разделения, были выбраны угол наклона к горизонту сепаратора и частота вибрации, в качестве отклика было взято количество материала, попадающего в первый сборный бункер. Данные экспериментов представлены в таблицах 1, 2.. Для того, чтобы определить эффективность работы новой методики было решено часть данных оставить для проверки полученных зависимостей.

За основу расчётов были взяты точки 1, 5, 9, 11, 12, 16, 20, 22 и 23 опытов, а остальные данные использовались в качестве контрольных точек. Различие между максимальными и минимальными значениями осредненных точек-откликов значимо, т.к. вычисленное значение t-критерия [16] превосходит табличное значение критерия Стюдента для 5%-ного уровня значимости. Обработка полученных данных на ЭВМ по разработанной методике дала следующие результаты:

$$Y_k = 0,0047 \times (0,0095\alpha^2 + 0,227\alpha - 13,88) \times (57,12 - 0,022\omega) + 1,37 \times [(0,0095\alpha^2 + 0,227\alpha - 13,88) \times (57,12 - 0,022\omega)]^{0,5} + 24,77 \pm 4,5. \quad (9)$$

Сопоставление фактических и расчётных

данных приведено в табл.1 и на рис.1. Как видно из полученных данных, расхождение между фактическими и расчётными данными, как правило, не превышает погрешности между параллельными опытами.

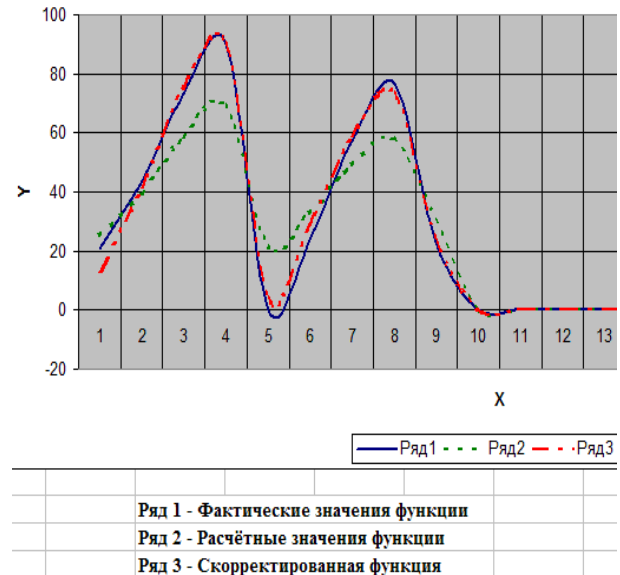


Рис. 1. Сопоставление фактических и расчётных значений

Fig. 1. Comparison of actual and calculated values

Поскольку функция зависимости количества рассеиваемого материала, попадающего в бункер, от угла наклона является квадратичной функцией, то можно попробовать определить экстремум функции. Так как функция на исследуемом участке является убывающей, то минимум рассеиваемого материала будет попадать в бункер при нулевом угле наклона. Однако при таком положении сепаратор будет практически неработоспособен, поскольку в таком случае рассеянный материал не будет попадать в бункера. Для эффективной работы данного устройства необходимо, чтобы угол наклона пневмосепаратора был больше угла естественного откоса зерен подсолнечника, т.е. более 40°.

Зависимость количества материала, попадающего в бункер, от частоты имеет линейный вид, по крайней мере, в рамках проведенного эксперимента, и это объясняется тем, что с увеличением частоты увеличивается время нахождения семечек в процессе обработки и тем самым уменьшается количество материала, попадающего в первый бункер.

СОДЕРЖАНИЕ

Таблица 1. Сопоставление расчётных данных, полученных различными способами

Table 1. Comparison of the calculated data obtained different ways

№ эксперимента	Среднее фактическое	Планируемый эксперимент	Новая методика	
			Без автокорреляции	С автокорреляцией
1	83,54	84,56	85,77	84,14
2	80,94	80,98	85,35	81,88
3	86,96	85,84	86,02	85,44
4	75,64	76,76	84,24	75,49
5	95,86	97,00	88,31	95,53
6	89,06	87,92	86,47	87,65
7	90,62	90,66	87,31	91,48
8	88,18	88,14	86,80	89,20
Абсолютное значение среднего отклонения		1,16	3,87	0,85
Среднеквадратичные Отклонения		2,93	21,97	0,93

Таблица 2. Результаты испытания виброударного пневмосепаратора

Table 2. The test results vibroudarnogo sifter

№ п/п	Угол наклона, α°	Частота вибрации, ω , Гц	Количество материала в бункере, %				Расчётные данные
			Фактические данные				
			I опыт	II опыт	III опыт	Среднее значение	
1	40	0	19,5	20,4	20,8	20,90	13,45
2	45	0	24,32	27,17	26,66	26,05	20,21
3	50	0	28,05	32,60	34,15	31,60	28,55
4	55	0	36,21	38,56	37,88	37,55	36,62
5	60	0	40,89	42,78	48,03	43,90	41,46
6	65	0	49,56	52,31	50,08	50,65	52,43
7	70	0	59,35	55,42	58,43	57,80	60,29
8	75	0	63,84	67,25	64,96	65,35	68,16
9	80	0	70,25	75,67	73,98	73,30	75,14
10	85	0	79,53	83,24	82,15	81,64	84,04
11	90	0	89,56	94,39	87,22	90,39	90,57
12	40	820	0,00	0,01	0,00	0,00	3,92
13	45	820	0,00	6,70	2,90	3,20	11,99
14	50	820	11,20	10,12	7,63	9,65	18,71
15	55	820	14,24	18,53	16,79	16,52	25,18
16	60	820	21,59	25,43	24,44	23,82	28,68
17	65	820	30,47	33,58	30,57	31,54	37,80
18	70	820	37,98	41,21	39,88	39,69	44,04
19	75	820	47,24	49,33	48,21	48,26	50,27
20	80	820	55,28	59,87	56,63	57,26	59,00
21	85	820	64,75	69,22	66,07	66,68	62,82
22	90	820	72,12	77,84	79,63	76,53	73,91
23	70	1640	22,48	24,56	22,47	23,17	24,01

ВЫВОДЫ

Разработана новая методика построения математической модели функционирования произвольного объекта, представляющая собой среднегеометрическую величину элементарных функций отдельных аргументов, определяемых методом наименьших квадратов и систему автокорреляции полученных результатов;

Указанная методика позволяет получать математическую модель функционирования объекта в тех случаях, когда её невозможно получить классическим методом планирования эксперимента;

При использовании новой методики можно оценить степень влияния каждого из аргументов на конечную функцию по частным коэффициентам корреляции и ввести соответствующие корректировки, исключая аргументы с низкими коэффициентами корреляции;

При достаточно большом количестве опытов разница между результатами, полученные методом планирования эксперимента и вновь разработанным методом неощутимо мала и в ряде случаев точность результатов, полученных при использовании новой методики с использованием системы автокорреляции, превышает точность результатов, полученных методом планированного эксперимента;

Новая методика ни в коей мере не предназначена полностью заменить собою метод планируемого эксперимента, а лишь является дополнением к нему и предназначается для тех случаев, когда получить зависимости традиционным способом не представляется возможным. Система автокорреляции не является неотъемлемой частью именно предлагаемой методики и, скорее всего, может повысить точность любого метода расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1251967 (СССР). Вибрационная очистительная сортировальная машина для разделения зерновых смесей по коэффициенту парусности / А.И. Завгородний, В.А. Сметанкин, А.В. Азарова // – Оpubl. в В.И., 1986, №31.
2. Barabashchuk V. I., Kredencер B.P., Miroshnichenko V. I. 1984. Planirovanie jeksperimenta v tehnikе / V.I. Barabashchuk, // – К:

«Техника», – 200.

3. Freger JU. L. 1964. Gidravlichesкое soprotivlenie zernovogo sloja na vibrirujushhej poverhnosti. Trudy VISHOM. – М.,– Vyp. 44, 33 – 45.
4. Kuchma N. V., Zorja E. S., Torjanik JE. I. 2003. Primenenie statisticheskikh metodov pri analize vlijanija izmenenij ugol'noj shihty na kachestvo koksa. Uglehimicheskij zhurnal, № 5-6, 15-24.
5. Lavrenchik V. N. 1986. Postanovka fizicheskogo jeksperimenta i statisticheskaja obrabotka ego rezul'tatov. – М : JEnergoatomizdat, 272.
6. Lovejkin V. CHovnjuk JU., Kulik V. 2012. Optimizacija rezhimov kolebanij zernovyh smesей pri nalichii suhogo trenijaю. Motrol, - Motoryzacija i energetyka rolnictwa. – Lublin. - Tom 14, №3, 140–147.
7. Panasiewicz M., Zawiślak K., Kusińska E., Sobczak P. 2006. Rurification and separation of loose materials in a pneumatic system with vertical air stream. Teка Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – Lublin, 2006. Tom 6, 171–176.
8. Pastushenko S., Ogienko N. 2012. Teoreticheskie aspekty issledovanija processa separacii tehnologicheskoy semennoj massy ovochebahchevyh kul'tur. Motrol, - Motoryzacija i energetyka rolnictwa. – Lublin. Tom 14, №2, 13–20.
9. Pat. 64488 Ukraїna na korisnu model' Vibroseparator vertikal'nogo tipu z povitrjanim potokom dlja rozdilennja sipuchih sumishej / Sinjaeva O.V., Zavgorodnij O.I.; zajavnik Ukraїn'skij institut promislivoї vlasnosti vid 10.11.2011.
10. Sinjaeva O. V. 2012. Metod avtomaticheskogo postroenija matematicheskoy modeli v planirovanii jeksperimenta. Visnik HNTUSG. Vipusk 120. «Tehnichni sistemi i tehnologii tvarinnictva" – Harkiv, 437.
11. Sinjaeva O. V., ZHuravskij A. A. 2011. Metod poluchenija matematicheskoy modeli proizvod'nogo ob#ekta. JEnergosberezenie, jenergetika, jenergoaudit, №12, 50-58.
12. Sinjaeva O. V. 2013. Novaja metodika obrabotki rezul'tatov eksperimentov i avtomaticheskogo postroenija matematicheskoy modeli issleduemogo ob#ekta / O.V. Sinjava, A.I. Zagorodnij, A.A. ZHuravskij, L.I. Kurpa, G.A. Starec // Sistemi Obrobki Informacii, Harkiv: HUPS Vipusk 1 (108). 118-122.

13. Stepanenko S. 2012. Osobennosti modelirovaniya processov separacii zerna v uslovijah zernotoka hozjajstva. Motrol, - Motoryzacija i energetyka rolnictva. – Lublin. - Tom 14, №3, 148–157.
14. Tishhenko L. N., Harchenko S. A. 2005. Issledovanie dinamiki vozdušnogo potoka v modernizirovannoj pyleosadochnoj kamere vibrocentrobeznyh zernovyh separatorov. Vibracii v tehnike i tehnologijah. - №1(43), 126 -137.
15. Ul'rih N.N. 1937. Novoe v oblasti ochistki i sortirovaniya semjan / M.: Sel'hozizdat, 74 – 89.
16. Vinarskij M. S., Lur'e M.V. 1975. Planirovanie jeksperimenta v tehnologicheskikh issledovanijah. – K: «Tehnika», 168.
17. Voznesenskij V. A. 1981. Statisticheskie metody planirovaniya jeksperimenta v tehniko-jekonomicheskikh issledovanijah. – M: Finansy i statistika, 264.
18. Zavgorodnij A. I., Sinjaeva O. V. 2012. Dvizhenie shara v vozdušnom potoke mezhdru vibrirujushhimi ploskostjami. Vibracii v tehnike i tehnologijah: Vseukrainskij nauchno-tehnicheskij zhurnal. – Har'kov. HNTUSH, – Vyp. 3 (67), 20-27.
19. Zegdenidze I. G. 1976. Planirovanie jeksperimenta dlja issledovanija mnogokomponentnyh system. Izdatel'stvo «Nauka», M. 390.
20. Zhuravskij A. A., Torjanik JE. I. , Kryshen' I. G. 2000. Avtomaticheskoe postroenie matematicheskoy modeli funkcionirovanija ob#ekta. – Koks i himija. №3, 22-28.

THE QUESTION OF PLANNING EXPERIMENT ON THE BASIS OF APPLICATION PACKAGE EXCEL

Summary. Old methods of obtaining the mathematical model can not always be used in Operable th proizvodstva.V therefore an attempt was made to develop a new method of processing the experimental data and the computer for yuternuyu program based on it.

Key words: autocorrelation, computer program, the coefficients of correlation, a mathematical model, the method of least squares, the passive experiment, the planned experiment.