

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. ЧЕРНЫЙ

**ЭФФЕКТИВНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ПЕНЗА 2010

УДК 669.621.74

Черный А.А. Эффективное математическое моделирование в литейном производстве: Учеб. пособие – Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2010. – 251 с.

Изложены основы эффективного математического моделирования применительно к литейному производству. Приводятся алгоритм математического моделирования при применении ЭВМ, язык программирования Бейсик, разработки программ на языке Бейсик и Турбо Паскаль, примеры выявления и анализа математических моделей. Даны задания для самостоятельной работы по математическому моделированию, изложены вопросы для самопроверки.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Пензенского государственного университета. Оно может быть использовано в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности «Машины и технология литейного производства», а также аспирантами, инженерно-техническими работниками при выполнении научно-исследовательских работ.

В пособии использованы оригинальные разработки автора, являющиеся его интеллектуальной собственностью.

Рецензенты:

Научный совет Пензенского научного центра;

А.С. Белоусов, главный металлург ОАО «Пензадизельмаш».

© А.А. Черный, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Компьютеризация производства способствует ускорению использования научных достижений. Литейное производство является одной из основных заготовительных баз машиностроения. Во всех отраслях машиностроения и приборостроения используются литые заготовки. Литьем получают заготовки практически любой конфигурации, с минимальными припусками на обработку, высокими служебными свойствами.

В производстве литых заготовок для деталей машин и приборов значительное место занимают специальные способы литья: по выплавляемым моделям, в керамические формы, в кокиль, под давлением, центробежное литье, электрошлаковое литье. Специальные виды литья позволяют получить отливки повышенной точности, с чистой поверхностью, минимальными припусками на обработку.

Прображом современного процесса литья по выплавляемым моделям является литье по восковым моделям, известное в глубокой древности. В эпоху Возрождения великие художники, скульпторы, литейщики использовали восковые модели для отливки скульптур и украшений. Элементы восковых моделей применялись древними русскими мастерами при литье колоколов, пушек, ювелирных изделий. В дальнейшем развитие процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям показало экономическую целесообразность его использования в машиностроении и приборостроении. Процесс получения отливок механизирован и автоматизирован, созданы автоматизированные литейные цехи по производству точных отливок.

Однако, несмотря на длительное развитие и совершенствование процессов литья и достигнутые успехи в литейном производстве существуют проблемы, которые необходимо решать: надо многие процессы оптимизировать, сделать дешевле, экологически чистыми, безопасными, привлекательными для молодых специалистов, более механизированными и автоматизированными. Необходимы в литейном производстве новые усовершенствования и изобретения.

Но процессы литейного производства зачастую сложны, на них влияет ряд неучтенных факторов. Поэтому для совершенствования литейного производства рационально применять моделирование.

Предлагаются оригинальные разработки математического моделирования при планировании экспериментов на двух и более уровнях факторов. Основы математического моделирования применительно к литейному производству частично изложены в работах автора [1, 2, 4 – 9] и в дальнейшем конкретизируются в новых работах.

В данной работе приводятся усовершенствованные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям. Программы проверены при использовании экспериментальных и практических данных исследованных процессов литейного производства. Они носят универсальный характер. Предлагаемые программы можно применять в различных областях науки и техники.

ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

На основании анализа ортогональных методов планирования экспериментов разработана новая методика математического моделирования процессов, которая менее трудоемка, чем ранее предложенные, позволяет проще, при меньшем количестве опытов оптимизировать процессы, выявлять более точные математические модели при планировании экспериментов на пяти уровнях независимых переменных (факторов) или, в частных случаях, на четырех, трех, двух уровнях независимых переменных. Графически зависимость показателя процесса от одного фактора показана на рис. 1. Построения графика выполнены по пяти точкам (уровней фактора пять).

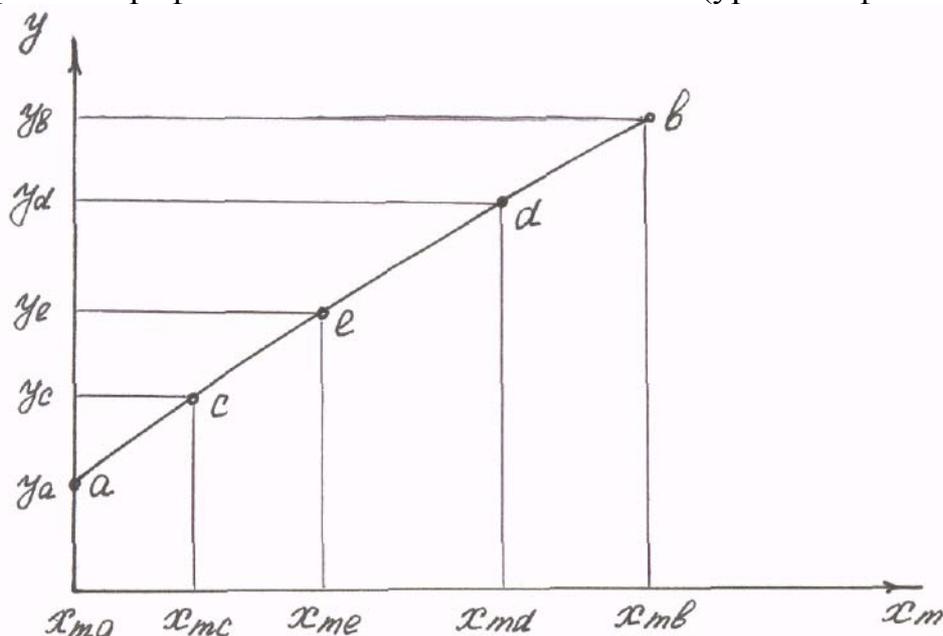


Рис. 1. Зависимость показателя от m -го фактора
(m – порядковый номер фактора)

В результате предварительного анализа для нелинейного математического моделирования процессов при ортогональном планировании однофакторных и многофакторных экспериментов на пяти уровнях независимых переменных предложено универсальное уравнение регрессии, в общем виде представляющее пятичлен

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn} + b_{mr} \cdot x_{mr} + b_{ms} \cdot x_{ms} + b_{mw} \cdot x_{mw}; \quad (1)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x_m^n + v_m; \quad x_{mr} = x_m^r + a_m x_m^n + c_m;$$

$$x_{ms} = x_m^s + d_m x_m^r + e_m x_m^n + f_m;$$

$$x_{mw} = x_m^w + q_m x_m^s + h_m x_m^r + k_m x_m^n + l_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_{m-t} –й фактор (независимое переменное); n, r, s, w – изменяемые числа показателей степени факторов; $v_m, a_m, c_m, d_m, e_m, f_m, q_m, h_m, k_m, l_m$ – коэффициенты ортогонализации; $b'_o, b_{mn}, b_{mr}, b_{ms}, b_{mw}$ – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m –го фактора $x_{ma}, x_{mb}, x_{mc}, x_{md}, x_{me}$ определяются соответственно параметры y_a, y_b, y_c, y_d, y_e .

В табл.1 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на пяти уровнях независимых переменных.

Таблица 1

Матрица планирования однофакторных экспериментов на пяти уровнях независимых переменных

№	Уровни факторов	x_o	x_{mn}	x_{mr}	x_{ms}	x_{mw}	y
1	a	+1	$x_{mn,1}=x_{mna}$	$x_{mr,1}=x_{mra}$	$x_{ms,1}=x_{msa}$	$x_{mw,1}=x_{mwa}$	$y_1=y_a$
2	b	+1	$x_{mn,2}=x_{mnb}$	$x_{mr,2}=x_{mrb}$	$x_{ms,2}=x_{msb}$	$x_{mw,2}=x_{mwb}$	$y_2=y_b$
3	c	+1	$x_{mn,3}=x_{mnc}$	$x_{mr,3}=x_{mrc}$	$x_{ms,3}=x_{msc}$	$x_{mw,3}=x_{mwc}$	$y_3=y_c$
4	d	+1	$x_{mn,4}=x_{mnd}$	$x_{mr,4}=x_{mrd}$	$x_{ms,4}=x_{msd}$	$x_{mw,4}=x_{mwd}$	$y_4=y_d$
5	e	+1	$x_{mn,5}=x_{mne}$	$x_{mr,5}=x_{mre}$	$x_{ms,5}=x_{mse}$	$x_{mw,5}=x_{mwe}$	$y_5=y_e$

В матрице планирования экспериментов (табл.1):

$$\begin{aligned}
 x_{mna} &= x_{ma}^n + v_m; & x_{mnb} &= x_{mb}^n + v_m; \\
 x_{mnc} &= x_{mc}^n + v_m; & x_{mnd} &= x_{md}^n + v_m; \\
 x_{mne} &= x_{me}^n + v_m; & x_{mra} &= x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m; \\
 x_{mrb} &= x_{mb}^r + a_m \cdot x_{mb}^n + c_m; & x_{mrc} &= x_{mc}^r + a_m \cdot x_{mc}^n + c_m; \\
 x_{mrd} &= x_{md}^r + a_m \cdot x_{md}^n + c_m; & x_{mre} &= x_{me}^r + a_m \cdot x_{me}^n + c_m; \\
 x_{msa} &= x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^n + f_m; \\
 x_{msb} &= x_{mb}^s + d_m \cdot x_{mb}^r + e_m \cdot x_{mb}^n + f_m; \\
 x_{msc} &= x_{mc}^s + d_m \cdot x_{mc}^r + e_m \cdot x_{mc}^n + f_m; \\
 x_{msd} &= x_{md}^s + d_m \cdot x_{md}^r + e_m \cdot x_{md}^n + f_m; \\
 x_{mse} &= x_{me}^s + d_m \cdot x_{me}^r + e_m \cdot x_{me}^n + f_m; \\
 x_{mwa} &= x_{ma}^w + g_m \cdot x_{ma}^s + h_m \cdot x_{ma}^r + k_m \cdot x_{ma}^n + l_m; \\
 x_{mwb} &= x_{mb}^w + g_m \cdot x_{mb}^s + h_m \cdot x_{mb}^r + k_m \cdot x_{mb}^n + l_m; \\
 x_{mwc} &= x_{mc}^w + g_m \cdot x_{mc}^s + h_m \cdot x_{mc}^r + k_m \cdot x_{mc}^n + l_m; \\
 x_{mwd} &= x_{md}^w + g_m \cdot x_{md}^s + h_m \cdot x_{md}^r + k_m \cdot x_{md}^n + l_m; \\
 x_{mwe} &= x_{me}^w + g_m \cdot x_{me}^s + h_m \cdot x_{me}^r + k_m \cdot x_{me}^n + l_m.
 \end{aligned}$$

Для сокращения дальнейших записей введены следующие обозначения средних арифметических величин:

$$\begin{aligned} \overline{x_m^n} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n); \\ \overline{x_m^r} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r); \\ \overline{x_m^s} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s + x_{me}^s); \\ \overline{x_m^w} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^w + x_{mb}^w + x_{mc}^w + x_{md}^w + x_{me}^w); \\ \overline{x_m^{2n}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{2n} + x_{mb}^{2n} + x_{mc}^{2n} + x_{md}^{2n} + x_{me}^{2n}); \\ \overline{x_m^{2r}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{2r} + x_{mb}^{2r} + x_{mc}^{2r} + x_{md}^{2r} + x_{me}^{2r}); \\ \overline{x_m^{2s}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{2s} + x_{mb}^{2s} + x_{mc}^{2s} + x_{md}^{2s} + x_{me}^{2s}); \\ \overline{x_m^{n+r}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{n+r} + x_{mb}^{n+r} + x_{mc}^{n+r} + x_{md}^{n+r} + x_{me}^{n+r}); \\ \overline{x_m^{n+s}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{n+s} + x_{mb}^{n+s} + x_{mc}^{n+s} + x_{md}^{n+s} + x_{me}^{n+s}); \\ \overline{x_m^{n+w}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{n+w} + x_{mb}^{n+w} + x_{mc}^{n+w} + x_{md}^{n+w} + x_{me}^{n+w}); \\ \overline{x_m^{r+s}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{r+s} + x_{mb}^{r+s} + x_{mc}^{r+s} + x_{md}^{r+s} + x_{me}^{r+s}); \\ \overline{x_m^{r+w}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{r+w} + x_{mb}^{r+w} + x_{mc}^{r+w} + x_{md}^{r+w} + x_{me}^{r+w}); \\ \overline{x_m^{s+w}} &= \frac{1}{N} (x_{ma}^{s+w} + x_{mb}^{s+w} + x_{mc}^{s+w} + x_{md}^{s+w} + x_{me}^{s+w}); \\ \overline{x_m} &= \frac{1}{N} (x_{ma} + x_{mb} + x_{mc} + x_{md} + x_{me}); \end{aligned}$$

Ортогональность матрицы планирования (см.табл.1) обеспечивается в том случае, если

$$x_{mna} + x_{mnb} + x_{mne} + x_{mnd} + x_{mnc} = 0,$$

$$x_{mra} + x_{mrb} + x_{mre} + x_{mrd} + x_{mrc} = 0,$$

$$x_{msa} + x_{msb} + x_{mse} + x_{msd} + x_{msc} = 0,$$

$$x_{mwa} + x_{mwb} + x_{mwe} + x_{mwd} + x_{mwc} = 0,$$

$$x_{mna} \cdot x_{mra} + x_{mnb} \cdot x_{mrb} + x_{mnc} \cdot x_{mrc} + x_{mnd} \cdot x_{mrd} + x_{mne} \cdot x_{mre} = 0.$$

$$x_{mna} \cdot x_{msa} + x_{mnb} \cdot x_{msb} + x_{mnc} \cdot x_{msc} + x_{mnd} \cdot x_{msd} + x_{mne} \cdot x_{mse} = 0.$$

$$x_{mna} \cdot x_{mwa} + x_{mnb} \cdot x_{mwb} + x_{mnc} \cdot x_{mwc} + x_{mnd} \cdot x_{mwd} + x_{mne} \cdot x_{mwe} = 0.$$

$$x_{mra} \cdot x_{msa} + x_{mrb} \cdot x_{msb} + x_{mrc} \cdot x_{msc} + x_{mrd} \cdot x_{msd} + x_{mre} \cdot x_{mse} = 0.$$

$$x_{mra} \cdot x_{mwa} + x_{mrb} \cdot x_{mwb} + x_{mrc} \cdot x_{mwc} + x_{mrd} \cdot x_{mwd} + x_{mre} \cdot x_{mwe} = 0.$$

$$x_{msa} \cdot x_{mwa} + x_{msb} \cdot x_{mwb} + x_{msc} \cdot x_{mwc} + x_{msd} \cdot x_{mwd} + x_{mse} \cdot x_{mwe} = 0.$$

После подстановки в уравнения системы значений слагаемых и множителей, замены получаемых сумм средними арифметическими величинами и сокращения одинаковых величин получается система из десяти уравнений, по которой определяются десять коэффициентов ортогонализации.

$$x_{ma}^n + v_m + x_{me}^n + v_m + x_{mc}^n + v_m + x_{md}^n + v_m + x_{me}^n + v_m = 0;$$

$$5 \cdot v_m = -(x_{ma}^n + x_{me}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n);$$

$$v_m = -\frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^n + x_{me}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n);$$

$$\boxed{v_m = -\overline{x_m^n}}$$

$$x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m + x_{me}^r + a_m \cdot x_{me}^n + c_m + x_{mc}^r + a_m \cdot x_{mc}^n + c_m + x_{md}^r + a_m \cdot x_{md}^n + c_m + x_{me}^r + a_m \cdot x_{me}^n + c_m = 0;$$

$$(x_{ma}^r + x_{me}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r) +$$

$$+ a_m \cdot (x_{ma}^n + x_{me}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n) + 5 \cdot c_m = 0;$$

$$c_m = -\frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^r + x_{me}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r) -$$

$$- a_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^n + x_{me}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n) =$$

$$= -\overline{x_m^r} - a_m \cdot \overline{x_m^n} = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n});$$

$$\boxed{c_m = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n})}$$

$$\begin{aligned}
& x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^n + f_m + x_{mb}^s + d_m \cdot x_{mb}^r + e_m \cdot x_{mb}^n + f_m + \\
& + x_{mc}^s + d_m \cdot x_{mc}^r + e_m \cdot x_{mc}^n + f_m + x_{md}^s + d_m \cdot x_{md}^r + e_m \cdot x_{md}^n + f_m + \\
& + x_{me}^s + d_m \cdot x_{me}^r + e_m \cdot x_{me}^n + f_m = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s + x_{me}^s) + \\
& + d_m \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r) + \\
& + e_m \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n) + 5 \cdot f_m = 0; \\
f_m = & -\frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s + x_{me}^s) - \\
& - d_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r) - \\
& - e_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n) = \\
= & -\overline{x_m^s} - d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n} = -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}); \\
f_m = & -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}) \Big| .
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{ma}^w + g_m \cdot x_{ma}^s + h_m \cdot x_{ma}^r + k_m \cdot x_{ma}^n + l_m + \\
& + x_{mb}^w + g_m \cdot x_{mb}^s + h_m \cdot x_{mb}^r + k_m \cdot x_{mb}^n + l_m + \\
& + x_{mc}^w + g_m \cdot x_{mc}^s + h_m \cdot x_{mc}^r + k_m \cdot x_{mc}^n + l_m + \\
& + x_{md}^w + g_m \cdot x_{md}^s + h_m \cdot x_{md}^r + k_m \cdot x_{md}^n + l_m + \\
& + x_{me}^w + g_m \cdot x_{me}^s + h_m \cdot x_{me}^r + k_m \cdot x_{me}^n + l_m = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_m = & -\frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^w + x_{mb}^w + x_{mc}^w + x_{md}^w + x_{me}^w) - \\
& - g_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s + x_{me}^s) - \\
& - h_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r) - \\
& - k_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n + x_{me}^n) = \\
= & -(\overline{x_m^w} + g_m \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot \overline{x_m^r} + k_m \cdot \overline{x_m^n}); \\
l_m = & -(\overline{x_m^w} + g_m \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot \overline{x_m^r} + k_m \cdot \overline{x_m^n}) \Big| .
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (x_{ma}^h + v_m) \cdot (x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^h + c_m) + \dots = 0; \\
& x_{ma}^{h+r} + a_m \cdot x_{ma}^{2 \cdot h} + c_m \cdot x_{ma}^h + v_m \cdot x_{ma}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{ma}^h + \\
& + c_m \cdot v_m + \dots = 0; \\
& x_{ma}^{h+r} + a_m \cdot x_{ma}^{2 \cdot h} + c_m \cdot x_{ma}^h + v_m \cdot x_{ma}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{ma}^h + c_m \cdot v_m + \\
& + x_{mb}^{h+r} + a_m \cdot x_{mb}^{2 \cdot h} + c_m \cdot x_{mb}^h + v_m \cdot x_{mb}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{mb}^h + c_m \cdot v_m + \\
& + x_{mc}^{h+r} + a_m \cdot x_{mc}^{2 \cdot h} + c_m \cdot x_{mc}^h + v_m \cdot x_{mc}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{mc}^h + c_m \cdot v_m + \\
& + x_{md}^{h+r} + a_m \cdot x_{md}^{2 \cdot h} + c_m \cdot x_{md}^h + v_m \cdot x_{md}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{md}^h + c_m \cdot v_m + \\
& + x_{me}^{h+r} + a_m \cdot x_{me}^{2 \cdot h} + c_m \cdot x_{me}^h + v_m \cdot x_{me}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{me}^h + c_m \cdot v_m = 0; \\
& \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^{h+r} + x_{mb}^{h+r} + x_{mc}^{h+r} + x_{md}^{h+r} + x_{me}^{h+r}) + \\
& + a_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^{2 \cdot h} + x_{mb}^{2 \cdot h} + x_{mc}^{2 \cdot h} + x_{md}^{2 \cdot h} + x_{me}^{2 \cdot h}) + \\
& + c_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^h + x_{mb}^h + x_{mc}^h + x_{md}^h + x_{me}^h) + \\
& + v_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r + x_{me}^r) + \\
& + a_m \cdot v_m \cdot \frac{1}{5} \cdot (x_{ma}^h + x_{mb}^h + x_{mc}^h + x_{md}^h + x_{me}^h) + c_m \cdot v_m = 0; \\
& \overline{x_m^{h+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot h}} + c_m \cdot \overline{x_m^h} + v_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^h} + \\
& + c_m \cdot v_m = 0;
\end{aligned}$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};$$

$$\overline{x_m^{h+r}} + a_m \overline{x_m^{2h}} + c_m \overline{x_m^n} + v_m \overline{x_m^r} + d_m v_m \overline{x_m^h} + c_m \cdot (-\overline{x_m^n}) = 0;$$

$$d_m (\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2) = \overline{x_m^n} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}};$$

$$d_m = \frac{\overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$(\overline{x_{ma}^n} + v_m) \cdot (\overline{x_{ma}^s} + d_m \overline{x_{ma}^r} + e_m \overline{x_{ma}^n} + f_m) + \dots = 0;$$

$$\overline{x_{ma}^{h+s}} + d_m \overline{x_{ma}^{h+r}} + e_m \overline{x_{ma}^{2h}} + f_m \overline{x_{ma}^n} +$$

$$+ v_m \overline{x_{ma}^s} + d_m v_m \overline{x_{ma}^r} + e_m v_m \overline{x_{ma}^n} + v_m f_m + \dots = 0;$$

$$\overline{x_m^{h+s}} + d_m \overline{x_m^{h+r}} + e_m \overline{x_m^{2h}} + f_m \overline{x_m^n} +$$

$$+ v_m \overline{x_m^s} + d_m v_m \overline{x_m^r} + e_m v_m \overline{x_m^n} + v_m f_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};$$

$$\overline{x_m^{h+s}} + d_m \overline{x_m^{h+r}} + e_m \overline{x_m^{2h}} + f_m \overline{x_m^n} +$$

$$+ v_m \overline{x_m^s} + d_m v_m \overline{x_m^r} + e_m v_m \overline{x_m^n} + (-\overline{x_m^n}) \cdot f_m = 0;$$

$$e_m (\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2) = d_m (\overline{x_m^n} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}) +$$

$$+ \overline{x_m^n} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}};$$

$$e_m = d_m \cdot \frac{\overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2} + \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$d_m = \frac{\overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2}; \quad \beta_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$e_m = d_m \cdot a_m + \beta_m.$$

$$(x_{ma}^n + v_m) \cdot (x_{ma}^w + g_m x_{ma}^s + h_m x_{ma}^r + k_m x_{ma}^h + \ell_m) + \dots = 0;$$

$$x_{ma}^{h+w} + g_m x_{ma}^{h+s} + h_m x_{ma}^{h+r} + k_m x_{ma}^{2h} + \ell_m x_{ma}^h + v_m x_{ma}^w +$$

$$+ v_m g_m x_{ma}^s + v_m h_m x_{ma}^r + v_m k_m x_{ma}^h + v_m \ell_m + \dots = 0;$$

$$\overline{x_m^{h+w}} + g_m \overline{x_m^{h+s}} + h_m \overline{x_m^{h+r}} + k_m \overline{x_m^{2h}} + \ell_m \overline{x_m^h} + v_m \overline{x_m^w} +$$

$$+ v_m g_m \overline{x_m^s} + v_m h_m \overline{x_m^r} + v_m k_m \overline{x_m^h} + v_m \ell_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^h};$$

$$\overline{x_m^{h+w}} + g_m \overline{x_m^{h+s}} + h_m \overline{x_m^{h+r}} + k_m \overline{x_m^{2h}} + \ell_m \overline{x_m^h} + (-\overline{x_m^h}) \overline{x_m^w} +$$

$$+ (-\overline{x_m^h}) g_m \overline{x_m^s} + (-\overline{x_m^h}) h_m \overline{x_m^r} + (-\overline{x_m^h}) k_m \overline{x_m^h} + (-\overline{x_m^h}) \ell_m = 0;$$

$$k_m (\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2) = g_m (\overline{x_m^h} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}) +$$

$$+ h_m (\overline{x_m^h} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}) + \overline{x_m^h} \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{h+w}};$$

$$k_m = g_m \cdot \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2} + h_m \cdot \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2} +$$

$$+ \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{h+w}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2}; \quad p_m = \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2}; \quad z_m = \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{h+w}}}{\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$k_m = g_m \cdot p_m + h_m \cdot a_m + z_m.$$

$$(x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^h + c_m) \cdot (x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^h + f_m) + \dots = 0;$$

$$x_{ma}^{r+s} + d_m \cdot x_{ma}^{2r} + e_m \cdot x_{ma}^{h+r} + f_m \cdot x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^{h+s} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot x_{ma}^{h+r} + a_m \cdot e_m \cdot x_{ma}^{2h} + a_m \cdot f_m \cdot x_{ma}^h + c_m \cdot x_{ma}^{r+s} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot c_m \cdot x_{ma}^h + c_m \cdot f_m + \dots = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{h+r}} + f_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^{h+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{h+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2h}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot c_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot f_m = 0;$$

$$f_m = -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^h}); \quad e_m = d_m \cdot a_m + p_m;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{h+r}} + f_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^{h+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{h+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2h}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot c_m \cdot \overline{x_m^h} - c_m \cdot \overline{x_m^s} - c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^r} -$$

$$- c_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^h} = \overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + d_m \cdot a_m \cdot \overline{x_m^{h+r}} + p_m \cdot \overline{x_m^{h+r}} +$$

$$- \overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^r} - d_m \cdot (\overline{x_m^r})^2 - \overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} \cdot d_m \cdot a_m - \overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} \cdot p_m +$$

$$\begin{aligned}
& + a_m \overline{x_m^{n+s}} + a_m a_m \overline{x_m^{n+r}} + a_m a_m^2 \overline{x_m^{2 \cdot n}} + p_m a_m \overline{x_m^{2 \cdot n}} - \\
& - a_m \overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^n} - a_m a_m \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - a_m a_m^2 (\overline{x_m^n})^2 - \\
& - p_m a_m (\overline{x_m^n})^2 = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_m (\overline{x_m^{2 \cdot r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2 \cdot a_m (\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r}) + \\
& + a_m^2 (\overline{x_m^{2 \cdot n}} - (\overline{x_m^n})^2)) = \overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^r} + p_m (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}) + \\
& + a_m (\overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^n} - \overline{x_m^{n+s}}) + a_m p_m ((\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2 \cdot n}});
\end{aligned}$$

$$t_{m1} = \overline{x_m^r} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} + p_m (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}});$$

$$t_{m2} = a_m (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}) + a_m p_m ((\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2 \cdot n}});$$

$$t_{m3} = \overline{x_m^{2 \cdot r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2 \cdot a_m (\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r});$$

$$\boxed{a_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{t_{m3} + a_m^2 (\overline{x_m^{2 \cdot n}} - (\overline{x_m^n})^2)}; }$$

$$\begin{aligned}
& (\overline{x_{ma}^r} + a_m \overline{x_{ma}^n} + c_m) \cdot (\overline{x_{ma}^w} + g_m \overline{x_{ma}^s} + h_m \overline{x_{ma}^r} + \\
& + k_m \overline{x_{ma}^n} + l_m) + \dots = 0;
\end{aligned}$$

$$\overline{x_{ma}^{r+w}} + g_m \overline{x_{ma}^{r+s}} + h_m \overline{x_{ma}^{2 \cdot r}} + k_m \overline{x_{ma}^{n+r}} + l_m \overline{x_{ma}^r} +$$

$$+ a_m \cdot \ell_m \cdot x_m^n + c_m \cdot x_m^w + c_m \cdot g_m \cdot x_m^s + c_m \cdot h_m \cdot x_m^r +$$

$$+ c_m \cdot k_m \cdot x_m^n + c_m \ell_m + \dots = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+w}} + g_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + h_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + k_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + \ell_m \cdot \overline{x_m^r} +$$

$$+ a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}} + a_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} + a_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^{2n}} +$$

$$+ a_m \cdot \ell_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot \overline{x_m^w} + c_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^s} + c_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^r} +$$

$$+ c_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^n} + c_m \ell_m = \overline{x_m^{r+w}} + g_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + h_m \cdot \overline{x_m^{2r}} +$$

$$+ k_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + \ell_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}} + a_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} +$$

$$+ a_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^{2n}} + a_m \cdot \ell_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot \overline{x_m^w} +$$

$$+ c_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^s} + c_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^r} + c_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^n} - c_m \cdot \overline{x_m^w} -$$

$$- c_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^s} - c_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^r} - c_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^n} = 0;$$

$$\ell_m = -(\overline{x_m^w} + g_m \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot \overline{x_m^r} +$$

$$+ k_m \cdot \overline{x_m^n});$$

$$h_m \cdot (\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}}) = -g_m \cdot (\overline{x_m^{r+s}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}) -$$

$$- k_m \cdot (\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2n}}) - \ell_m \cdot (\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}) -$$

$$- (\overline{x_m^{r+w}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}}); \quad \underline{\underline{\ell_m = \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}}};$$

$$\begin{aligned}
h_m \cdot (\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}}) &= -g_m \cdot (\overline{x_m^{r+s}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}) - \\
&- K_m \cdot (\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2n}}) + t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} + t_{m4} \cdot g_m \cdot \overline{x_m^s} + \\
&+ t_{m4} \cdot h_m \cdot \overline{x_m^r} + t_{m4} \cdot K_m \cdot \overline{x_m^n} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}}; \\
h_m \cdot (\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^r}) &= \\
&= g_m \cdot (\overline{t_{m4} \cdot x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}) + \\
&+ K_m \cdot (\overline{t_{m4} \cdot x_m^n} - \overline{x_m^{n+r}} - a_m \cdot \overline{x_m^{2n}}) + \\
&+ t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}} \\
\boxed{t_{m5} = t_{m4} \cdot \overline{x_m^n} - \overline{x_m^{n+r}} - a_m \cdot \overline{x_m^{2n}}}; &
\end{aligned}$$

$$K_m = g_m \cdot \beta_m + h_m \cdot a_m + Z_m;$$

$$\begin{aligned}
h_m \cdot (\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^r}) &= \\
&= g_m \cdot (\overline{t_{m4} \cdot x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}) + t_{m5} \cdot g_m \cdot \beta_m + \\
&+ t_{m5} \cdot h_m \cdot a_m + t_{m5} \cdot Z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}}; \\
h_m \cdot (\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m5} \cdot a_m) &= \\
&= g_m \cdot (\overline{t_{m4} \cdot x_m^s} + \overline{t_{m5} \cdot \beta_m} - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}) + \\
&+ t_{m5} \cdot Z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{m6} &= \overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m5} \cdot a_m; \\
 t_{m7} &= t_{m4} \cdot \overline{x_m^s} + t_{m5} \cdot p_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}; \\
 t_{m8} &= t_{m5} \cdot z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};
 \end{aligned}$$

$$h_m = \frac{g_m \cdot t_{m7} + t_{m8}}{t_{m6}}$$

$$\begin{aligned}
 & (x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^n + f_m) \cdot (x_{ma}^w + g_m \cdot x_{ma}^s + \\
 & + h_m \cdot x_{ma}^r + k_m \cdot x_{ma}^n + l_m) + \dots = 0; \\
 & x_{ma}^{s+w} + g_m \cdot x_{ma}^{2s} + h_m \cdot x_{ma}^{r+s} + k_m \cdot x_{ma}^{n+s} + l_m \cdot x_{ma}^s + \\
 & + d_m \cdot x_{ma}^{r+w} + d_m \cdot g_m \cdot x_{ma}^{r+s} + d_m \cdot h_m \cdot x_{ma}^{2r} + d_m \cdot k_m \cdot x_{ma}^{n+r} + \\
 & + d_m \cdot l_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^{n+w} + e_m \cdot g_m \cdot x_{ma}^{n+s} + e_m \cdot h_m \cdot x_{ma}^{n+r} + \\
 & + e_m \cdot k_m \cdot x_{ma}^{2n} + e_m \cdot l_m \cdot x_{ma}^n + f_m \cdot x_{ma}^w + f_m \cdot g_m \cdot x_{ma}^s + \\
 & + f_m \cdot h_m \cdot x_{ma}^r + f_m \cdot k_m \cdot x_{ma}^n + f_m \cdot l_m + \dots = 0; \\
 & \overline{x_m^{s+w}} + g_m \cdot \overline{x_m^{2s}} + h_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + k_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} + l_m \cdot \overline{x_m^s} + \\
 & + d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} - d_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + d_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + d_m \cdot \overline{l_m \cdot x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+w}} + e_m \cdot \overline{g_m \cdot x_m^{n+s}} + e_m \cdot \overline{h_m \cdot x_m^{n+r}} + \\
& + e_m \cdot \overline{k_m \cdot x_m^{2 \cdot n}} + e_m \cdot \overline{l_m \cdot x_m^n} + \overline{f_m \cdot x_m^w} + \overline{f_m \cdot g_m \cdot x_m^s} + \\
& + \overline{f_m \cdot h_m \cdot x_m^r} + \overline{f_m \cdot k_m \cdot x_m^n} + \overline{f_m \cdot l_m} = d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} + \\
& + d_m \cdot \overline{g_m \cdot x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{h_m \cdot x_m^{2 \cdot r}} + d_m \cdot \overline{k_m \cdot x_m^{n+r}} + \\
& + d_m \cdot \overline{l_m \cdot x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+w}} + e_m \cdot \overline{g_m \cdot x_m^{n+s}} + e_m \cdot \overline{h_m \cdot x_m^{n+r}} + \\
& + e_m \cdot \overline{k_m \cdot x_m^{2 \cdot n}} + e_m \cdot \overline{l_m \cdot x_m^n} + \overline{f_m \cdot x_m^w} + \overline{f_m \cdot g_m \cdot x_m^s} + \\
& + \overline{f_m \cdot h_m \cdot x_m^r} + \overline{f_m \cdot k_m \cdot x_m^n} - \overline{f_m \cdot x_m^w} - \overline{f_m \cdot g_m \cdot x_m^s} - \\
& - \overline{f_m \cdot h_m \cdot x_m^r} - \overline{f_m \cdot k_m \cdot x_m^n} = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& g_m \cdot (\overline{x_m^{2 \cdot s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}) = \\
& = -h_m \cdot (\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}}) - \\
& - k_m \cdot (\overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot n}}) - \\
& - l_m \cdot (\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}) - \\
& - (\overline{x_m^{s+w}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+w}});
\end{aligned}$$

$$\boxed{t_{m9} = \overline{x_m^{2 \cdot s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+s}};}$$

$$\boxed{t_{m10} = \overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}};}$$

$$\boxed{t_{m11} = \overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot n}};}$$

$$\boxed{t_{m12} = \overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}};$$

$$\boxed{t_{m13} = \overline{x_m^{s+w}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};}$$

$$g_m \cdot t_{m9} = -h_m \cdot t_{m10} - K_m \cdot t_{m11} - l_m \cdot t_{m12} - t_{m13};$$

$$g_m \cdot t_{m9} = -h_m \cdot t_{m10} - K_m \cdot t_{m11} + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} +$$

$$+ g_m \cdot t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} + K_m \cdot t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m13};$$

$$g_m \cdot (t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s}) = h_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10}) +$$

$$+ K_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m11}) + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$\boxed{t_{m14} = t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m13};}$$

$$g_m \cdot (t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s}) = h_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10}) +$$

$$+ g_m \cdot t_{m14} \cdot \beta_m + h_m \cdot t_{m14} \cdot a_m + t_{m14} \cdot \overline{z_m} +$$

$$+ t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$g_m \cdot (t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} - t_{m14} \cdot \beta_m) = h_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10} +$$

$$+ t_{m14} \cdot a_m) + t_{m14} \cdot \overline{z_m} + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$\boxed{t_{m15} = t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} - t_{m14} \cdot \beta_m;}$$

$$\boxed{t_{m16} = t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10} + t_{m14} \cdot a_m;}$$

$$\boxed{t_{m17} = t_{m14} \cdot \overline{z_m} + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};}$$

$$g_m \cdot t_{m15} = h_m \cdot t_{m16} + t_{m17}; \quad h_m = g_m \cdot \frac{t_{m7}}{t_{m6}} + \frac{t_{m8}}{t_{m6}};$$

$$t_{m15} \cdot g_m = \\ = g_m \cdot \frac{t_{m7} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} + \frac{t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} + t_{m17};$$

$$g_m \cdot \left(t_{m15} - \frac{t_{m7} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} \right) = \frac{t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} + t_{m17};$$

$$g_m = \frac{t_{m17} + \frac{t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6}}}{t_{m15} - \frac{t_{m7} \cdot t_{m16}}{t_{m6}}};$$

$$g_m = \frac{t_{m6} \cdot t_{m17} + t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6} \cdot t_{m15} - t_{m7} \cdot t_{m16}}.$$

$$v_m = -\overline{x_n^m}; \quad (2)$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n} \right)^2}; \quad (3)$$

$$c_m = -\left(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n} \right); \quad (4)$$

$$p_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n} \right)^2};$$

$$t_{m1} = \overline{x_m^r} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} + P_m (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}});$$

$$t_{m2} = a_m (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}) + a_m P_m [(\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2n}}];$$

$$t_{m3} = \overline{x_m^{2r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2a_m (\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} - \overline{x_m^r});$$

$$d_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{t_{m3} + a_m^2 \cdot \left[\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2 \right]}; \quad (5)$$

$$e_m = d_m \cdot a_m + P_m; \quad (6)$$

$$f_m = -\left(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n} \right); \quad (7)$$

$$t_{m4} = \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n};$$

$$t_{m5} = t_{m4} \cdot \overline{x_m^n} - \overline{x_m^{n+r}} - a_m \cdot \overline{x_m^{2n}};$$

$$t_{m6} = \overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m5} \cdot a_m;$$

$$t_{m7} = t_{m4} \cdot \overline{x_m^s} + t_{m5} \cdot P_m - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}};$$

$$z_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{n+w}}}{\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2};$$

$$t_{m8} = t_{m5} \cdot z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$t_{m9} = \overline{x_m^{2s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+s}};$$

$$t_{m10} = \overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}};$$

$$t_{m11} = \overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2n}};$$

$$t_{m12} = \overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n};$$

$$t_{m13} = \overline{x_m^{s+w}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$t_{m14} = t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m11};$$

$$t_{m15} = t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} - t_{m14} \cdot P_m;$$

$$t_{m16} = t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10};$$

$$t_{m17} = t_{m14} \cdot z_m + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$g_m = \frac{t_{m6} \cdot t_{m17} + t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6} \cdot t_{m15} - t_{m7} \cdot t_{m16}}; \quad (8)$$

$$h_m = \frac{(g_m \cdot t_{m7} + t_{m8})}{t_{m6}}; \quad (9)$$

$$k_m = g_m \cdot P_m + h_m \cdot a_m + z_m; \quad (10)$$

$$l_m = -(\overline{x_m^w} + g_m \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot \overline{x_m^r} + k_m \cdot \overline{x_m^n}) \quad (11)$$

Подстановка в уравнение (1) и в матрицу планирования (см.табл.1) рассчитанных по формулам (2) – (11) величин коэффициентов ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования однофакторных и многофакторных экспериментов на пяти асимметричных уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (1) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{o,u}^2} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N y_u = \frac{1}{N} \cdot (y_a + y_b + y_c + y_d + y_e);$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{mn,u}^2} = \frac{(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b + x_{mne} \cdot y_e + x_{mnc} \cdot y_c + x_{mnd} \cdot y_d)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2 + x_{mne}^2};$$

$$b_{mr} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{mr,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{mr,u}^2} = \frac{(x_{mra} \cdot y_a + x_{mrb} \cdot y_b + x_{mre} \cdot y_e + x_{mrc} \cdot y_c + x_{mrd} \cdot y_d)}{x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2 + x_{mre}^2}$$

$$b_{ms} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ms,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{ms,u}^2} = \frac{(x_{msa} \cdot y_a + x_{msb} \cdot y_b + x_{mse} \cdot y_e + x_{msc} \cdot y_c + x_{msd} \cdot y_d)}{x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2 + x_{mse}^2}$$

$$b_{mw} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{mw,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{mw,u}^2} = \frac{(x_{mwa} \cdot y_a + x_{mwb} \cdot y_b + x_{mwe} \cdot y_e + x_{mwc} \cdot y_c + x_{mwd} \cdot y_d)}{x_{mwa}^2 + x_{mwb}^2 + x_{mwc}^2 + x_{mwd}^2 + x_{mwe}^2}$$

$$s^2 \{b'_0\} = \frac{1}{N} \cdot s^2 \{y\};$$

$$s^2 \{b_{mn}\} = s^2 \{y\} / (x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2 + x_{mne}^2);$$

$$s^2 \{b_{mr}\} = s^2 \{y\} / (x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2 + x_{mre}^2);$$

$$s^2 \{b_{ms}\} = s^2 \{y\} / (x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2 + x_{mse}^2);$$

$$s^2 \{b_{mw}\} = s^2 \{y\} / (x_{mwa}^2 + x_{mwb}^2 + x_{mwc}^2 + x_{mwd}^2 + x_{mwe}^2);$$

где $s^2 \{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2 \{b'_{of}\}$, $s^2 \{b_{mnf}\}$, $s^2 \{b_{mrf}\}$, $s^2 \{b_{msf}\}$, $s^2 \{b_{mwf}\}$ - дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_{o} , b_{mn} , b_{mr} , b_{ms} , b_{mw} .

При математическом моделировании на пяти уровнях m -го фактора $N = 5$.

В многочлене (1) каждый последующий член имеет на один коэффициент ортогонализации больше, чем предыдущий член. Так, второй член имеет один коэффициент ортогонализации, третий член - два, четвертый член - три, пятый член - четыре коэффициента ортогонализации, а всего получилось десять коэффициентов ортогонализации, причем по мере увеличения количества коэффициентов ортогонализации усложняются формулы для расчета этих коэффициентов. Очевидно, что планирование экспериментов на пяти уровнях независимых переменных является предельным и вполне достаточным для выявления сложных математических моделей процессов. Важной особенностью уравнения регрессии (1) и матрицы планирования (см. табл. 1) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов и перехода в частных случаях к планированию на четырех и трех уровнях факторов.

Рационально выявлять многофакторные математические модели и производить оптимизацию сложных процессов по системе сравнительно простых уровней на основе полинома (1).

В табл. 2, 3, 4, 5, 6, 7 приведены планы $4 \cdot k + 1$, а на рис. 2, 3, 4, 5, 6, 7 схемы зависимостей показателей от факторов, когда количество факторов k соответственно 2, 3, 4, 5, 6, 7. Планирование предусматривается на пяти уровнях каждого фактора. Средний уровень каждого фактора является арифметической величиной $x_{me} = 0,5 \cdot (x_{ma} + x_{mb})$, что позволяет все средние уровни факторов совместить в одной общей точке и создать пучок кривых линий. Количество линий в пучке равно количеству факторов (см. рис. 2-7). В табл. 2-7 обозначение факторов и показателей соответствует принятым в компьютерных программах, причем $E1 = 0,5 \cdot (x_{1a} + x_{1b})$, $E2 = 0,5 \cdot (x_{2a} + x_{2b})$, $E3 = 0,5 \cdot (x_{3a} + x_{3b})$, $E4 = 0,5 \cdot (x_{4a} + x_{4b})$, $E5 = 0,5 \cdot (x_{5a} + x_{5b})$, $E6 = 0,5 \cdot (x_{6a} + x_{6b})$, $E7 = 0,5 \cdot (x_{7a} + x_{7b})$.

На среднем уровне факторов опыты надо повторять несколько раз для выявления дисперсий $s^2\{y\}$. При планировании экспериментов на пяти уровнях факторов можно получить систему, в которую будет входить столько уравнений, сколько принять факторов, влияющих на показатель. Система уравнений может быть математической моделью сложного многофакторного процесса. Анализируя каждое полученное уравнение системы и результаты расчетов по уравнениям, можно выявлять возможность оптимизации процессов, прогнозировать улучшение показателей, разрабатывать новые составы, устройства, вещества. На основе планирования $4 \cdot k + 1$ можно получать разнообразные математические зависимости, которые графически могут быть такими, как показаны на рис. 2-7, и более сложными. Используя выявленные существенные факторы, рациональные интервалы варьирования факторов, наиболее приемлемые показатели степени факторов в уравнениях регрессии можно обоснованно перейти на математическое моделирование 5^2 , когда количество факторов 2, а количество уровней каждого фактора 5. Рационально заменять отдельные существенные факторы комплексными факторами или зависимостями одних факторов от других.

Таблица 2

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 2$

<i>№</i>	x_1	x_2	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$Y(5)$

Таблица 3

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 3$

$N\acute{o}$	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$E3$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$E3$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$E3$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$E3$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$E3$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$E3$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$E3$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$E3$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3 = x_{3a}$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3 = x_{3b}$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3 = x_{3c}$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3 = x_{3d}$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$Y(5)$

Таблица 4

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 4$

$N\acute{o}$	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$E3$	$E4$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$E3$	$E4$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$E3$	$E4$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$E3$	$E4$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3 = x_{3a}$	$E4$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3 = x_{3b}$	$E4$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3 = x_{3c}$	$E4$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3 = x_{3d}$	$E4$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4 = x_{4a}$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4 = x_{4b}$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4 = x_{4c}$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4 = x_{4d}$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$Y(5)$

Таблица 5

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 5$

$N\bar{o}$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3 = x_{3a}$	$E4$	$E5$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3 = x_{3b}$	$E4$	$E5$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3 = x_{3c}$	$E4$	$E5$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3 = x_{3d}$	$E4$	$E5$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4 = x_{4a}$	$E5$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4 = x_{4b}$	$E5$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4 = x_{4c}$	$E5$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4 = x_{4d}$	$E5$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$A5 = x_{5a}$	$Y(1)$
18	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$B5 = x_{5b}$	$Y(2)$
19	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$C5 = x_{5c}$	$Y(3)$
20	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$D5 = x_{5d}$	$Y(4)$
21	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(5)$

Таблица 6

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 6$

$N\bar{o}$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3 = x_{3a}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3 = x_{3b}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3 = x_{3c}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3 = x_{3d}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4 = x_{4a}$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4 = x_{4b}$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4 = x_{4c}$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4 = x_{4d}$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$A5 = x_{5a}$	$E6$	$Y(1)$
18	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$B5 = x_{5b}$	$E6$	$Y(2)$
19	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$C5 = x_{5c}$	$E6$	$Y(3)$
20	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$D5 = x_{5d}$	$E6$	$Y(4)$
21	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$A6 = x_{6a}$	$Y(1)$
22	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$B6 = x_{6b}$	$Y(2)$
23	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$C6 = x_{6c}$	$Y(3)$
24	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$D6 = x_{6d}$	$Y(4)$
25	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(5)$

Таблица 7

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 7$

N_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y
1	$A1=x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
2	$B1=x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
3	$C1=x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
4	$D1=x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2=x_{2a}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2=x_{2b}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2=x_{2c}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2=x_{2d}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3=x_{3a}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3=x_{3b}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3=x_{3c}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3=x_{3d}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4=x_{4a}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4=x_{4b}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4=x_{4c}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4=x_{4d}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$A5=x_{5a}$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
18	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$B5=x_{5b}$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
19	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$C5=x_{5c}$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
20	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$D5=x_{5d}$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
21	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$A6=x_{6a}$	$E7$	$Y(1)$
22	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$B6=x_{6b}$	$E7$	$Y(2)$
23	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$C6=x_{6c}$	$E7$	$Y(3)$
24	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$D6=x_{6d}$	$E7$	$Y(4)$
25	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$A7=x_{7a}$	$Y(1)$
26	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$B7=x_{7b}$	$Y(2)$
27	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$C7=x_{7c}$	$Y(3)$
28	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$D7=x_{7d}$	$Y(4)$
29	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(5)$

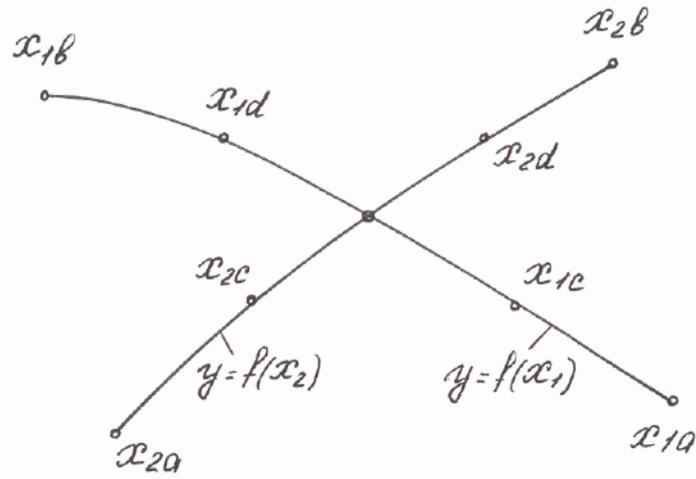


Рис. 2. Схема зависимости показателя от двух факторов при планировании $4 \cdot 2 + 1$

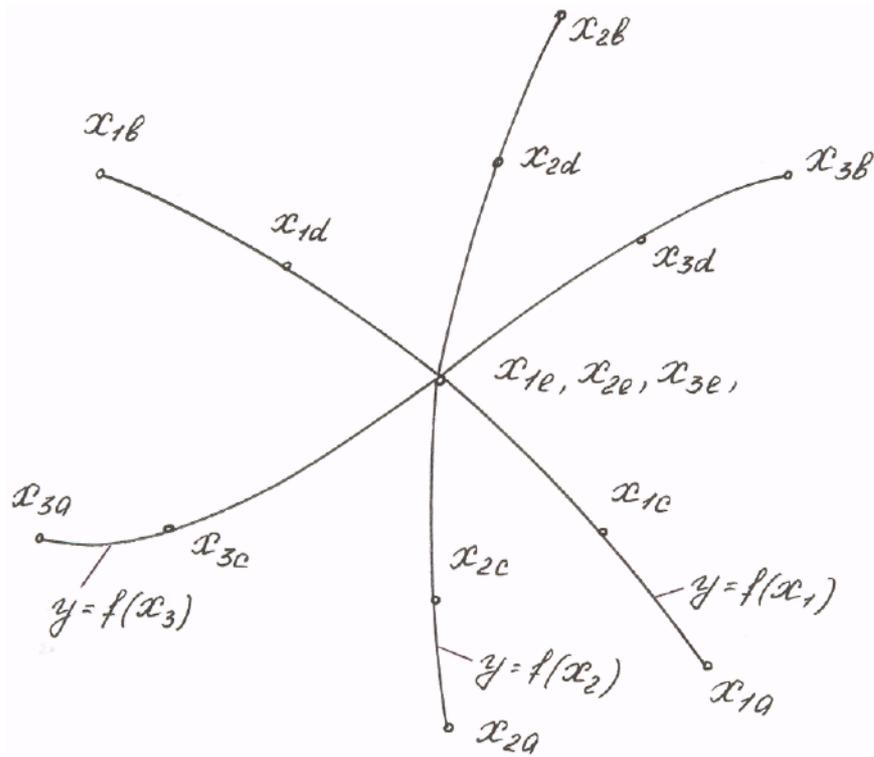


Рис. 3. Схема зависимости показателя от трех факторов при планировании $4 \cdot 3 + 1$

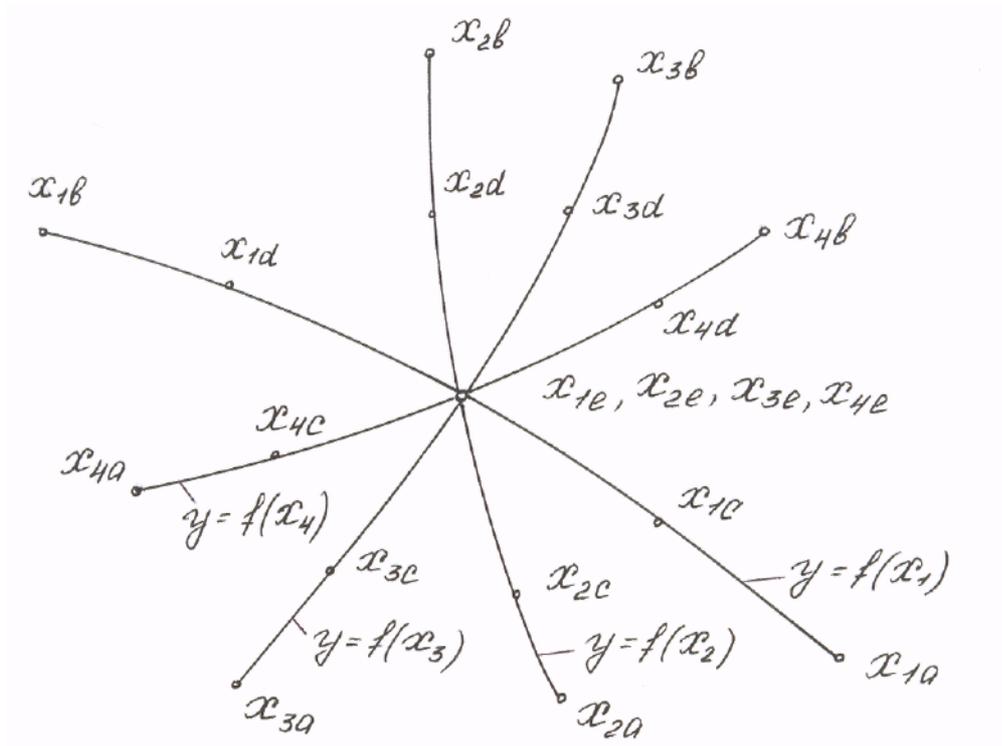


Рис. 4. Схема зависимости показателя от четырех факторов при планировании $4 \cdot 4 + 1$

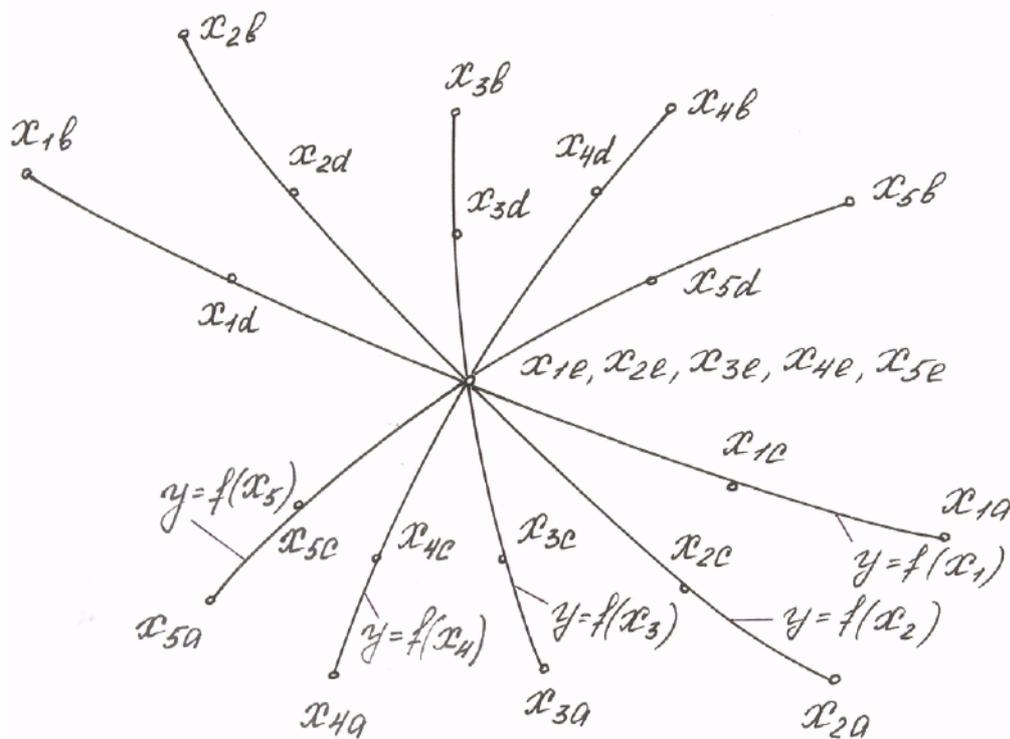


Рис. 5. Схема зависимости показателя от пяти факторов при планировании $4 \cdot 5 + 1$

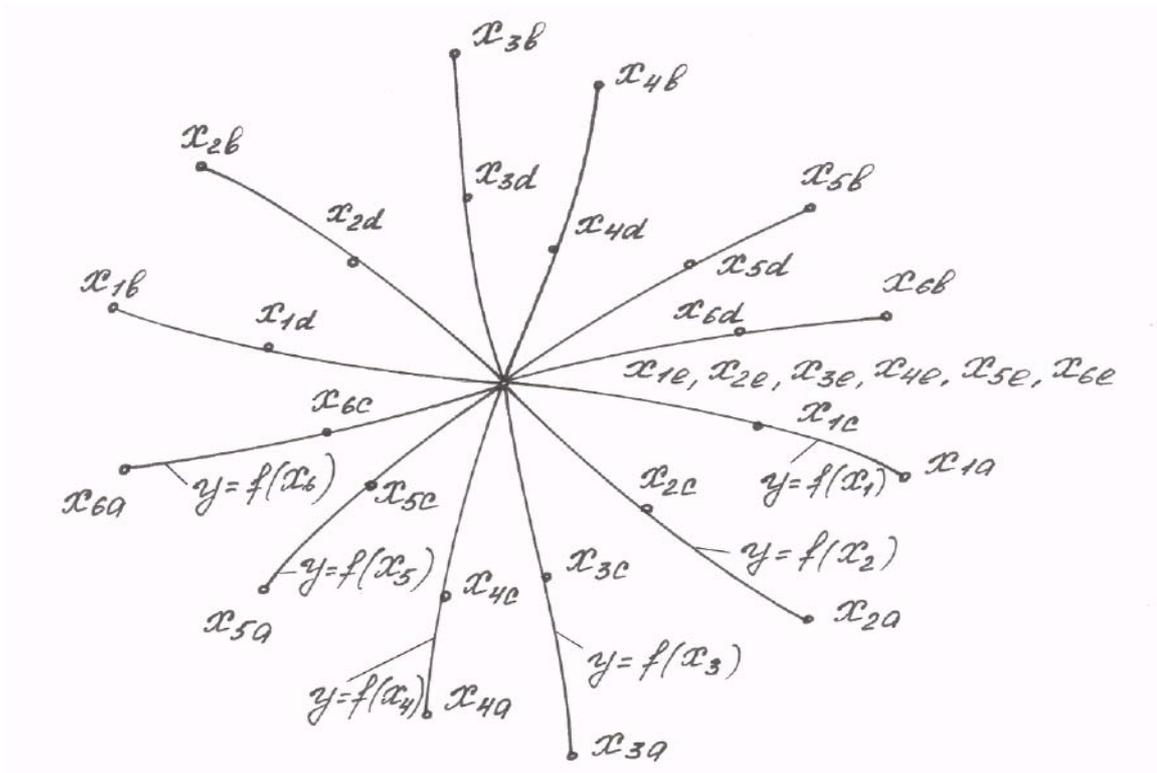


Рис. 6. Схема зависимости показателя от шести факторов при планировании $4 \cdot 6 + 1$

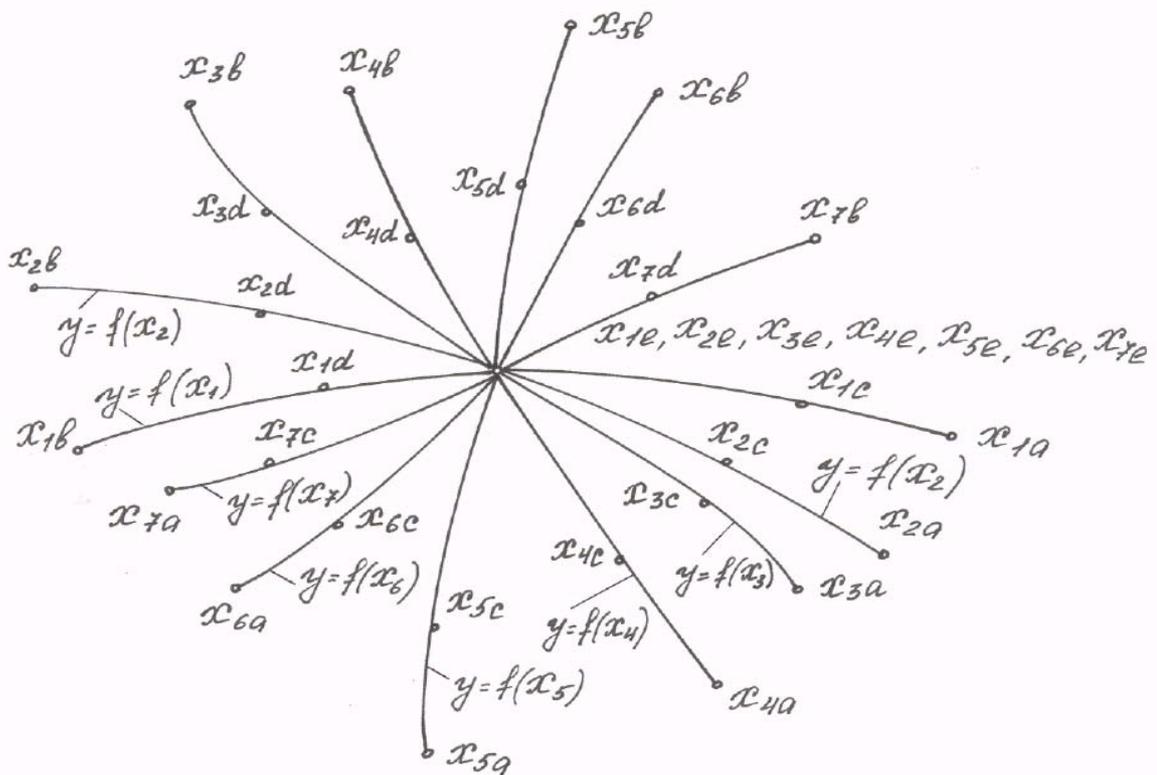


Рис. 7. Схема зависимости показателя от семи факторов при планировании $4 \cdot 7 + 1$

На рис. 8 представлена в общем виде графическая зависимость показателя от двух факторов.

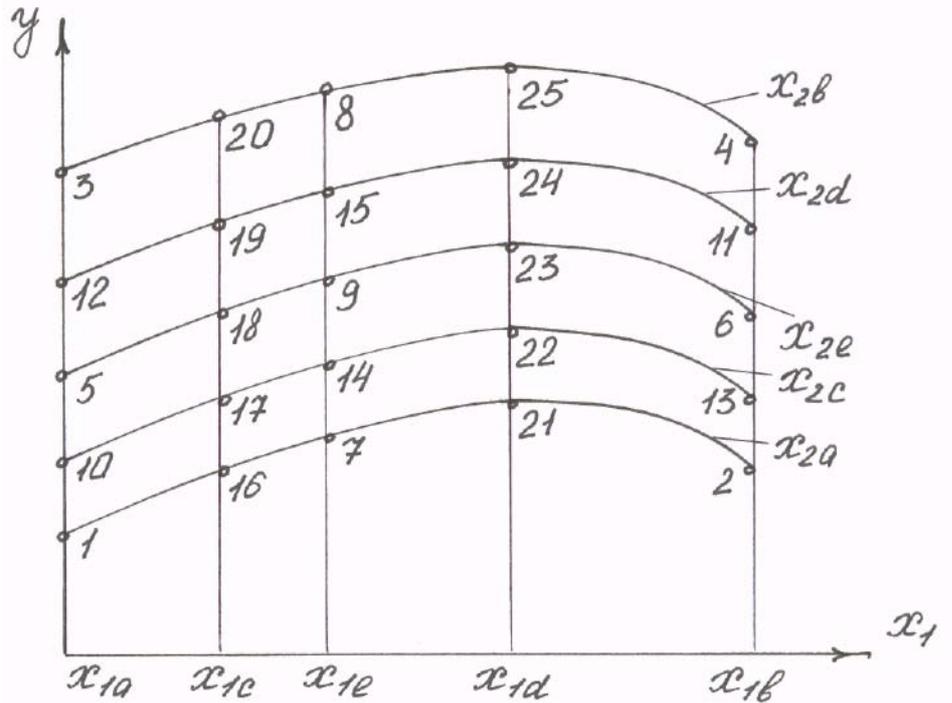


Рис. 8. Зависимость показателя от двух факторов

Если записать в виде таблицы координаты точек 1-25 рис.8, то получается план проведения двухфакторных экспериментов на пяти и, в частных случаях, на трех, двух уровнях независимых переменных (табл. 8).

Таблица 8

Планы проведения двухфакторных экспериментов $5^2, 3^3, 2^2$

План	№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u	
2^2	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1	
	2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2	
	3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3	
	4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4	
	3^2	5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
		6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
		7	$x_{1,7}=x_{1e}$	$x_{2,7}=x_{2a}$	y_7
		8	$x_{1,8}=x_{1e}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	y_8
		9	$x_{1,9}=x_{1e}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	y_9
5^2	10	$x_{1,10}=x_{1a}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}	
	11	$x_{1,11}=x_{1b}$	$x_{2,11}=x_{2d}$	y_{11}	
	12	$x_{1,12}=x_{1a}$	$x_{2,12}=x_{2d}$	y_{12}	
	13	$x_{1,13}=x_{1b}$	$x_{2,13}=x_{2c}$	y_{13}	
	14	$x_{1,14}=x_{1e}$	$x_{2,14}=x_{2c}$	y_{14}	
	15	$x_{1,15}=x_{1e}$	$x_{2,15}=x_{2d}$	y_{15}	
	16	$x_{1,16}=x_{1c}$	$x_{2,16}=x_{2a}$	y_{16}	
	17	$x_{1,17}=x_{1c}$	$x_{2,17}=x_{2c}$	y_{17}	
	18	$x_{1,18}=x_{1c}$	$x_{2,18}=x_{2e}$	y_{18}	
	19	$x_{1,19}=x_{1c}$	$x_{2,19}=x_{2d}$	y_{19}	
	20	$x_{1,20}=x_{1c}$	$x_{2,20}=x_{2b}$	y_{20}	
	21	$x_{1,21}=x_{1d}$	$x_{2,21}=x_{2a}$	y_{21}	
	22	$x_{1,22}=x_{1d}$	$x_{2,22}=x_{2c}$	y_{22}	
	23	$x_{1,23}=x_{1d}$	$x_{2,23}=x_{2e}$	y_{23}	
	24	$x_{1,24}=x_{1d}$	$x_{2,24}=x_{2d}$	y_{24}	
	25	$x_{1,25}=x_{1d}$	$x_{2,25}=x_{2b}$	y_{25}	

Для плана 5^2 уравнение регрессии определяется исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r} + a_{1s} \cdot x_{1s} + a_{1w} \cdot x_{1w} ; \quad (12)$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s} + c_{2w} \cdot x_{2w} ;$

$$a_n = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s} + d_{2w} \cdot x_{2w} ;$$

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s} + e_{2w} \cdot x_{2w} ;$$

$$a_{1s} = f'_o + f_{2n} \cdot x_{2n} + f_{2r} \cdot x_{2r} + f_{2s} \cdot x_{2s} + f_{2w} \cdot x_{2w} ;$$

$$a_{1w} = g'_o + g_{2n} \cdot x_{2n} + g_{2r} \cdot x_{2r} + g_{2s} \cdot x_{2s} + g_{2w} \cdot x_{2w} .$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получается следующий полином для плана 5^2 (см. табл. 8):

$$\begin{aligned}
 y = & b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + \\
 & + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1s} \cdot x_{1s} + b_{2s} \cdot x_{2s} + \\
 & + b_{1n,2s} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2n,1s} \cdot x_{2n} \cdot x_{1s} + b_{1r,2s} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2r,1s} \cdot x_{2r} \cdot x_{1s} + \\
 & + b_{1s,2s} \cdot x_{1s} \cdot x_{2s} + b_{1w} \cdot x_{1w} + b_{2w} \cdot x_{2w} + b_{1n,2w} \cdot x_{1n} \cdot x_{2w} + b_{2n,1w} \cdot x_{2n} \cdot x_{1w} + \\
 & + b_{1r,2w} \cdot x_{1r} \cdot x_{2w} + b_{2r,1w} \cdot x_{2r} \cdot x_{1w} + b_{1s,2w} \cdot x_{1s} \cdot x_{2w} + b_{2s,1w} \cdot x_{2s} \cdot x_{1w} + \\
 & + b_{1w,2w} \cdot x_{1w} \cdot x_{2w}
 \end{aligned} \tag{13}$$

В уравнениях регрессии (13) y - показатель (параметр) процесса;

$$x_0 = +1; x_{1n} = x^n_1 + v_1;$$

$$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1; x_{1s} = x^s_1 + d_1 \cdot x^r_1 + e_1 \cdot x^n_1 + f_1;$$

$$x_{1w} = x^w_1 + g_1 \cdot x^s_1 + h_1 \cdot x^r_1 + k_1 \cdot x^n_1 + l_1; x_{2n} = x^n_2 + v_2;$$

$$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2; x_{2s} = x^s_2 + d_2 \cdot x^r_2 + e_2 \cdot x^n_2 + f_2;$$

$$x_{2w} = x^w_2 + g_2 \cdot x^s_2 + h_2 \cdot x^r_2 + k_2 \cdot x^n_2 + l_2;$$

x_1, x_2 - 1, 2-й факторы (независимые переменные); n, r, s, w - изменяемые числа показателей степени факторов; $v_1, a_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, k_1, l_1$ - коэффициенты ортогонализации, определяемые при пяти уровнях 1-го фактора, $m = 1, N = 5$ по формулам (2)-(11);

$v_2, a_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2, k_2, l_2$ - коэффициенты ортогонализации, определяемые при пяти уровнях 2-го фактора, $m = 2, N = 5$ по формулам (2) - (11);

$b'_0, b_{1n}, b_{2n}, b_{1n,2n}, b_{1r}, b_{2r}, b_{1n,2r}, b_{2n,1r}, b_{1r,2r}, b_{1s}, b_{2s}, b_{1n,2s}, b_{2n,1s}, b_{1r,2s}, b_{2r,1s}, b_{1s,2s}, b_{1w}, b_{2w}, b_{1n,2w}, b_{2n,1w}, b_{1r,2w}, b_{2r,1w}, b_{1s,2w}, b_{2s,1w}, b_{1w,2w}$ - коэффициенты регрессии. Для уровней a, b, c, d, e факторы имеют следующие обозначения: $x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{1d}, x_{1e}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{2d}, x_{2e}$.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнения (13) имеют следующий вид:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{0,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{0,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}; \quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1n,u}^2};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2n,u}^2}; \quad b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1r,u}^2}; \quad b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1s,u}^2};$$

$$b_{2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2s,u}^2}; \quad b_{1n,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{2n,1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \quad b_{1r,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{2r,1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2r,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \quad b_{1s,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1s,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{1w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1w,u}^2}; \quad b_{2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2w,u}^2};$$

$$b_{1n,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2w,u})^2}; b_{2n,1w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1w,u})^2};$$

$$b_{1r,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2w,u})^2}; b_{2r,1w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2r,u} \cdot x_{1w,u})^2};$$

$$b_{1s,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1s,u} \cdot x_{2w,u})^2}; b_{2s,1w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2s,u} \cdot x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2s,u} \cdot x_{1w,u})^2};$$

$$b_{1w,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1w,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1w,u} \cdot x_{2w,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x^n_{1,u} + v_1; \quad x_{1r,u} = x^r_{1,u} + a_1 \cdot x^n_{1,u} + c_1;$$

$$x_{1s,u} = x^s_{1,u} + d_1 \cdot x^r_{1,u} + e_1 \cdot x^n_{1,u} + f_1;$$

$$x_{1w,u} = x^w_{1,u} + q_1 \cdot x^s_{1,u} + h_1 \cdot x^r_{1,u} + \kappa_1 x^n_{1,u} + l_1;$$

$$x_{2n,u} = x^n_{2,u} + v_2; \quad x_{2r,u} = x^r_{2,u} + a_2 \cdot x^n_{2,u} + c_2;$$

$$x_{2s,u} = x^s_{2,u} + d_2 \cdot x^r_{2,u} + e_2 \cdot x^n_{2,u} + f_2;$$

$$x_{2w,u} = x^w_{2,u} + q_2 \cdot x^s_{2,u} + h_2 \cdot x^r_{2,u} + \kappa_2 \cdot x^n_{2,u} + l_2,$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов.

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии. В формулы подставляются данные от 1-го до N -го опыта плана, соответствующего уравнению регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_{0j}\}$, $s^2\{b_{1nj}\}$, $s^2\{b_{2nj}\}$, $s^2\{b_{1n,2nj}\}$, $s^2\{b_{1rj}\}$, $s^2\{b_{2rj}\}$, $s^2\{b_{1n,2rj}\}$, $s^2\{b_{2n,1rj}\}$, $s^2\{b_{1r,2rj}\}$, $s^2\{b_{1sj}\}$, $s^2\{b_{2sj}\}$, $s^2\{b_{1n,2sj}\}$, $s^2\{b_{2n,1sj}\}$, $s^2\{b_{1r,2sj}\}$, $s^2\{b_{2r,1sj}\}$, $s^2\{b_{1s,2sj}\}$, $s^2\{b_{1wj}\}$, $s^2\{b_{2wj}\}$, $s^2\{b_{1n,2wj}\}$, $s^2\{b_{2n,1wj}\}$, $s^2\{b_{1r,2wj}\}$, $s^2\{b_{2r,1wj}\}$, $s^2\{b_{1s,2wj}\}$, $s^2\{b_{2s,1wj}\}$, $s^2\{b_{1w,2wj}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$, $w = 4$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов

регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. Математическая модель процесса получается после подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии. Если при проверке выясняется, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и основа выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

Математическое моделирование рационально начитать при планировании экспериментов на двух уровнях факторов.

Для математического моделирования процессов при ортогональном планировании экспериментов на двух уровнях независимых переменных предложено уравнение регрессии, в общем виде представляющее двухчлен

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn}; \quad (14)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x_m^n + v_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m – m -й фактор (независимое переменное); n – изменяемое число показателя степени фактора; v_m – коэффициент ортогонализации; b'_o, b_{mn} – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m -го фактора x_{ma}, x_{mb} определяются соответственно показатели y_a, y_b .

В табл. 9 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на двух уровнях независимых переменных.

Таблица 9

Матрица планирования однофакторных экспериментов на двух уровнях независимых переменных

№	Уровни факторов	x_o	x_{mn}
1	a	+1	$x_{mn,1} = x_{mna}$
2	b	+1	$x_{mn,2} = x_{mnb}$

В матрице планирования экспериментов (табл.9):

$$x_{mna} = x_{ma}^n + v_m; \quad x_{mnb} = x_{mb}^n + v_m;$$

Для сокращения дальнейших записей введено следующее обозначение средней арифметической величины:

$$\overline{x_m^n} = (x_{ma}^n + x_{mb}^n) / 2;$$

Ортогональность матрицы планирования (см. табл.9) обеспечивается в том случае, если

$$x_{mna} + x_{mnb} = 0.$$

После подстановки в это уравнение значений слагаемых, замены получаемой суммы средней арифметической величиной определяется коэффициент ортогонализации.

$$x_{ma}^n + v_m^* + x_{mb}^n + v_m^* = 0;$$

$$2 \cdot v_m^* = - (x_{ma}^n + x_{mb}^n);$$

$$v_m^* = - \frac{1}{2} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n) = - \overline{x_m^n};$$

$$\underline{v_m^* = - \overline{x_m^n}}.$$

$$v_m = - \overline{x_m^n} \quad (15)$$

Подстановка в уравнение (14) и в матрицу планирования (см. табл.9) рассчитанную по формуле (15) величины коэффициента ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования экспериментов на двух уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (14) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b'_o = \frac{\sum_{u=1}^2 x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^2 x_{o,u}^2} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{u=1}^2 y_u = \frac{1}{2} \cdot (y_a + y_b); \quad (16)$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^2 x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^2 x_{mn,u}^2} = \frac{(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2}; \quad (17)$$

$$s^2 \{b'_o\} = \frac{1}{2} \cdot s^2 \{y\};$$

$$s^2 \{b_{mn}\} = s^2 \{y\} / (x_{mna}^2 + x_{mnb}^2),$$

где $s^2 \{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2 \{b'_o\}$, $s^2 \{b_{mn}\}$, - дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_o , b_{mn} .

Важной особенностью уравнения регрессии (14) и матрицы планирования (см. табл.9) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов.

В табл. 10-14 представлены планы проведения экспериментов 2^1 , 2^2 , 2^3 , 2^4 , 2^5 применительно к использованию ЭВМ для математического моделирования (X – количество опытов по плану).

Таблица 10

План 2^1 ($X = 2$)

Номер опыта	Фактор $F(J), x_1$	Показатель $Y(J), y$
1	$A1 = x_{1a}$	$Y(1) = y_a$
2	$B1 = x_{1b}$	$Y(2) = y_b$

Таблица 11

План 2^2 ($X = 4$)

Номер опыта	Факторы		Показатель $Y(J), y$
	$F(J), x_1$	$H(J), x_2$	
1	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$Y(1) = y_1$
2	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$Y(2) = y_2$
3	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$Y(3) = y_3$
4	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$Y(4) = y_4$

Таблица 12

План 2^3 ($X = 8$)

Номер опыта	Факторы			Показатель $Y(J), y$
	$F(J), x_1$	$H(J), x_2$	$L(J), x_3$	
1	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$A3 = x_{3a}$	$Y(1) = y_1$
2	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$A3 = x_{3a}$	$Y(2) = y_2$
3	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$A3 = x_{3a}$	$Y(3) = y_3$
4	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$A3 = x_{3a}$	$Y(4) = y_4$
5	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$B3 = x_{3b}$	$Y(5) = y_5$
6	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$B3 = x_{3b}$	$Y(6) = y_6$
7	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$B3 = x_{3b}$	$Y(7) = y_7$
8	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$B3 = x_{3b}$	$Y(8) = y_8$

План 2^4 ($X = 16$)

Номер опыта	Факторы				Показатель $Y(J), y$
	$F(J), x_1$	$H(J), x_2$	$L(J), x_3$	$K(J), x_4$	
1	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$A3 = x_{3a}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(1) = y_1$
2	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$A3 = x_{3a}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(2) = y_2$
3	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$A3 = x_{3a}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(3) = y_3$
4	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$A3 = x_{3a}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(4) = y_4$
5	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$B3 = x_{3b}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(5) = y_5$
6	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$B3 = x_{3b}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(6) = y_6$
7	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$B3 = x_{3b}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(7) = y_7$
8	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$B3 = x_{3b}$	$A4 = x_{4a}$	$Y(8) = y_8$
9	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$A3 = x_{3a}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(9) = y_9$
10	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$A3 = x_{3a}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(10) = y_{10}$
11	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$A3 = x_{3a}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(11) = y_{11}$
12	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$A3 = x_{3a}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(12) = y_{12}$
13	$A1 = x_{1a}$	$A2 = x_{2a}$	$B3 = x_{3b}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(13) = y_{13}$
14	$B1 = x_{1b}$	$A2 = x_{2a}$	$B3 = x_{3b}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(14) = y_{14}$
15	$A1 = x_{1a}$	$B2 = x_{2b}$	$B3 = x_{3b}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(15) = y_{15}$
16	$B1 = x_{1b}$	$B2 = x_{2b}$	$B3 = x_{3b}$	$B4 = x_{4b}$	$Y(16) = y_{16}$

Таблица 14

План 2^5 ($X = 32$)

Номер опыта	Факторы					Показа- тель $Y(J), y$
	F(J) , x_1	H(J) , x_2	L(J) , x_3	K(J), x_4	M(J), x_5	
1	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(1) = y_1$
2	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(2) = y_2$
3	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(3) = y_3$
4	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(4) = y_4$
5	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(5) = y_5$
6	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(6) = y_6$
7	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(7) = y_7$
8	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	$Y(8) = y_8$
9	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(9) = y_9$
10	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(10) = y_{10}$
11	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(11) = y_{11}$
12	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(12) = y_{12}$
13	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(13) = y_{13}$
14	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(14) = y_{14}$
15	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(15) = y_{15}$
16	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	$Y(16) = y_{16}$
17	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(17) = y_{17}$
18	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(18) = y_{18}$
19	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(19) = y_{19}$
20	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(20) = y_{20}$
21	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(21) = y_{21}$
22	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(22) = y_{22}$
23	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(23) = y_{23}$
24	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	$Y(24) = y_{24}$
25	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(25) = y_{25}$
26	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(26) = y_{26}$
27	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(27) = y_{27}$
28	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(28) = y_{28}$
29	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(29) = y_{29}$
30	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(30) = y_{30}$
31	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(31) = y_{31}$
32	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3 = x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	$Y(32) = y_{32}$

Для планов 2^2 , 2^3 , 2^4 , 2^5 уравнения регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_0 + a_{1n} \cdot x_{1n},$$

$$\text{ГДЕ } a'_0 = c'_0 \cdot x_0 + c_{2n} \cdot x_{2n}, \quad a_{1n} = d'_0 + d_{2n} \cdot x_{2n};$$

$$y = a'_0 + a_{1n} \cdot x_{1n}$$

$$\text{ГДЕ } a'_0 = c'_0 + c_{2n} \cdot x_{2n}, \quad a_{1n} = d'_0 + d_{2n} \cdot x_{2n}, \quad c'_0 = f'_0 \cdot x_0 + f_{3n} \cdot x_{3n},$$

$$c_{2n} = g'_0 + g_{3n} \cdot x_{3n}, \quad d'_0 = k'_0 + k_{3n} \cdot x_{3n}, \quad d_{2n} = l'_0 + l_{3n} \cdot x_{3n};$$

$$y = a'_0 + a_{1n} \cdot x_{1n},$$

$$\text{ГДЕ } a'_0 = c'_0 + c_{2n} \cdot x_{2n}, \quad a_{1n} = d'_0 + d_{2n} \cdot x_{2n},$$

$$c'_0 = f'_0 \cdot x_0 + f_{3n} \cdot x_{3n}, \quad c_{2n} = g'_0 + g_{3n} \cdot x_{3n},$$

$$d'_0 = k'_0 + k_{3n} \cdot x_{3n}, \quad d_{2n} = l'_0 + l_{3n} \cdot x_{3n},$$

$$f'_0 = m'_0 + m_{4n} \cdot x_{4n}, \quad f_{3n} = p'_0 + p_{4n} \cdot x_{4n},$$

$$g'_0 = t'_0 + t_{4n} \cdot x_{4n}, \quad g_{3n} = v'_0 + v_{4n} \cdot x_{4n},$$

$$k'_0 = r'_0 + r_{4n} \cdot x_{4n}, \quad k_{3n} = s'_0 + s_{4n} \cdot x_{4n},$$

$$l'_0 = w'_0 + w_{4n} \cdot x_{4n}, \quad l_{3n} = h'_0 + h_{4n} \cdot x_{4n};$$

$$y = a'_0 + a_{1n} \cdot x_{1n},$$

$$\text{ГДЕ } a'_0 = c'_0 + c_{2n} \cdot x_{2n}, \quad a_{1n} = d'_0 + d_{2n} \cdot x_{2n},$$

$$c'_0 = f'_0 \cdot x_0 + f_{3n} \cdot x_{3n}, \quad c_{2n} = g'_0 + g_{3n} \cdot x_{3n},$$

$$d'_0 = k'_0 + k_{3n} \cdot x_{3n}, \quad d_{2n} = l'_0 + l_{3n} \cdot x_{3n},$$

$$f'_0 = m'_0 + m_{4n} \cdot x_{4n}, \quad f_{3n} = p'_0 + p_{4n} \cdot x_{4n},$$

$$g'_0 = t'_0 + t_{4n} \cdot x_{4n}, \quad g_{3n} = v'_0 + v_{4n} \cdot x_{4n},$$

$$k'_0 = r'_0 + r_{4n} \cdot x_{4n}, \quad k_{3n} = s'_0 + s_{4n} \cdot x_{4n},$$

$$l'_0 = w'_0 + w_{4n} \cdot x_{4n}, \quad l_{3n} = h'_0 + h_{4n} \cdot x_{4n};$$

$$m'_0 = G'_0 + G_{5n} \cdot x_{5n}, \quad m_{4n} = D'_0 + D_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$p'_0 = H'_0 + H_{5n} \cdot x_{5n}, \quad p_{4n} = L'_0 + L_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$t'_0 = M'_0 + M_{5n} \cdot x_{5n}, \quad t_{4n} = P'_0 + P_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$v'_0 = Q'_0 + Q_{5n} \cdot x_{5n}, \quad v_{4n} = R'_0 + R_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$r'_0 = V'_0 + V_{5n} \cdot x_{5n}, \quad r_{4n} = W'_0 + W_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$s'_0 = T'_0 + T_{5n} \cdot x_{5n}, \quad s_{4n} = E'_0 + E_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$w'_0 = C'_0 + C_{5n} \cdot x_{5n}, \quad w_{4n} = F'_0 + F_{5n} \cdot x_{5n},$$

$$h'_0 = K'_0 + K_{5n} \cdot x_{5n}, \quad h_{4n} = N'_0 + N_{5n} \cdot x_{5n}.$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получаются следующие полиномы для плана 2^2 (табл. 11):

$$y = b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n};$$

для плана 2^3 (табл. 12):

$$y = b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n},$$

для плана 2^4 (табл. 13):

$$y = b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{4n} \cdot x_{4n} + b_{1n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{4n} + b_{2n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} + b_{3n,4n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{2n,3n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n},$$

для плана 2^5 (табл. 14):

$$y = b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{4n} \cdot x_{4n} + b_{1n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{4n} + b_{2n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} + b_{3n,4n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{2n,3n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{5n} \cdot x_{5n} + b_{1n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{5n} + b_{2n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{5n} + b_{3n,5n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{1n,3n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{2n,3n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,3n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{4n,5n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{1n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{2n,4n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{3n,4n,5n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{1n,3n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{2n,3n,4n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,3n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n},$$

в которых y – показатель (параметр) процесса;

$$x_0 = +1; \quad x_{1n} = x_1^n + v_1; \quad x_{2n} = x_2^n + v_2; \quad x_{3n} = x_3^n + v_3; \quad x_{4n} = x_4^n + v_4; \quad x_{5n} = x_5^n + v_5;$$

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – 1, 2, 3, 4, 5-й факторы (независимые переменные);

n – изменяемое число показателя степени каждого фактора (n может равняться единице, быть больше или меньше 1);

v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 – коэффициенты ортогонализации, определяемые при двух уровнях каждого m -го фактора по формуле (15).

Так как планирование ортогональное, то все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга.

Следующими, более сложным математическим моделированием может быть моделирование на основе планирования экспериментов на трех уровнях факторов.

При планировании экспериментов на трех уровнях независимых переменных предложено универсальное уравнение регрессии, в общем виде представляющее трехчлен

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn} + b_{mr} \cdot x_{mr}; \quad (18)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x_m^n + v_m; \quad x_{mr} = x_m^r + a_m \cdot x_m^n + c_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m - m -й фактор (независимое переменное); n, r – изменяемые числа показателей степени факторов; v_m, a_m, c_m – коэффициенты ортогонализации; b'_o, b_{mn}, b_{mr} – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m -го фактора x_{ma} , x_{mb} , x_{me} определяются соответственно параметры y_a , y_b , y_e . Графически зависимость показателя от трех факторов показана на рис. 9 (в общем виде).

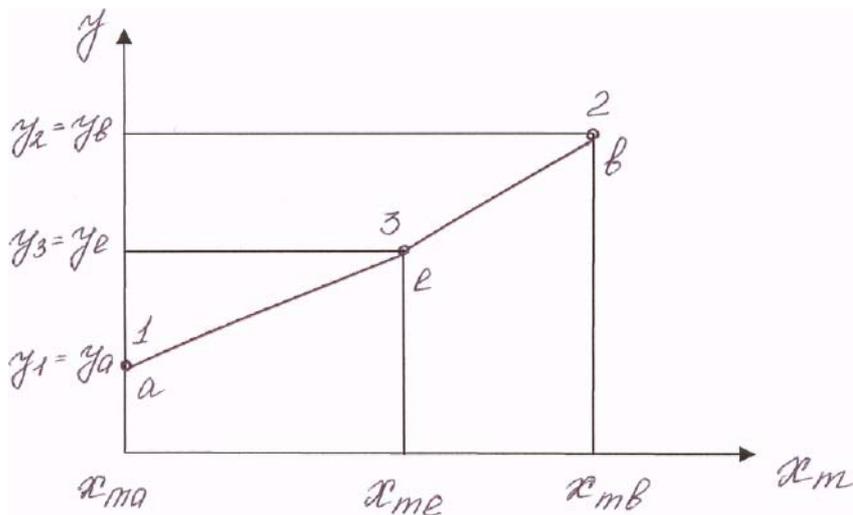


Рис. 9. Схема зависимости показателя от m -го фактора при планировании 3^1 (m – порядковый номер фактора)

В табл.15 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на трех уровнях независимых переменных.

Таблица 15

Матрица планирования однофакторных экспериментов на трех уровнях независимых переменных

№, у	Уровни факторов	x_o	x_{mn}	x_{mr}	y_u
1	a	+1	$x_{mn,1} = x_{mna}$	$x_{mr,1} = x_{mra}$	$y_1 = y_a$
2	b	+1	$x_{mn,2} = x_{mnb}$	$x_{mr,2} = x_{mrb}$	$y_2 = y_b$
3	e	+1	$x_{mn,3} = x_{mre}$	$x_{mr,3} = x_{mre}$	$y_3 = y_e$

В матрице планирования экспериментов (табл.15):

$$x_{mna} = x_{ma}^n + v_m ;$$

$$x_{mnb} = x_{mb}^n + v_m ;$$

$$x_{mne} = x_{me}^n + v_m ;$$

$$x_{mra} = x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m ;$$

$$x_{mrb} = x_{mb}^r + a_m \cdot x_{mb}^n + c_m ;$$

$$x_{mre} = x_{me}^r + a_m \cdot x_{me}^n + c_m .$$

Для сокращения дальнейших записей введены следующие обозначения средних арифметических величин:

$$\overline{x_m^n} = \frac{1}{3}(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n);$$

$$\overline{x_m^r} = \frac{1}{3}(x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{me}^r);$$

$$\overline{x_m^{2n}} = \frac{1}{3}(x_{ma}^{2n} + x_{mb}^{2n} + x_{me}^{2n});$$

$$\overline{x_m^{n+r}} = \frac{1}{3}(x_{ma}^{n+r} + x_{mb}^{n+r} + x_{me}^{n+r});$$

$$\overline{x_m} = \frac{1}{3}(x_{ma} + x_{mb} + x_{me});$$

Ортогональность матрицы планирования (см.табл.15) обеспечивается в том случае, если

$$x_{mna} + x_{mnb} + x_{mne} = 0,$$

$$x_{mra} + x_{mrb} + x_{mre} = 0,$$

$$x_{mna} \cdot x_{mra} + x_{mnb} \cdot x_{mrb} + x_{mne} \cdot x_{mre} = 0.$$

После подстановки в уравнения системы значений слагаемых и сомножителей, замены получаемых сумм средними арифметическими величинами и сокращения одинаковых величин получается система из трех уравнений, по которой определяются три коэффициента ортогонализации.

$$x_{ma}^n + v_m + x_{mb}^n + v_m + x_{me}^n + v_m = 0;$$

$$3 \cdot v_m = -(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n);$$

$$v_m = -\frac{1}{3} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n) = -\overline{x_m^n};$$

$$\underline{v_m = -\overline{x_m^n}}.$$

$$x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m + x_{mb}^r + a_m \cdot x_{mb}^n + c_m +$$

$$+ x_{me}^r + a_m \cdot x_{me}^n + c_m = 0;$$

$$(x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{me}^r) + a_m \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n) +$$

$$+ 3 \cdot c_m = 0;$$

$$\begin{aligned}
c_m &= -\frac{1}{3} \cdot (x_{m\alpha}^r + x_{m\beta}^r + x_{m\epsilon}^r) - \\
&\quad - a_m \cdot \frac{1}{3} \cdot (x_{m\alpha}^n + x_{m\beta}^n + x_{m\epsilon}^n) = \\
&= -\overline{x_m^r} - a_m \cdot \overline{x_m^n} = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}); \\
c_m &= -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n})
\end{aligned}$$

$$(\overline{x_{m\alpha}^n} + v_m) \cdot (\overline{x_{m\alpha}^r} + a_m \cdot \overline{x_{m\alpha}^n} + c_m) + \dots = 0;$$

$$\begin{aligned}
&x_{m\alpha}^{n+r} + a_m \cdot x_{m\alpha}^{2 \cdot n} + c_m \cdot x_{m\alpha}^n + v_m \cdot x_{m\alpha}^r + a_m \cdot v_m \cdot x_{m\alpha}^n + \\
&+ c_m \cdot v_m + \dots = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot n}} + c_m \cdot \overline{x_m^n} + v_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^n} + \\
&+ c_m \cdot v_m = 0;
\end{aligned}$$

$$v_m = -\overline{x_m^h};$$

$$\begin{aligned}
&\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot n}} + c_m \cdot \overline{x_m^n} + (-\overline{x_m^h}) \cdot \overline{x_m^r} + \\
&+ a_m \cdot (-\overline{x_m^h}) \cdot \overline{x_m^n} + c_m \cdot (-\overline{x_m^h}) = 0;
\end{aligned}$$

$$a_m \cdot (\overline{x_m^{2 \cdot n}} - (\overline{x_m^n})^2) = \overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}};$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2 \cdot n}} - (\overline{x_m^n})^2}$$

$$v_m = -\overline{x_m^n}; \tag{19}$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2 \cdot n}} - (\overline{x_m^n})^2}; \tag{20}$$

$$c_m = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}). \tag{21}$$

Подстановка в уравнение (18) и в матрицу планирования (см.табл.15) рассчитанных по формулам (19) – (21) величин коэффициентов ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования экспериментов на трех асимметричных уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (18) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b'_o = \frac{\sum_{u=1}^3 x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^3 x_{o,u}^2} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{u=1}^3 y_u = \frac{1}{3} \cdot (y_a + y_b + y_e) ; \quad (22)$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^3 x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^3 x_{mn,u}^2} = \frac{(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b + x_{mne} \cdot y_e)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mne}^2} ; \quad (23)$$

$$b_{mr} = \frac{\sum_{u=1}^3 x_{mr,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^3 x_{mr,u}^2} = \frac{(x_{mra} \cdot y_a + x_{mrb} \cdot y_b + x_{mre} \cdot y_e)}{x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mre}^2} ; \quad (24)$$

$$s^2 \{b'_o\} = \frac{1}{3} \cdot s^2 \{y\} ; \quad (25)$$

$$s^2 \{b_{mn}\} = s^2 \{y\} / (x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mne}^2) ; \quad (26)$$

$$s^2 \{b_{mr}\} = s^2 \{y\} / (x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mre}^2) , \quad (27)$$

где $s^2 \{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2 \{b'_o\}$, $s^2 \{b_{mn}\}$, $s^2 \{b_{mr}\}$, – дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_o , b_{mn} , b_{mr} .

В многочлене (18) последующий член имеет на один коэффициент ортогонализации больше, чем предыдущий член. Так, второй член имеет один коэффициент ортогонализации, третий член – два коэффициента ортогонализации. Важной особенностью уравнения регрессии (18) и матрицы планирования (см.табл.15) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов и перехода в частном случае к планированию на двух уровнях факторов.

Математические модели процессов сначала следует выявлять при показателях степени факторов $n=1$, $r=2$, а если при этом математические модели не обеспечивают требуемой точности, то показатели степени факторов необходимо изменять, добиваясь требуемой точности.

Применяя графические построения можно найти максимумы или минимумы этих функций.

На рис. 10 представлена в общем виде графическая зависимость показателя от двух факторов.

Если записать в виде таблицы координаты точек 1-9 (рис. 10), то получается план проведения двухфакторных экспериментов на трех, и, в частном случае, двух уровнях независимых переменных (табл. 16).

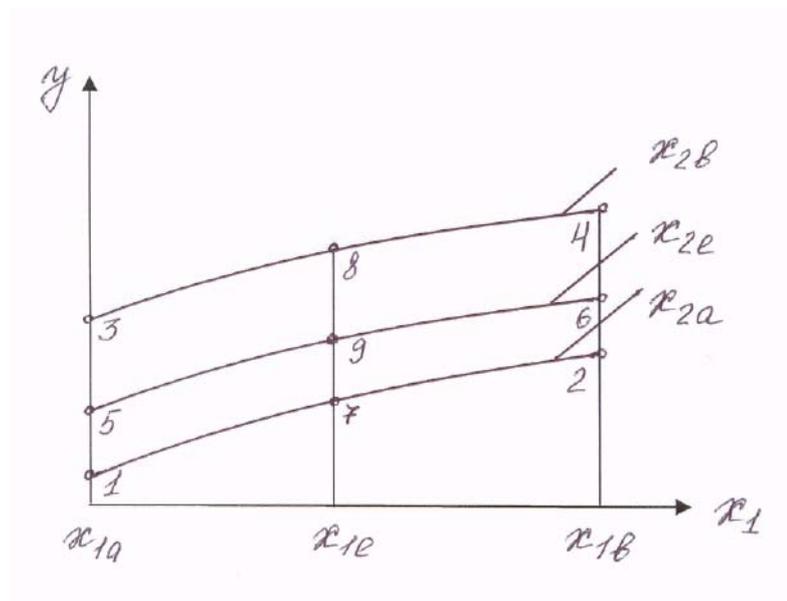


Рис.10. Зависимость показателя от двух факторов

Таблица 16

Планы проведения двухфакторных экспериментов $3^2, 2^2$

План	№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u	
3^2	2^2	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
		2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
		3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
		4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
	5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5	
	6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6	
	7	$x_{1,7}=x_{1e}$	$x_{2,7}=x_{2a}$	y_7	
	8	$x_{1,8}=x_{1e}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	y_8	
	9	$x_{1,9}=x_{1e}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	y_9	

Для плана 3^2 уравнение регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r};$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r};$

$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r};$$

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r}.$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получается следующий полином для плана 3^2 (табл. 16):

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} \quad (28)$$

В уравнении регрессии (28) y - показатель (параметр) процесса;

$$x_o = + 1; x_{1n} = x_1^n + v_1;$$

$$x_{1r} = x_1^r + a_1 \cdot x_1^n + c_1;$$

$$x_{2n} = x_2^n + v_2;$$

$$x_{2r} = x_2^r + a_2 \cdot x_2^n + c_2;$$

x_1, x_2 - 1-, 2-й факторы (независимые переменные); n, r , - изменяемые числа показателей степени факторов; v_1, a_1, c_1 - коэффициенты ортогонации, определяемые при трех уровнях 1-го фактора, $m = 1$ по формулам (19)-(21);

v_2, a_2, c_2 - коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 2-го фактора, $m=2$ по формулам (19)-(21);

$b'_o, b_{1n}, b_{2n}, b_{1n,2n}, b_{1r}, b_{2r}, b_{1n,2r}, b_{2n,1r}, b_{1r,2r}$ - коэффициенты регрессии. Для уровней a, b, e факторы имеют следующие обозначения: $x_{1a}, x_{1b}, x_{1e}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2e}$.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнения (28) имеют следующий вид:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{o,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}; \quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1n,u}^2};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2n,u}^2}; \quad b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1r,u}^2}; \quad b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x^n_{1,u} + v_1; \quad x_{1r,u} = x^r_{1,u} + a_1 x^n_{1,u} + c_1;$$

$$x_{2n,u} = x^n_{2,u} + v_2; \quad x_{2r,u} = x^r_{2,u} + a_2 x^n_{2,u} + c_2;$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов, т.е. $N = 9$ при планировании 3^2 .

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_{0j}\}$, $s^2\{b_{1nj}\}$, $s^2\{b_{2nj}\}$, $s^2\{b_{1n,2nj}\}$, $s^2\{b_{1rj}\}$, $s^2\{b_{2rj}\}$, $s^2\{b_{1n,2rj}\}$, $s^2\{b_{2n,1rj}\}$, $s^2\{b_{1r,2rj}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. Математическая модель процесса получается после подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии. Если при проверке выясняется, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и основа выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

По мере увеличения количества факторов, влияющих на показатель процесса, математическое моделирование усложняется.

Если три фактора будут влиять на показатель процесса и необходимо выполнять полный факторный эксперимент, то опыты надо проводить по плану 3^3 (табл. 17).

Применительно к плану 3^3 (табл. 17) упрощенно представлены построения (рис. 11) на многограннике – кубе, имеющем 6 граней, 12 ребер, 8 вершин. В каждой вершине сходятся три ребра. Боковые грани куба образованы плоскостями, проходящими через x_{1a} , x_{1b} , передняя грань образована плоскостью, проходящей через x_{2b} , а задняя – плоскостью, проходящей через x_{2a} . Нижняя грань куба образована плоскостью, проходящей через x_{3a} , а верхняя – плоскостью, проходящей через x_{3b} . Куб условно разрезан на 8 частей тремя плоскостями, проходящими через x_{1e} , x_{2e} , x_{3e} . В восьми вершинах куба образовалось 8 точек (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), что приемлемо для планирования 2^3 , а в местах пересечения плоскостей (на линиях пересечения) получилось еще 19 точек, т.е. в сумме стало 27 точек и создалась возможность планировать 3^3 . Координаты точек рис. 3 представлены в табл. 3 в виде планов 2^3 , 3^3 (номера точек на рис. 11 и номера строк в табл. 17 совпадают). План 2^3 является выборкой из плана 3^3 .

На рис. 12 показано трехмерное изображение зависимости показателя от величин первого, второго, третьего фактора. Построения на рис. 11 свидетельствуют о том, что полный факторный эксперимент и математическое моделирование при планировании 3^3 возможны, если планом будет предусмотрено выполнение 27 экспериментов при неповторяющейся комбинации величин факторов (см. табл. 17).

Для плана 3^3 уравнение регрессии определяется исходя из следующей зависимости:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r},$$

где

$$a'_o = c'_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r};$$

$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r};$$

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r};$$

$$c'_o = f'_o \cdot x_o + f_{3n} \cdot x_{3n} + f_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$c_{2n} = q'_o + q_{3n} \cdot x_{3n} + q_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$c_{2r} = h'_o + h_{3n} \cdot x_{3n} + h_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$d'_o = k'_o + k_{3n} \cdot x_{3n} + k_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$d_{2n} = l'_o + l_{3n} \cdot x_{3n} + l_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$d_{2r} = m'_o + m_{3n} \cdot x_{3n} + m_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$e'_o = p'_o + p_{3n} \cdot x_{3n} + p_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$e_{2n} = t'_o + t_{3n} \cdot x_{3n} + t_{3r} \cdot x_{3r};$$

$$e_{2r} = v'_o + v_{3n} \cdot x_{3n} + v_{3r} \cdot x_{3r}.$$

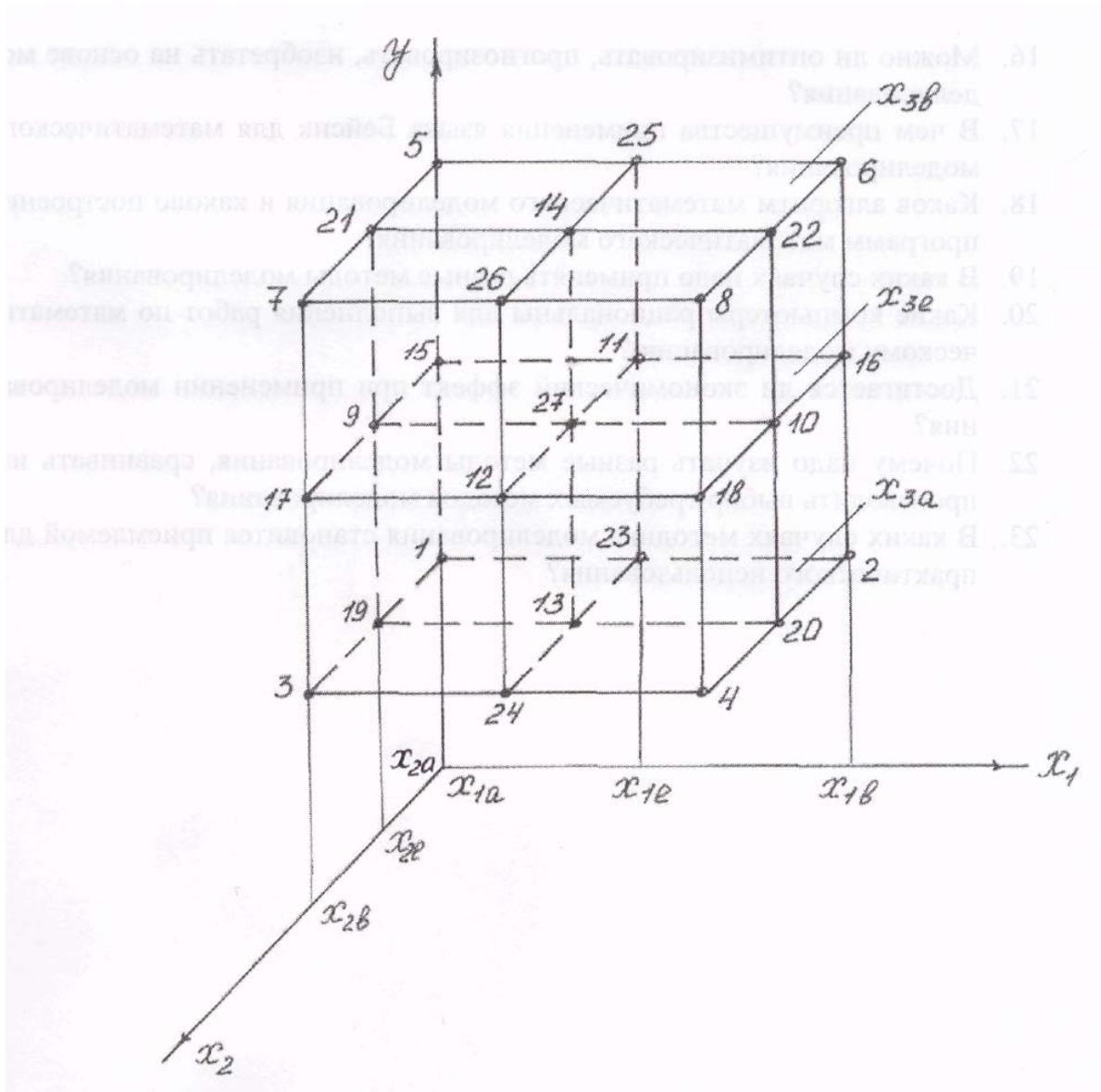


Рис. 11. Схема пространственного расположения точек, соответствующих номерам строк планов 2^3 , 3^3 : в точке 1 величина y_1 при x_{1a} , x_{2a} , x_{3a} ; в точке 2 величина y_2 при x_{1b} , x_{2a} , x_{3a} и т.д.(см.табл.17)

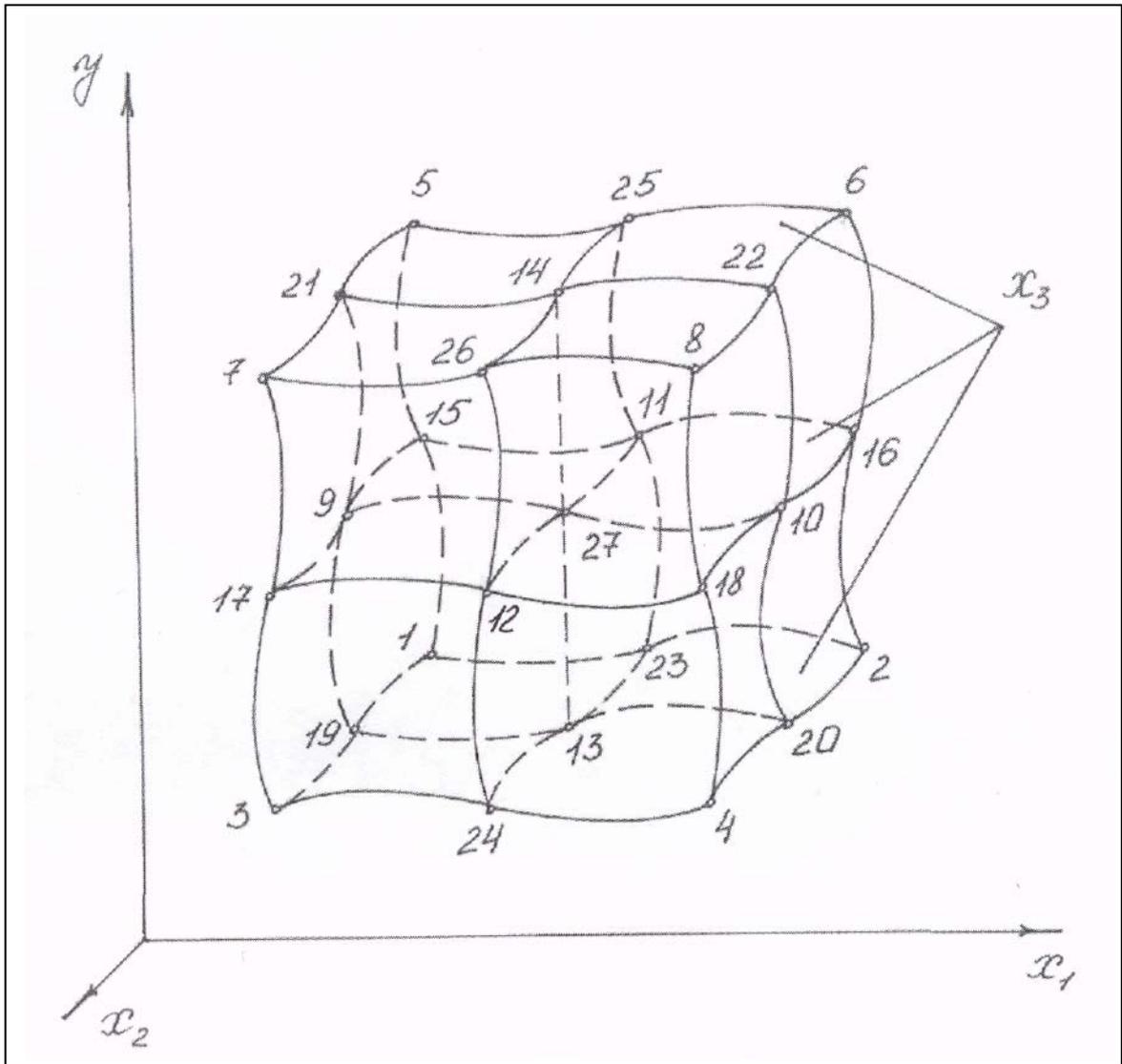


Рис. 12. Трехмерное изображение сложной зависимости показателя от величин первого, второго, третьего фактора

Таблица 17

План проведения экспериментов 3^3 и выборка 2^3

План	№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	$x_{3,u}$	y_u
2^3	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	$x_{3,1}=x_{3a}$	y_1
	2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	$x_{3,2}=x_{3a}$	y_2
	3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	$x_{3,3}=x_{3a}$	y_3
	4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	$x_{3,4}=x_{2a}$	y_4
	5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2a}$	$x_{3,5}=x_{2b}$	y_5
	6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2a}$	$x_{3,6}=x_{2b}$	y_6
	7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2b}$	$x_{3,7}=x_{3b}$	y_7
	8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	$x_{3,8}=x_{3b}$	y_8
3^3	9	$x_{1,9}=x_{1a}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	$x_{3,9}=x_{3e}$	y_9
	10	$x_{1,10}=x_{1b}$	$x_{2,10}=x_{2e}$	$x_{3,10}=x_{3e}$	y_{10}
	11	$x_{1,11}=x_{1e}$	$x_{2,11}=x_{2a}$	$x_{3,11}=x_{3e}$	y_{11}
	12	$x_{1,12}=x_{1e}$	$x_{2,12}=x_{2b}$	$x_{3,12}=x_{3e}$	y_{12}
	13	$x_{1,13}=x_{1e}$	$x_{2,13}=x_{2e}$	$x_{3,13}=x_{3a}$	y_{13}
	14	$x_{1,14}=x_{1e}$	$x_{2,14}=x_{2e}$	$x_{3,14}=x_{3b}$	y_{14}
	15	$x_{1,15}=x_{1a}$	$x_{2,15}=x_{2a}$	$x_{3,15}=x_{3e}$	y_{15}
	16	$x_{1,16}=x_{1b}$	$x_{2,16}=x_{2a}$	$x_{3,16}=x_{3e}$	y_{16}
	17	$x_{1,17}=x_{1a}$	$x_{2,17}=x_{2b}$	$x_{3,17}=x_{3e}$	y_{17}
	18	$x_{1,18}=x_{1b}$	$x_{2,18}=x_{2b}$	$x_{3,18}=x_{3e}$	y_{18}
	19	$x_{1,19}=x_{1a}$	$x_{2,19}=x_{2e}$	$x_{3,19}=x_{3a}$	y_{19}
	20	$x_{1,20}=x_{1b}$	$x_{2,20}=x_{2e}$	$x_{3,20}=x_{3a}$	y_{20}
	21	$x_{1,21}=x_{1a}$	$x_{2,21}=x_{2e}$	$x_{3,21}=x_{3b}$	y_{21}
	22	$x_{1,22}=x_{1b}$	$x_{2,22}=x_{2e}$	$x_{3,22}=x_{3b}$	y_{22}
	23	$x_{1,23}=x_{1e}$	$x_{2,23}=x_{2a}$	$x_{3,23}=x_{3a}$	y_{23}
	24	$x_{1,24}=x_{1e}$	$x_{2,24}=x_{2b}$	$x_{3,24}=x_{3a}$	y_{24}
	25	$x_{1,25}=x_{1e}$	$x_{2,25}=x_{2a}$	$x_{3,25}=x_{3b}$	y_{25}
	26	$x_{1,25}=x_{1e}$	$x_{2,26}=x_{2b}$	$x_{3,26}=x_{3b}$	y_{26}
	27	$x_{1,25}=x_{1e}$	$x_{2,27}=x_{2e}$	$x_{3,27}=x_{3e}$	y_{27}

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов для ортогонального планирования трехфакторных экспериментов на трех уровнях независимых переменных (табл. 17) получается уравнение регрессии:

$$y = b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{3r} \cdot x_{3r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{1n,3r} \cdot x_{1n} \cdot x_{3r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2n,3r} \cdot x_{2n} \cdot x_{3r} + b_{3n,1r} \cdot x_{3n} \cdot x_{1r} + b_{3n,2r} \cdot x_{3n} \cdot x_{2r} + b_{1n,2n,3r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3r} + b_{1n,3n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{2r} + b_{2n,3n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1r,3r} \cdot x_{1r} \cdot x_{3r} + b_{2r,3r} \cdot x_{2r} \cdot x_{3r} + b_{1n,2r,3r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} \cdot x_{3r} + b_{2n,1r,3r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} \cdot x_{3r} + b_{3n,1r,2r} \cdot x_{3n} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1r,2r,3r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} \cdot x_{3r}, \quad (29)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса;

$$x_0 = + 1; x_{1n} = x^n_1 + v_1;$$

$$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1; x_{2n} = x^n_2 + v_2;$$

$$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2;$$

$$x_{3n} = x^n_3 + v_3; x_{3r} = x^r_3 + a_3 \cdot x^n_3 + c_3;$$

x_1, x_2, x_3 – 1, 2, 3-й факторы (независимые переменные); n, r – изменяемые числа показателей степени факторов; v_1, a_1, c_1 – коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 1-го фактора, $m = 1$ по формулам (19) – (21); v_2, a_2, c_2 – коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 2-го фактора, $m = 2$ – по формулам (19) – (21); v_3, a_3, c_3 – коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 3-го фактора, $m = 3$ – по формулам (19) – (21);

$b'_0, b_{1n}, b_{2n}, b_{3n}, b_{1n,2n}, b_{1n,3n}, b_{2n,3n}, b_{1n,2n,3n}, b_{1r}, b_{2r}, b_{3r}, b_{1n,2r}, b_{1n,3r}, b_{2n,1r}, b_{2n,3r}, b_{3n,1r}, b_{3n,2r}, b_{1n,2n,3r}, b_{1n,3n,2r}, b_{2n,3n,1r}, b_{1r,2r}, b_{1r,3r}, b_{2r,3r}, b_{1n,2r,3r}, b_{2n,1r,3r}, b_{3n,1r,2r}, b_{1r,2r,3r}$ – коэффициенты регрессии. Факторы обозначены - $x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{3a}, x_{3b}, x_{3c}$.

Так как планирование ортогональное, то все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Для уравнения (29), соответствующего плану 3^3 (см.табл.17), расчет коэффициентов регрессии производится по следующим формулам:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{0,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{0,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}; \quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1n,u}^2};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2n,u}^2};$$

$$b_{3n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{3n,u}^2};$$

$$b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{1n,3n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{3n,u})^2};$$

$$b_{2n,3n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{3n,u})^2}; \quad b_{1n,2n,3n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1r,u}^2};$$

$$b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2r,u}^2};$$

$$b_{3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{3r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{1n,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{2n,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{3n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{3n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{3n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{3n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{3n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{1n,2n,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{1n,3n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{2n,3n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{1r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{2r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2r,u} \cdot x_{3r,u})^2}; \quad b_{1n,2r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{2n,1r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{3n,1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

где

$$\begin{aligned}x_{1n,u} &= x^n_{1,u} + v_1; \quad x_{1r,u} = x^r_{1,u} + a_1 x^n_{1,u} + c_1; \\x_{2n,u} &= x^n_{2,u} + v_2; \quad x_{2r,u} = x^r_{2,u} + a_2 x^n_{2,u} + c_2; \\x_{3n,u} &= x^n_{3,u} + v_3; \quad x_{3r,u} = x^r_{3,u} + a_3 x^n_{3,u} + c_3;\end{aligned}$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии (29) плане 3^3 (см. табл.17), т.е. N = 27.

В формулы подставляются данные от 1-го до 27-го опыта плана 3^3 (табл.3). При замене числителя (делимого) в каждой из этих формул величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$ и прежнем знаменателе (делителе) получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_{0j}\}$, $s^2\{b_{1nj}\}$, $s^2\{b_{2nj}\}$, $s^2\{b_{3nj}\}$, $s^2\{b_{1n,2nj}\}$, $s^2\{b_{1n,3nj}\}$, $s^2\{b_{2n,3nj}\}$, $s^2\{b_{1n,2n,3nj}\}$, $s^2\{b_{1rj}\}$, $s^2\{b_{2rj}\}$, $s^2\{b_{3rj}\}$, $s^2\{b_{1n,2rj}\}$, $s^2\{b_{1n,3rj}\}$, $s^2\{b_{2n,1rj}\}$, $s^2\{b_{2n,3rj}\}$, $s^2\{b_{3n,1rj}\}$, $s^2\{b_{3n,2rj}\}$, $s^2\{b_{1n,2n,3rj}\}$, $s^2\{b_{1n,3n,2rj}\}$, $s^2\{b_{2n,3n,1rj}\}$, $s^2\{b_{1r,2rj}\}$, $s^2\{b_{1r,3rj}\}$, $s^2\{b_{2r,3rj}\}$, $s^2\{b_{1n,2r,3rj}\}$, $s^2\{b_{2n,1r,3rj}\}$, $s^2\{b_{3n,1r,2rj}\}$, $s^2\{b_{1r,2r,3rj}\}$.

Выявление математической модели следует начинать при условии, что $n = 1$, $r = 2$. Если проверка покажет, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то необходимо изменять величины показателей степени факторов, добиваясь требуемой точности.

Планирование экспериментов и математическое моделирование эффективны, если учитываются существенные факторы, влияющие на показатели процесса, и математические модели с требуемой точностью выявляются при выполнении минимального количества опытов.

На показатели процесса могут оказывать влияние много факторов, что приводит к снижению эффективности полного факторного эксперимента, так как с увеличением количества факторов необходимо увеличивать количество экспериментов, в связи с чем повышаются затраты. Кроме того, даже при применении современной вычислительной техники сложные расчеты выполняются с округлением величин, а это приводит к снижению точности сложных математических моделей (при количестве факторов 3 эти неточности незначительны).

На основе планов $2 \cdot k + 1$, где k – количество факторов, действующих на показатель процесса, разработано более простое математическое моделирование, которое рационально применять в начальный период проведения исследований или когда $k > 3$ и проведение полного факторного эксперимента затруднительно.

При планировании $2 \cdot k - 1$, если количество факторов $k = 2$, $k = 3$, $k = 4$, $k = 5$, $k = 6$, $k = 7$, то по планам надо соответственно выполнять экспериментов $2 \cdot 2 + 1 = 5$; $2 \cdot 3 + 1 = 7$; $2 \cdot 4 + 1 = 9$; $2 \cdot 5 + 1 = 11$; $2 \cdot 6 + 1 = 13$; $2 \cdot 7 + 1 = 15$ (каждое последующее увеличение значения k на 1 приводит к возрастанию количества экспериментов по плану на 2). Следовательно,

при $k = 8, k = 9, k = 10, k = 11, k = 12$ количество экспериментов по плану будет соответствовать 17; 19; 21; 23; 25.

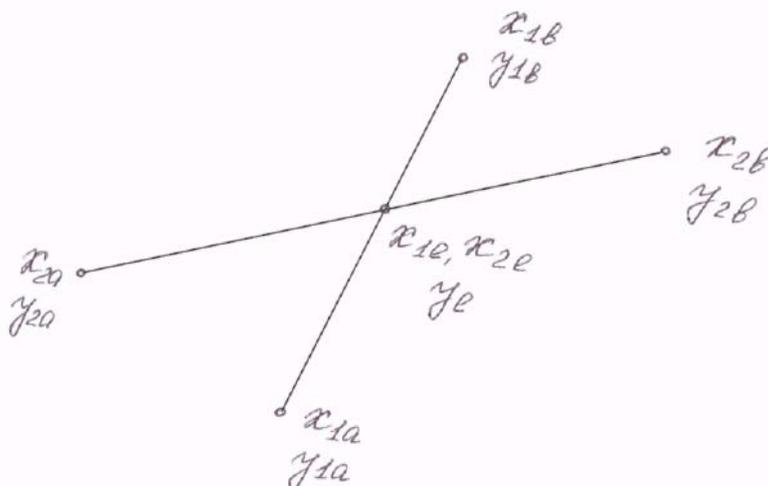


Рис. 13. Схема зависимости показателя от двух факторов при планировании $2 \cdot 2 + 1$

Планы $2 \cdot k + 1$ разработаны с учетом того, что средний уровень каждого фактора является средней арифметической величиной $x_{me} = 0,5 \cdot (x_{ma} + x_{mb})$, а это позволяет все средние уровни факторов совместить в одной общей точке и создать пучок линий (рис. 13-17). Количество линий в пучке равно количеству факторов, влияющих на показатель процесса.

При таких условиях можно выявлять математическую модель отдельно для каждого влияющего фактора так, как для однофакторного процесса, а также определять дисперсию опытов на среднем для всех факторов уровне и использовать полученную величину дисперсии опытов для выявления статической значимости коэффициентов регрессии в каждой зависимости показателя от фактора.

Используя уравнение регрессии (18) и методику моделирования однофакторного процесса на трех уровнях факторов, можно получить систему математических моделей на основе планов $2 \cdot k + 1$.

Данные в табл. 18, когда $2 \cdot k + 1 = 2 \cdot 2 + 1$, рационально разместить в табл. 19 и табл. 20, т.е. в двух таблицах, а данные табл. 21, когда $2 \cdot k + 1 = 2 \cdot 3 + 1$, в трех таблицах табл. 22, табл. 23, табл. 24. Это позволяет понимать, как используются данные табл. 18 и табл. 21 для выявления отдельных математических моделей. В табл. 18-27 $x_{1e} = 0,5(x_{1a} + x_{1b})$;

$$x_{2e} = 0,5(x_{2a} + x_{2b}); x_{3e} = 0,5(x_{3a} + x_{3b}); x_{4e} = 0,5(x_{4a} + x_{4b});$$

$$x_{5e} = 0,5(x_{5a} + x_{5b});$$

$x_{6e} = 0,5(x_{6a} + x_{6b})$ – средние уровни соответственно 1, 2, 3, 4, 5, 6 факторов.

Обозначения $A1, B1, E1, Y(1), Y(2), Y(3)$ соответствуют принятым в компьютерных программах. При выявлении математических моделей по компьютерной программе для

$$y = f(x_1) \quad E1 = 0,5(x_{1a} + x_{1b});$$

$$y = f(x_2) \quad E1 = 0,5(x_{2a} + x_{2b});$$

$$y = f(x_3) \quad E1 = 0,5(x_{3a} + x_{3b});$$

$$y = f(x_4) \quad E1 = 0,5(x_{4a} + x_{4b});$$

$$y = f(x_5) \quad E1 = 0,5(x_{5a} + x_{5b});$$

$$y = f(x_6) \quad E1 = 0,5(x_{6a} + x_{6b}).$$

$Y(3) = y_e$ – одна и та же величина для каждого случая моделирования на основе плана $2 \cdot k + 1$ при принятом значении количества факторов k .

Схемы зависимости показателя от факторов при планировании $2 \cdot k + 1$ показаны на рис. 13-17.

На среднем уровне факторов опыты надо повторять несколько раз (не меньше трех раз) для выявления дисперсии опытов $s^2\{y\}$.

Анализируя полученные простые, содержащие не больше трех членов, математические модели, которых будет столько же, сколько было принято факторов, можно будет сделать выводы о значительном или незначительном влиянии каждого фактора на показатель, о правильности выбора интервалов варьирования факторов и показателей степени факторов, о возможности замены отдельных факторов комплексными факторами или зависимостями одних факторов от других, об уменьшении количества факторов или замены их другими факторами, о стабилизации некоторых факторов, если это возможно, о пренебрежении несущественными факторами.

Меняя интервалы варьирования факторов, заменяя одни факторы другими, перемещая общую точку средних уровней факторов, заменяя в уравнении регрессии показатели степени факторов, можно выявить, при каком наборе факторов и при каких их величинах достигаются оптимальные значения показателей процесса. Используя выявленные существенные факторы, рациональные интервалы варьирования этих факторов, наиболее приемлемые показатели степени факторов в уравнениях регрессии, комплексные факторы, можно обоснованно перейти на более сложное математическое моделирование на основе планов 3^2 или 3^3 .

Важным преимуществом математического моделирования на основе планов $2 \cdot k + 1$ является то, что можно выявлять нелинейные математические зависимости, образуя систему уравнений.

Таблица 18

План $2 \cdot k + 1$ при $k = 2$

№	x_1	x_2	y
1	$AI = x_{1a}$	x_{2e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$BI = x_{1b}$	x_{2e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$AI = x_{2a}$	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$BI = x_{2b}$	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 19

План $2 \cdot 2 + 1$ для $y = f(x_1)$

№	x_1	x_2	y
1	$AI = x_{1a}$	x_{2e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$BI = x_{1b}$	x_{2e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 20

План $2 \cdot 2 + 1$ для $y = f(x_2)$

№	x_1	x_2	y
1	x_{1e}	$AI = x_{2a}$	$Y(1) = y_{2a}$
2	x_{1e}	$BI = x_{2b}$	$Y(2) = y_{2b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	$Y(3) = y_e$

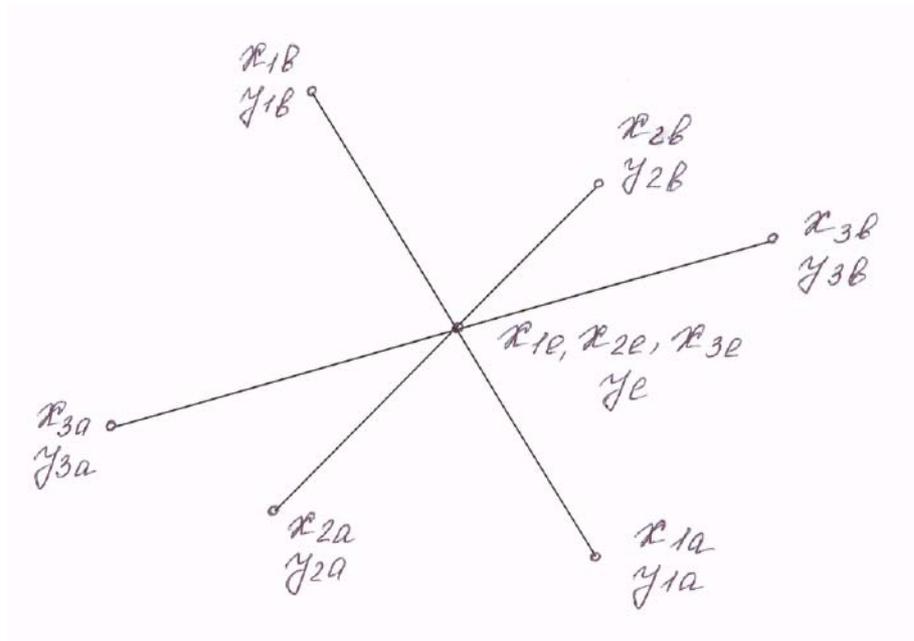


Рис. 14. Зависимости показателя от трех факторов при планировании $2 \cdot 3 + 1$

Таблица 21

План $2 \cdot k + 1$ при $k = 3$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 22

План $2 \cdot 3 + 1$ для $y = f(x_1)$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 23

План $2 \cdot 3 + 1$ для $y = f(x_2)$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	$Y(1) = y_{2a}$
2	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	$Y(2) = y_{2b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 24

План $2 \cdot 3 + 1$ для $y = f(x_3)$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	$Y(1) = y_{3a}$
2	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	$Y(2) = y_{3b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

План $2 \cdot k + 1$ при $k = 3$ (табл. 20) является выборкой из плана 3^3 , так как данные строк номер 9, 10, 11, 12, 13, 14, 27 плана 3^3 (табл. 16) соответствуют данным плана $2 \cdot 3 + 1$ (табл. 20). Отличие только в том, что в строке 27 (точка 27 на рис. 11) при планировании $2 \cdot 3 + 1$ $x_{1e} = 0,5(x_{1a} + x_{1b})$, $x_{2e} = 0,5(x_{2a} + x_{2b})$, $x_{3e} = 0,5(x_{3a} + x_{3b})$.

Рассматривая линии, построенные по точкам 9-14, 27 рис. 11, можно констатировать, что все эти линии пересекаются внутри куба в точке 27, а точки 9-14 находятся на поверхностях, ограниченных ребрами куба, т.е. на всех гранях между ребрами куба. Следовательно, при планировании $2 \cdot k + 1$ можно выявлять не только существенное влияние каждого фактора на показатель процесса, но и прогнозировать возможность улучшения процесса, достижения оптимальности.

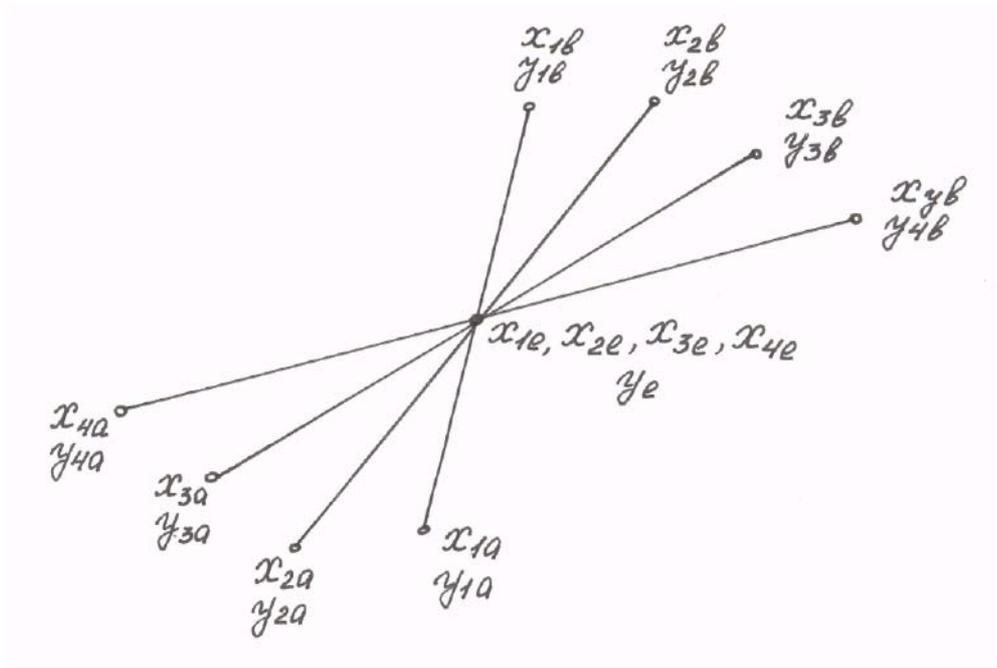


Рис. 15. Схема зависимости показателя от четырех факторов при планировании $2 \cdot 4 + 1$

Таблица 25

План $2 \cdot k + 1$ при $k = 4$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	$AI = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$BI = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$AI = x_{2a}$	x_{3e}	x_{4e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$BI = x_{2b}$	x_{3e}	x_{4e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$AI = x_{3a}$	x_{4e}	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$BI = x_{3b}$	x_{4e}	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$AI = x_{4a}$	$Y(1) = y_{4a}$
8	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$BI = x_{4b}$	$Y(2) = y_{4b}$
9	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$Y(3) = y_e$

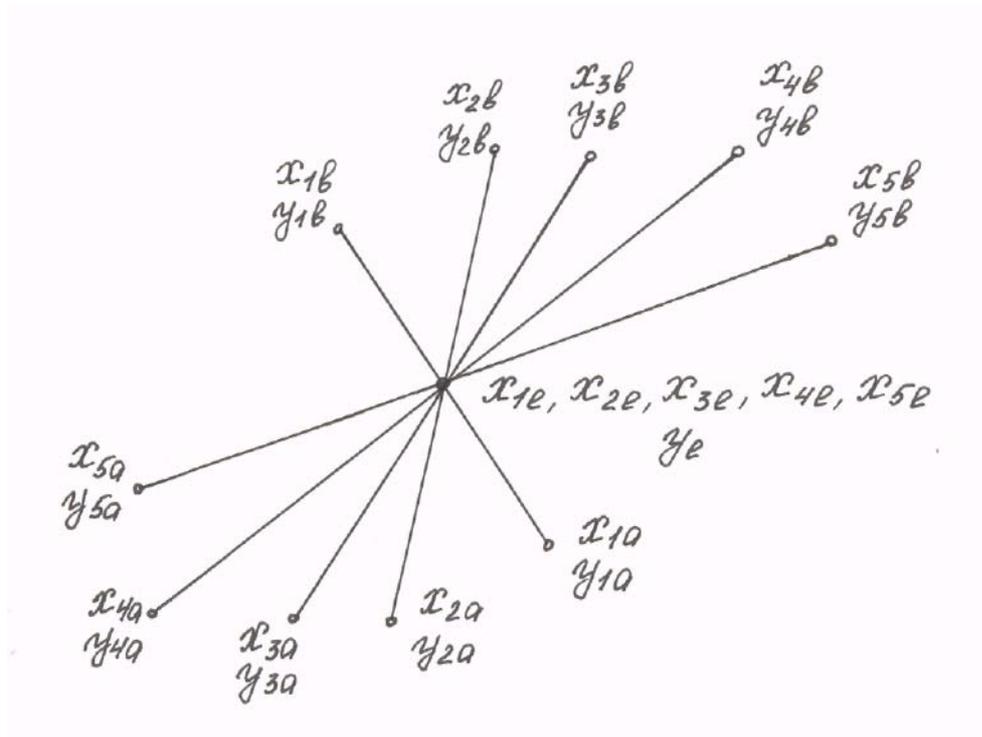


Рис. 16. Схема зависимости показателя от пяти факторов при планировании $2 \cdot 5 + 1$

Таблица 26

План $2 \cdot k + 1$ при $k = 5$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	$AI = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$BI = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$AI = x_{2a}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$BI = x_{2b}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$AI = x_{3a}$	x_{4e}	x_{5e}	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$BI = x_{3b}$	x_{4e}	x_{5e}	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$AI = x_{4a}$	x_{5e}	$Y(1) = y_{4a}$
8	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$BI = x_{4b}$	x_{5e}	$Y(2) = y_{4b}$
9	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$AI = x_{5a}$	$Y(1) = y_{5a}$
10	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$BI = x_{5b}$	$Y(2) = y_{5b}$
11	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(3) = y_e$

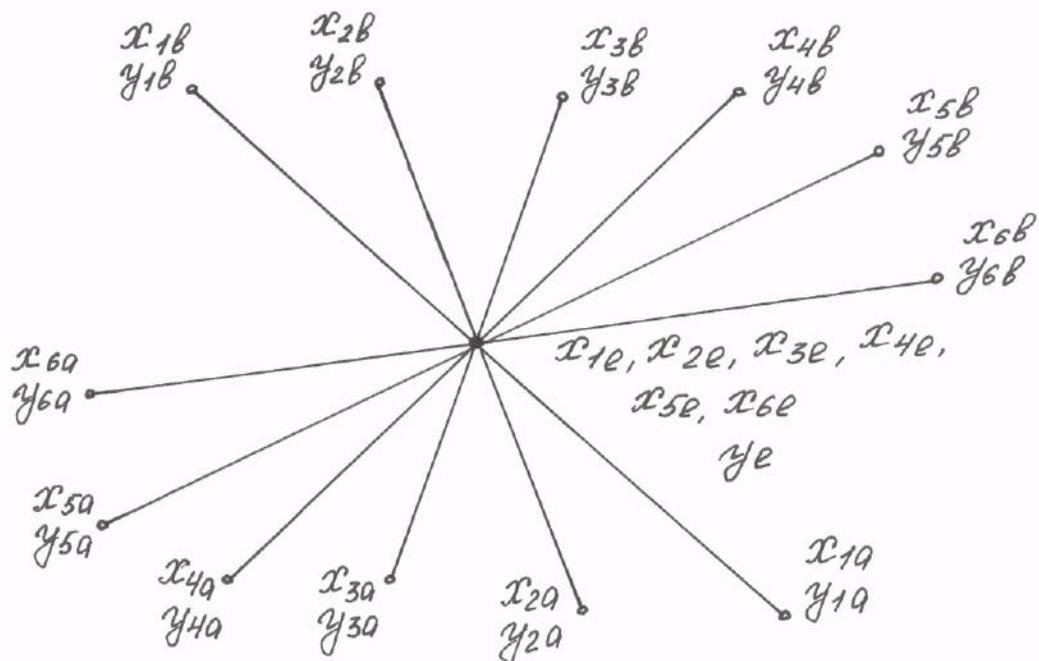


Рис. 17. Схема зависимости показателя от шести факторов при планировании $2 \cdot 6 + 1$

Таблица 27

План $2 \cdot k + 1$ при $k = 6$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y
1	$AI = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$BI = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$AI = x_{2a}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$BI = x_{2b}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$AI = x_{3a}$	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$BI = x_{3b}$	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$AI = x_{4a}$	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{4a}$
8	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$BI = x_{4b}$	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{4b}$
9	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$AI = x_{5a}$	x_{6e}	$Y(1) = y_{5a}$
10	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$BI = x_{5b}$	x_{6e}	$Y(2) = y_{5b}$
11	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$AI = x_{6a}$	$Y(1) = y_{6a}$
12	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$BI = x_{6b}$	$Y(2) = y_{6b}$
13	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(3) = y_e$

В ряде случаев рационально применять математическое моделирование на основе планирования экспериментов на четырех уровнях факторов.

При планировании экспериментов на четырех уровнях независимых переменных предложено универсальное уравнение регрессии, в общем виде представляющее четырехчлен:

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn} + b_{mr} \cdot x_{mr} + b_{ms} \cdot x_{ms}, \quad (30)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x_m^n + v_m; \quad x_{mr} = x_m^r + a_m \cdot x_m^n + c_m; \quad x_{ms} = x_m^s + d_m \cdot x_m^r + e_m \cdot x_m^n + f_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m – m -й фактор (независимое переменное); n, r, s – изменяемые числа показателей степени факторов; $v_m, a_m, c_m, d_m, e_m, f_m$ – коэффициенты ортогонализации; $b'_o, b_{mn}, b_{mr}, b_{ms}$ – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m -го фактора $x_{ma}, x_{mb}, x_{mc}, x_{md}$ определяются соответственно параметры y_a, y_b, y_c, y_d .

В табл.28 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на четырех уровнях независимых переменных.

Таблица 28

Матрица планирования однофакторных экспериментов на четырех уровнях независимых переменных

№	Уровни факторов	x_o	x_{mn}	x_{mr}	x_{ms}	y
1	a	+1	$x_{mn,1} = x_{mna}$	$x_{mr,1} = x_{mra}$	$x_{ms,1} = x_{msa}$	$y_1 = y_a$
2	b	+1	$x_{mn,2} = x_{mnb}$	$x_{mr,2} = x_{mrb}$	$x_{ms,2} = x_{msb}$	$y_2 = y_b$
3	c	+1	$x_{mn,3} = x_{mnc}$	$x_{mr,3} = x_{mrc}$	$x_{ms,3} = x_{msc}$	$y_3 = y_c$
4	d	+1	$x_{mn,4} = x_{mnd}$	$x_{mr,4} = x_{mrd}$	$x_{ms,4} = x_{msd}$	$y_4 = y_d$

В матрице планирования экспериментов (табл.28):

$$\begin{aligned}
 x_{mna} &= x_{ma}^n + v_m; & x_{mnb} &= x_{mb}^n + v_m; & x_{mnc} &= x_{mc}^n + v_m; & x_{mnd} &= x_{md}^n + v_m; \\
 x_{mra} &= x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m; & x_{mrb} &= x_{mb}^r + a_m \cdot x_{mb}^n + c_m; \\
 x_{mrc} &= x_{mc}^r + a_m \cdot x_{mc}^n + c_m; & x_{mrd} &= x_{md}^r + a_m \cdot x_{md}^n + c_m; \\
 x_{msa} &= x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^n + f_m; \\
 x_{msb} &= x_{mb}^s + d_m \cdot x_{mb}^r + e_m \cdot x_{mb}^n + f_m;
 \end{aligned}$$

$$x_{msc} = x_{mc}^s + d_m \cdot x_{mc}^r + e_m \cdot x_{mc}^n + f_m;$$

$$x_{msd} = x_{md}^s + d_m \cdot x_{md}^r + e_m \cdot x_{md}^n + f_m.$$

Для сокращения дальнейших записей введены следующие обозначения средних арифметических величин:

$$\overline{x_m^n} = (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n) / 4;$$

$$\overline{x_m^r} = (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r) / 4;$$

$$\overline{x_m^s} = (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s) / 4;$$

$$\overline{x_m^{2n}} = (x_{ma}^{2n} + x_{mb}^{2n} + x_{mc}^{2n} + x_{md}^{2n}) / 4;$$

$$\overline{x_m^{2r}} = (x_{ma}^{2r} + x_{mb}^{2r} + x_{mc}^{2r} + x_{md}^{2r}) / 4;$$

$$\overline{x_m^{2s}} = (x_{ma}^{2s} + x_{mb}^{2s} + x_{mc}^{2s} + x_{md}^{2s}) / 4;$$

$$\overline{x_m^{n+r}} = (x_{ma}^{n+r} + x_{mb}^{n+r} + x_{mc}^{n+r} + x_{md}^{n+r}) / 4;$$

$$\overline{x_m^{n+s}} = (x_{ma}^{n+s} + x_{mb}^{n+s} + x_{mc}^{n+s} + x_{md}^{n+s}) / 4;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} = (x_{ma}^{r+s} + x_{mb}^{r+s} + x_{mc}^{r+s} + x_{md}^{r+s}) / 4;$$

$$\overline{x_m} = (x_{ma} + x_{mb} + x_{mc} + x_{md}) / 4.$$

Ортогональность матрицы планирования (см. табл.28) обеспечивается в том случае, если

$$x_{mna} + x_{mnb} + x_{mnc} + x_{mnd} = 0,$$

$$x_{mra} + x_{mrb} + x_{mrc} + x_{mrd} = 0,$$

$$x_{msa} + x_{msb} + x_{msc} + x_{msd} = 0,$$

$$x_{mna} \cdot x_{mra} + x_{mnb} \cdot x_{mrb} + x_{mnc} \cdot x_{mrc} + x_{mnd} \cdot x_{mrd} = 0,$$

$$x_{mna} \cdot x_{msa} + x_{mnb} \cdot x_{msb} + x_{mnc} \cdot x_{msc} + x_{mnd} \cdot x_{msd} = 0,$$

$$x_{mra} \cdot x_{msa} + x_{mrb} \cdot x_{msb} + x_{mrc} \cdot x_{msc} + x_{mrd} \cdot x_{msd} = 0.$$

После подстановки в эти уравнения значений слагаемых, замены получаемых сумм средними арифметическими величинами и сокращения одинаковых величин получится система из шести уравнений, по которой определяются шесть коэффициентов ортогонализации.

$$x_{ma}^n + v_m + x_{mb}^n + v_m + x_{mc}^n + v_m + x_{md}^n + v_m = 0;$$

$$4 \cdot v_m = -(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n);$$

$$v_m = -\frac{1}{4} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n) = -\overline{x_m^n};$$

$$\underline{v_m = -\overline{x_m^n}}.$$

$$x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m + x_{mb}^r + a_m \cdot x_{mb}^n + c_m +$$

$$+ x_{mc}^r + a_m \cdot x_{mc}^n + c_m + x_{md}^r + a_m \cdot x_{md}^n + c_m = 0;$$

$$4 \cdot c_m = (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r) +$$

$$+ a_m \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n) + 4 \cdot c_m = 0;$$

$$c_m = -\frac{1}{4} \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r) -$$

$$- a_m \cdot \frac{1}{4} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n) =$$

$$= -\overline{x_m^r} - a_m \cdot \overline{x_m^n} = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n});$$

$$\underline{c_m = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n})}.$$

$$x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^n + f_m + x_{mb}^s + d_m \cdot x_{mb}^r + e_m \cdot x_{mb}^n + f_m +$$

$$+ x_{mc}^s + d_m \cdot x_{mc}^r + e_m \cdot x_{mc}^n + f_m + x_{md}^s + d_m \cdot x_{md}^r + e_m \cdot x_{md}^n +$$

$$+ f_m = 0;$$

$$\begin{aligned}
 & (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s) + \\
 & + d_m \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r) + \\
 & + e_m \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n) + \frac{1}{4} \cdot f_m = 0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_m &= -\frac{1}{4} \cdot (x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s) - \\
 & - d_m \cdot \frac{1}{4} \cdot (x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r) - \\
 & - e_m \cdot \frac{1}{4} \cdot (x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n) = \\
 & = -\overline{x_m^s} - d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n} = -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}); \\
 \underline{f_m} &= -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n})
 \end{aligned}$$

$$(\overline{x_{ma}^n} + v_m) \cdot (\overline{x_{ma}^r} + a_m \cdot \overline{x_{ma}^n} + c_m) + \dots = 0;$$

$$\begin{aligned}
 & \overline{x_{ma}^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_{ma}^{2n}} + c_m \cdot \overline{x_{ma}^n} + v_m \cdot \overline{x_{ma}^r} + a_m \cdot v_m \cdot \overline{x_{ma}^n} + \\
 & + c_m \cdot v_m \dots = 0;
 \end{aligned}$$

$$\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2n}} + c_m \cdot \overline{x_m^n} + v_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^n} + c_m \cdot v_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};$$

$$\begin{aligned}
 & \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2n}} + c_m \cdot \overline{x_m^n} + (-\overline{x_m^n}) \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot (-\overline{x_m^n}) \cdot \overline{x_m^n} + \\
 & + c_m \cdot (-\overline{x_m^n}) = 0;
 \end{aligned}$$

$$a_m \cdot (\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2) = \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}};$$

$$\underline{a_m} = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2}$$

$$(x_{mq}^n + v_m) \cdot (x_{mq}^s + d_m x_{mq}^r + e_m x_{mq}^h + f_m) + \dots = 0;$$

$$x_{mq}^{h+s} + d_m x_{mq}^{h+r} + e_m x_{mq}^{2 \cdot h} + f_m x_{mq}^h + v_m x_{mq}^s + d_m v_m x_{mq}^r + e_m v_m x_{mq}^h + v_m f_m + \dots = 0;$$

$$\overline{x_m^{h+s}} + d_m \overline{x_m^{h+r}} + e_m \overline{x_m^{2 \cdot h}} + f_m \overline{x_m^h} + v_m \overline{x_m^s} + d_m v_m \overline{x_m^r} + e_m v_m \overline{x_m^h} + v_m f_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^h};$$

$$\overline{x_m^{h+s}} + d_m \overline{x_m^{h+r}} + e_m \overline{x_m^{2 \cdot h}} + f_m \overline{x_m^h} + (-\overline{x_m^h}) \overline{x_m^s} +$$

$$+ d_m (-\overline{x_m^h}) \overline{x_m^r} + e_m (-\overline{x_m^h}) \overline{x_m^h} + (-\overline{x_m^h}) f_m = 0;$$

$$e_m (\overline{x_m^{2 \cdot h}} - (\overline{x_m^h})^2) = d_m (\overline{x_m^h} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}) + \overline{x_m^h} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}},$$

$$e_m = d_m \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2 \cdot h}} - (\overline{x_m^h})^2} + \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}}{\overline{x_m^{2 \cdot h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$d_m = \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{h+r}}}{\overline{x_m^{2 \cdot h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$p_m = \frac{\overline{x_m^h} \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}}{\overline{x_m^{2 \cdot h}} - (\overline{x_m^h})^2};$$

$$e_m = d_m \cdot d_m + p_m$$

$$\begin{aligned}
& (x_{ma}^r + a_m x_{ma}^n + c_m) \cdot (x_{ma}^s + d_m x_{ma}^r + e_m x_{ma}^n + f_m) + \dots = 0; \\
& x_{ma}^{r+s} + d_m x_{ma}^{2r} + e_m x_{ma}^{n+r} + f_m x_{ma}^r + \\
& + a_m x_{ma}^{n+s} + a_m d_m x_{ma}^{n+r} + a_m e_m x_{ma}^{2n} + a_m f_m x_{ma}^n + \\
& + c_m x_{ma}^s + c_m d_m x_{ma}^r + e_m c_m x_{ma}^n + c_m f_m + \dots = 0; \\
& \overline{x_m^{r+s}} + d_m \overline{x_m^{2r}} + e_m \overline{x_m^{n+r}} + f_m \overline{x_m^r} + a_m \overline{x_m^{n+s}} +
\end{aligned}$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot n}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^n} + c_m \cdot \overline{x_m^s} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot c_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot f_m = 0;$$

$$f_m = -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^h});$$

$$c_m = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^h});$$

$$e_m = d_m \cdot a_m + p_m;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + f_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot h}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^h} + c_m \cdot \overline{x_m^s} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot c_m \cdot \overline{x_m^h} - c_m \cdot \overline{x_m^s} - c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^r} - c_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^h} = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + f_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot h}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^h} = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot r}} + (d_m \cdot a_m + p_m) \cdot \overline{x_m^{n+r}} -$$

$$-(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + (d_m \cdot a_m + p_m) \cdot \overline{x_m^h}) \cdot \overline{x_m^r} +$$

$$+ a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} + a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot (d_m \cdot a_m + p_m) \cdot \overline{x_m^{2 \cdot h}} +$$

$$+ a_m \cdot (-\overline{x_m^s} - d_m \cdot \overline{x_m^r} - (d_m \cdot a_m + p_m) \cdot \overline{x_m^h}) \cdot \overline{x_m^h} = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2 \cdot r}} + d_m \cdot a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + p_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^r} -$$

$$\begin{aligned}
 & -d_m \cdot (\overline{x_m^r})^2 - d_m \cdot a_m \cdot \overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} - p_m \cdot \overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} + \\
 & + a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m^2 \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{2h}} + a_m \cdot p_m \cdot \overline{x_m^{2h}} - a_m \cdot \overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^h} - \\
 & - a_m d_m \cdot \overline{x_m^r} \cdot \overline{x_m^h} - a_m^2 \cdot d_m \cdot (\overline{x_m^n})^2 - a_m \cdot p_m \cdot (\overline{x_m^n})^2 = 0;
 \end{aligned}$$

$$d_m \cdot (\overline{x_m^{2r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2 \cdot a_m \cdot (\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r})) +$$

$$+ a_m^2 \cdot (\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2) =$$

$$= \overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{r+s}} + p_m \cdot (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}) +$$

$$+ a_m \cdot (\overline{x_m^s} \cdot \overline{x_m^h} - \overline{x_m^{h+s}}) + a_m \cdot p_m \cdot ((\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2h}});$$

$$t_{m1} = \overline{x_m^r} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} + p_m \cdot (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}});$$

$$t_{m2} = a_m \cdot (\overline{x_m^h} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{h+s}}) + a_m \cdot p_m \cdot ((\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2h}});$$

$$t_{m3} = \overline{x_m^{2r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2 \cdot a_m \cdot (\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r});$$

$$d_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{t_{m3} + a_m^2 \cdot (\overline{x_m^{2h}} - (\overline{x_m^h})^2)}$$

$$v_m = -\overline{x_m^n}; \quad (31)$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2}; \quad (32)$$

$$c_m = -(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}) ; \quad (33)$$

$$P_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2};$$

$$\begin{aligned} t_{m1} &= \overline{x_m^r} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} + P_m \cdot (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}); \\ t_{m2} &= a_m \cdot (\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}) + a_m \cdot P_m \cdot [(\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2n}}]; \\ t_{m3} &= \overline{x_m^{2r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2a_m \cdot (\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r}); \end{aligned}$$

$$d_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{t_{m3} + a_m^2 \cdot [\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2]}; \quad (34)$$

$$e_m = d_m \cdot a_m + P_m; \quad (35)$$

$$f_m = -(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}). \quad (36)$$

Подстановка в уравнение (30) и в матрицу планирования (см. табл.28) рассчитанных по формулам (31) – (36) величин коэффициента ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования экспериментов на четырех уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (30) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b'_o = \frac{\sum_{u=1}^4 x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^4 x_{o,u}^2} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{u=1}^4 y_u = \frac{1}{4} \cdot (y_a + y_b + y_c + y_d); \quad (37)$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^4 x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^4 x_{mn,u}^2} = \frac{(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b + x_{mnc} \cdot y_c + x_{mnd} \cdot y_d)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2}; \quad (38)$$

$$b_{mr} = \frac{\sum_{u=1}^4 x_{mr,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^4 x_{mr,u}^2} = \frac{(x_{mra} \cdot y_a + x_{mrb} \cdot y_b + x_{mrc} \cdot y_c + x_{mrd} \cdot y_d)}{x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2}, \quad (39)$$

$$b_{ms} = \frac{\sum_{u=1}^4 x_{ms,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^4 x_{ms,u}^2} = \frac{(x_{msa} \cdot y_a + x_{msb} \cdot y_b + x_{msc} \cdot y_c + x_{msd} \cdot y_d)}{x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2}, \quad (40)$$

$$s^2 \{b'_0\} = \frac{1}{4} \cdot s^2 \{y\};$$

$$s^2 \{b_{mn}\} = s^2 \{y\} / (x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2),$$

$$s^2 \{b_{mr}\} = s^2 \{y\} / (x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2),$$

$$s^2 \{b_{ms}\} = s^2 \{y\} / (x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2),$$

где $s^2 \{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2 \{b'_0\}$, $s^2 \{b_{mn}\}$, $s^2 \{b_{mr}\}$, $s^2 \{b_{ms}\}$ – дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_0 , b_{mn} , b_{mr} , b_{ms} .

В многочлене (30) последующий член имеет на один коэффициент ортогонализации больше, чем предыдущий член. Так, второй член имеет один коэффициент ортогонализации, третий член – два, четвертый член – три коэффициента ортогонализации, а всего получилось шесть коэффициентов ортогонализации, причем по мере увеличения количества коэффициентов ортогонализации усложняются формулы для расчета этих коэффициентов.

Важной особенностью уравнения регрессии (30) и матрицы планирования (см. табл.28) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов и перехода в частном случае к планированию на двух уровнях факторов.

Математические модели процессов сначала следует выявлять при показателях степени факторов $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$, а если при этом математические модели не обеспечивают требуемой точности, то показатели степени факторов необходимо изменять, добиваясь требуемой точности.

Применяя дифференцирование функций или графические построения, можно найти максимумы или минимумы этих функций.

На рис. 18 представлена в общем виде графическая зависимость показателя от двух факторов при планировании 4^2 .

Если записать в виде таблицы координаты точек 1-16 (рис. 18), то получается план проведения двухфакторных экспериментов на четырех, и в частном случае, на двух уровнях независимых переменных (табл. 29).

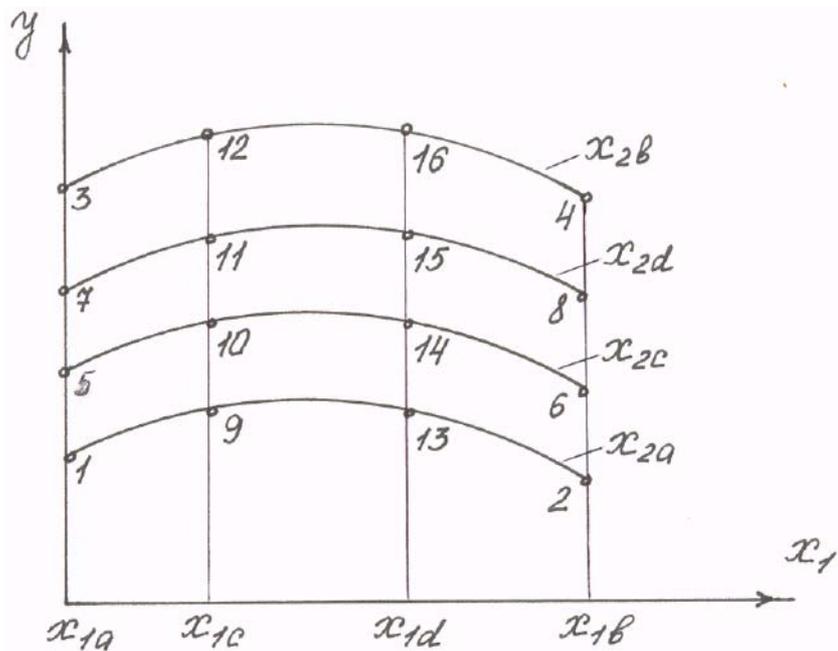


Рис.18. Зависимость показателя от двух факторов при планировании 4^2

Планы проведения двухфакторных экспериментов 4^2 и 2^2 Таблица 29

План	№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u	
4^2	2^2	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
		2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
		3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
		4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
	5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2c}$	y_5	
	6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2c}$	y_6	
	7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2d}$	y_7	
	8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2d}$	y_8	
	9	$x_{1,9}=x_{1c}$	$x_{2,9}=x_{2a}$	y_9	
	10	$x_{1,10}=x_{1c}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}	
	11	$x_{1,11}=x_{1c}$	$x_{2,11}=x_{2d}$	y_{11}	
	12	$x_{1,12}=x_{1c}$	$x_{2,12}=x_{2b}$	y_{12}	
	13	$x_{1,13}=x_{1d}$	$x_{2,13}=x_{2a}$	y_{13}	
	14	$x_{1,14}=x_{1d}$	$x_{2,14}=x_{2c}$	y_{14}	
	15	$x_{1,15}=x_{1d}$	$x_{2,15}=x_{2d}$	y_{15}	
	16	$x_{1,16}=x_{1d}$	$x_{2,16}=x_{2b}$	y_{16}	

Для плана 4^2 уравнение регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$\begin{aligned}
 y &= a'_0 + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r} + a_{1s} \cdot x_{1s}, \\
 \text{где} \quad a'_0 &= c'_0 \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s}; \\
 a_{1n} &= d'_0 + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s}; \\
 a_{1r} &= e'_0 + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s}; \\
 a_{1s} &= f'_0 + f_{2n} \cdot x_{2n} + f_{2r} \cdot x_{2r} + f_{2s} \cdot x_{2s}.
 \end{aligned}$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получается следующий полином для плана 4^2 (см. табл. 29):

$$\begin{aligned}
 y &= b'_0 \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + \\
 &+ b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1s} \cdot x_{1s} + b_{2s} \cdot x_{2s} + \\
 &+ b_{1n,2s} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2n,1s} \cdot x_{2n} \cdot x_{1s} + b_{1r,2s} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2r,1s} \cdot x_{2r} \cdot x_{1s} + \\
 &+ b_{1s,2s} \cdot x_{1s} \cdot x_{2s}
 \end{aligned} \quad (41)$$

В уравнении регрессии (41) y - показатель (параметр) процесса;

$$\begin{aligned}
 x_o &= + 1; & x_{1n} &= x^n_1 + v_1; \\
 x_{1r} &= x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1; & x_{1s} &= x^s_1 + d_1 \cdot x^r_1 + e_1 \cdot x^n_1 + f_1; \\
 x_{2n} &= x^n_2 + v_2; & x_{2r} &= x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2; \\
 & & x_{2s} &= x^s_2 + d_2 \cdot x^r_2 + e_2 \cdot x^n_2 + f_2;
 \end{aligned}$$

$x_1, x_2 - 1, 2$ -й факторы (независимые переменные); n, r, s , -изменяемые числа показателей степени факторов; $v_1, a_1, c_1, d_1, e_1, f_1$ - коэффициенты ортогонализации, определяемые при четырех уровнях 1-го фактора, $m = 1$, по формулам (31) - (36); $v_2, a_2, c_2, d_2, e_2, f_2$, - коэффициенты ортогонализации, определяемые при четырех уровнях 2-го фактора, $m = 2$, по формулам (31)-(36);

$b'_0, b_{1n}, b_{2n}, b_{1n,2n}, b_{1r}, b_{2r}, b_{1n,2r}, b_{2n,1r}, b_{1r,2r}, b_{1s}, b_{2s}, b_{1n,2s}, b_{2n,1s}, b_{1r,2s}, b_{2r,1s}, b_{1s,2s}$, - коэффициенты регрессии. Для уровней a, b, c, d факторы имеют следующие обозначения: $x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{1d}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{2d}$.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнения (41) имеют следующий вид:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{o,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}; \quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1n,u}^2};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2n,u}^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2s,u}^2};$$

$$b_{2n,1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1s,u})^2};$$

$$b_{2r,1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2r,u} \cdot x_{1s,u})^2};$$

$$b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2r,u}^2};$$

$$b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1s,u}^2};$$

$$b_{1n,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{1r,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{1s,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1s,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x_{1,u}^n + v_1;$$

$$x_{1s,u} = x_{1,u}^s + d_1 \cdot x_{1,u}^r + e_1 \cdot x_{1,u}^n + f_1;$$

$$x_{1r,u} = x_{1,u}^r + a_1 \cdot x_{1,u}^n + c_1;$$

$$x_{2n,u} = x_{2,u}^n + v_2; \quad x_{2r,u} = x_{2,u}^r + a_2 \cdot x_{2,u}^n + c_2;$$

$$x_{2s,u} = x_{2,u}^s + d_2 \cdot x_{2,u}^r + e_2 \cdot x_{2,u}^n + f_2;$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов, т.е. $N = 16$ для плана 4^2 .

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_{0j}\}$, $s^2\{b_{1nj}\}$, $s^2\{b_{2nj}\}$, $s^2\{b_{1n,2nj}\}$, $s^2\{b_{1rj}\}$, $s^2\{b_{2rj}\}$, $s^2\{b_{1n,2rj}\}$, $s^2\{b_{2n,1rj}\}$, $s^2\{b_{1r,2rj}\}$, $s^2\{b_{1sj}\}$, $s^2\{b_{2sj}\}$, $s^2\{b_{1n,2sj}\}$, $s^2\{b_{2n,1sj}\}$, $s^2\{b_{1r,2sj}\}$, $s^2\{b_{2r,1sj}\}$, $s^2\{b_{1s,2sj}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. После подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии надо выявлять точность математической зависимости. Если при проверке выясняется, что математическая зависимость не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и снова выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

В табл. 30 и 31 представлены планы 4^1 ($X = 4$) и 4^2 ($X = 16$) с обозначение факторов и показателей применительно к компьютерным программам. Величина X соответствует количеству опытов по плану и является управляющим параметром в программах, $A1 = x_{1a}$, $B1 = x_{1b}$, $C1 = x_{1c}$, $D1 = x_{1d}$, $A2 = x_{2a}$, $B2 = x_{2b}$, $C2 = x_{2c}$, $D2 = x_{2d}$, показатели $Y(J)$ соответствуют y_u .

Таблица 30

План 4^1 ($X = 4$)

Номер фактора	Фактор $F(J)$	Показатель $Y(J)$
1	$A1$	$Y(1)$
2	$B1$	$Y(2)$
3	$C1$	$Y(3)$
4	$D1$	$Y(4)$

План 4^2 ($X = 16$)

Номер опыта	Факторы		Показатель $Y(J)$
	$F(J)$	$H(J)$	
1	$A1$	$A2$	$Y(1)$
2	$B1$	$A2$	$Y(2)$
3	$A1$	$B2$	$Y(3)$
4	$B1$	$B2$	$Y(4)$
5	$A1$	$C2$	$Y(5)$
6	$B1$	$C2$	$Y(6)$
7	$A1$	$D2$	$Y(7)$
8	$B1$	$D2$	$Y(8)$
9	$C1$	$A2$	$Y(9)$
10	$C1$	$C2$	$Y(10)$
11	$C1$	$D2$	$Y(11)$
12	$C1$	$B2$	$Y(12)$
13	$D1$	$A2$	$Y(13)$
14	$D1$	$C2$	$Y(14)$
15	$D1$	$D2$	$Y(15)$
16	$D1$	$B2$	$Y(16)$

Многофакторное математическое моделирование можно выполнять на основе планов $3 \cdot k + 1$, где k – количество факторов, оказывающих влияние на показатель процесса. В этом случае количество уровней каждого фактора – четыре. Уровни x_{md} – общие и определяются как средние арифметические величины $D1 = x_{1d} = 0,5 \cdot (x_{1a} + x_{1b})$;

$$D2 = x_{2d} = 0,5 \cdot (x_{2a} + x_{2b});$$

$$D3 = x_{3d} = 0,5 \cdot (x_{3a} + x_{3b});$$

$$D4 = x_{4d} = 0,5 \cdot (x_{4a} + x_{4b});$$

$$D5 = x_{5d} = 0,5 \cdot (x_{5a} + x_{5b}).$$

В табл. 32-35 приведены планы $3 \cdot k + 1$ соответственно для случаев, когда $k = 2$; $k = 3$; $k = 4$; $k = 5$. Математические модели выявляются как для однофакторного процесса при планировании на четырех уровнях каждого фактора. Получаются системы уравнений, в которых столько уравнений, сколько принято факторов, оказывающих влияние на показатель процесса. По мере увеличения количества факторов в плане необходимо увеличивать количество проводимых опытов (при увеличении k на 1 увеличивается количество опытов на 3).

На рис. 19 показана схема зависимости показателя от факторов при планировании $3 \cdot k + 1$, когда $k = 5$.

Таблица 32

План $3 \cdot \kappa + 1$ при $\kappa = 2$

№	x_1	x_2	y
1	$A1 = x_{1a}$	$D2$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$D2$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$D2$	$Y(3)$
4	$D1$	$A2 = x_{2a}$	$Y(1)$
5	$D1$	$B2 = x_{2b}$	$Y(2)$
6	$D1$	$C2 = x_{2c}$	$Y(3)$
7	$D1$	$D2$	$Y(4)$

Таблица 33

План $3 \cdot \kappa + 1$ при $\kappa = 3$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	$D2$	$D3$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$D2$	$D3$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$D2$	$D3$	$Y(3)$
4	$D1$	$A2 = x_{2a}$	$D3$	$Y(1)$
5	$D1$	$B2 = x_{2b}$	$D3$	$Y(2)$
6	$D1$	$C2 = x_{2c}$	$D3$	$Y(3)$
7	$D1$	$D2$	$A3 = x_{3a}$	$Y(1)$
8	$D1$	$D2$	$B3 = x_{3b}$	$Y(2)$
9	$D1$	$D2$	$C3 = x_{3c}$	$Y(3)$
10	$D1$	$D2$	$D3$	$Y(4)$

Таблица 34

План $3 \cdot \kappa + 1$ при $\kappa = 4$

$N\bar{o}$	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	$A1 = x_{1a}$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(3)$
4	$D1$	$A2 = x_{2a}$	$D3$	$D4$	$Y(1)$
5	$D1$	$B2 = x_{2b}$	$D3$	$D4$	$Y(2)$
6	$D1$	$C2 = x_{2c}$	$D3$	$D4$	$Y(3)$
7	$D1$	$D2$	$A3 = x_{3a}$	$D4$	$Y(1)$
8	$D1$	$D2$	$B3 = x_{3b}$	$D4$	$Y(2)$
9	$D1$	$D2$	$C3 = x_{3c}$	$D4$	$Y(3)$
10	$D1$	$D2$	$D3$	$A4 = x_{4a}$	$Y(1)$
11	$D1$	$D2$	$D3$	$B4 = x_{4b}$	$Y(2)$
12	$D1$	$D2$	$D3$	$C4 = x_{4c}$	$Y(3)$
13	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(4)$

Таблица 35

План $3 \cdot \kappa + 1$ при $\kappa = 5$

$N\bar{o}$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	$A1 = x_{1a}$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(3)$
4	$D1$	$A2 = x_{2a}$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(1)$
5	$D1$	$B2 = x_{2b}$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(2)$
6	$D1$	$C2 = x_{2c}$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(3)$
7	$D1$	$D2$	$A3 = x_{3a}$	$D4$	$D5$	$Y(1)$
8	$D1$	$D2$	$B3 = x_{3b}$	$D4$	$D5$	$Y(2)$
9	$D1$	$D2$	$C3 = x_{3c}$	$D4$	$D5$	$Y(3)$
10	$D1$	$D2$	$D3$	$A4 = x_{4a}$	$D5$	$Y(1)$
11	$D1$	$D2$	$D3$	$B4 = x_{4b}$	$D5$	$Y(2)$
12	$D1$	$D2$	$D3$	$C4 = x_{4c}$	$D5$	$Y(3)$
13	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$A5 = x_{5a}$	$Y(1)$
14	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$B5 = x_{5b}$	$Y(2)$
15	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$C5 = x_{5c}$	$Y(3)$
16	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(4)$

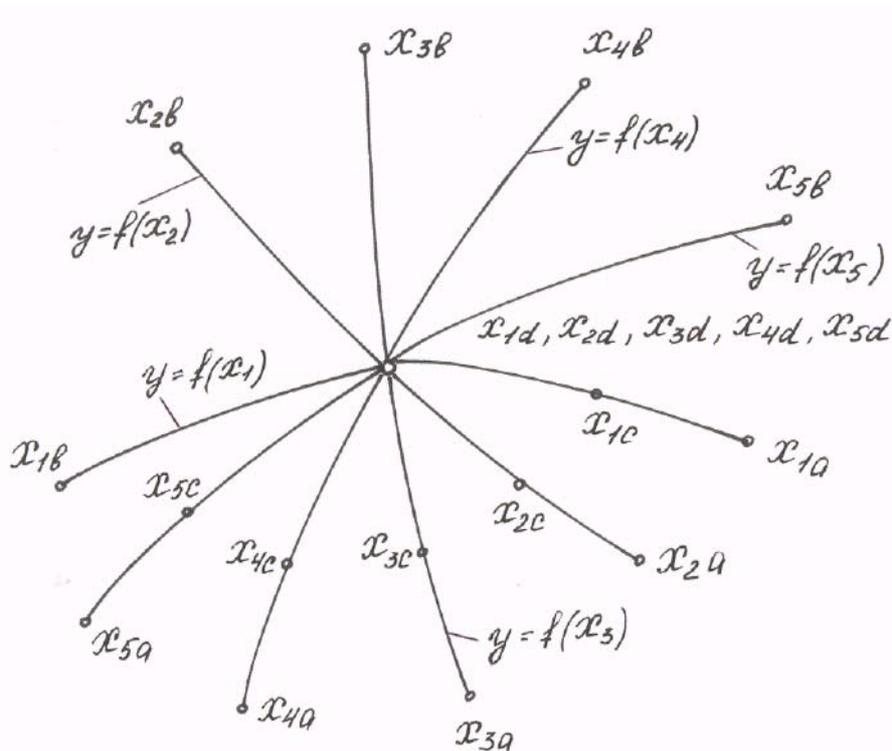


Рис. 19. Схема зависимости показателя от пяти факторов при планировании $3 \cdot 5 + 1$

Математическое моделирование при планировании $3 \cdot k + 1$ рационально проводить, когда необходимо выявить ряд факторов, оказывающих существенное влияние на показатель процесса. Это моделирование выполняется на основе небольшого количества экспериментальных данных, но позволяет прогнозировать улучшение процессов, определять, при каких условиях можно достигать оптимальных результатов.

При проведении двухфакторных экспериментов нередко возникают случаи, когда рационально принимать неодинаковое количество уровней первого и второго независимых переменных. На рис. 20 представлены для общих случаев различные варианты графических зависимостей параметра от двух факторов. В соответствии с графиками рис. 20 эксперименты можно планировать, принимая для первого фактора три, четыре, пять уровней, а для второго фактора соответственно четыре, пять, три уровня.

В табл. 36, 37, 38 приведены планы $3 \cdot 4$, $3 \cdot 5$, $4 \cdot 5$, которые являются частными случаями плана 5^2 . Каждая строчка плана $3 \cdot 4$ (см. табл. 36) является координатами соответствующей точки графической кривой рис. 20, а. В плане $3 \cdot 5$ (см. табл. 37) представлены построено координаты графиче-

ских кривых (рис. 20, б), а в плане 4·5 (табл. 38) - координаты графических кривых (рис. 20, в).

Планы 3·4, 3·5, 4·5 являются выборками из плана 5^2 . Они позволяют выявлять математические модели процессов при меньшем количестве опытов, чем при планировании 5^2 . Сомножители в обозначениях планов 3·4, 3·5, 4·5 указывают соответственно на количество уровней первого и второго факторов, а произведения указанных сомножителей - на количество опытов в планах-выборках.

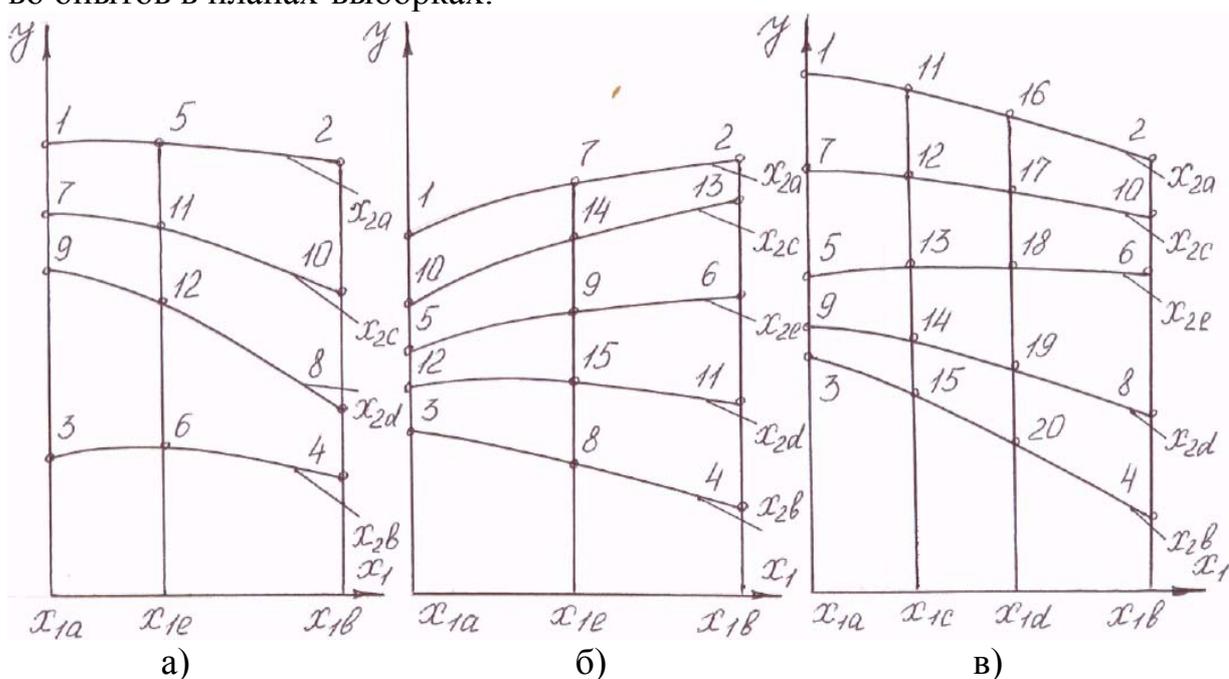


Рис. 20. Схемы зависимостей показателя от двух факторов для случаев а) 3·4, б) 3·5, в) 4·5

Таблица 36

План проведения экспериментов 3 · 4

N_{\circ}, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
5	$x_{1,5}=x_{1e}$	$x_{2,5}=x_{2a}$	y_5
6	$x_{1,6}=x_{1e}$	$x_{2,6}=x_{2b}$	y_6
7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2c}$	y_7
8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2d}$	y_8
9	$x_{1,9}=x_{1a}$	$x_{2,9}=x_{2d}$	y_9
10	$x_{1,10}=x_{1b}$	$x_{2,10}=x_{2d}$	y_{10}
11	$x_{1,11}=x_{1e}$	$x_{2,11}=x_{2c}$	y_{11}
12	$x_{1,12}=x_{1e}$	$x_{2,12}=x_{2d}$	y_{12}

Таблица 37

План проведения экспериментов 3 · 5

N_{\circ}, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
7	$x_{1,7}=x_{1e}$	$x_{2,7}=x_{2a}$	y_7
8	$x_{1,8}=x_{1e}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	y_8
9	$x_{1,9}=x_{1e}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	y_9
10	$x_{1,10}=x_{1a}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}
11	$x_{1,11}=x_{1b}$	$x_{2,11}=x_{2d}$	y_{11}
12	$x_{1,12}=x_{1a}$	$x_{2,12}=x_{2d}$	y_{12}
13	$x_{1,13}=x_{1b}$	$x_{2,13}=x_{2c}$	y_{13}
14	$x_{1,14}=x_{1e}$	$x_{2,14}=x_{2c}$	y_{14}
15	$x_{1,15}=x_{1e}$	$x_{2,15}=x_{2d}$	y_{15}

План проведения экспериментов 4 · 5

$N\bar{o}, u$	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2c}$	y_7
8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2d}$	y_8
9	$x_{1,9}=x_{1a}$	$x_{2,9}=x_{2d}$	y_9
10	$x_{1,10}=x_{1b}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}
11	$x_{1,11}=x_{1c}$	$x_{2,11}=x_{2a}$	y_{11}
12	$x_{1,12}=x_{1c}$	$x_{2,12}=x_{2c}$	y_{12}
13	$x_{1,13}=x_{1c}$	$x_{2,13}=x_{2e}$	y_{13}
14	$x_{1,14}=x_{1c}$	$x_{2,14}=x_{2d}$	y_{14}
15	$x_{1,15}=x_{1c}$	$x_{2,15}=x_{2b}$	y_{15}
16	$x_{1,16}=x_{1d}$	$x_{2,16}=x_{2a}$	y_{16}
17	$x_{1,17}=x_{1d}$	$x_{2,17}=x_{2c}$	y_{17}
18	$x_{1,18}=x_{1d}$	$x_{2,18}=x_{2e}$	y_{18}
19	$x_{1,19}=x_{1d}$	$x_{2,19}=x_{2d}$	y_{19}
20	$x_{1,20}=x_{1d}$	$x_{2,20}=x_{2b}$	y_{20}

Для планов 3·4, 3·5, 4·5 уравнения регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r},$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s};$

$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s};$$

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s};$$

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r},$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s} + c_{2w} \cdot x_{2w};$

$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s} + d_{2w} \cdot x_{2w};$$

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s} + e_{2w} \cdot x_{2w};$$

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r} + a_{1s} \cdot x_{1s},$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s} + c_{2w} \cdot x_{2w};$

$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s} + d_{2w} \cdot x_{2w};$$

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s} + e_{2w} \cdot x_{2w};$$

$$a_{1s} = f'_o + f_{2n} \cdot x_{2n} + f_{2r} \cdot x_{2r} + f_{2s} \cdot x_{2s} + f_{2w} \cdot x_{2w}.$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получаются следующие полиномы.

Для плана 3 · 4 (табл. 36);

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2r,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{2s} \cdot x_{2s} + b_{2s,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2s,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} \quad (42)$$

Для плана 3 · 5 (см. табл. 37);

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2r,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{2s} \cdot x_{2s} + b_{2s,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2s,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2w} \cdot x_{2w} + b_{2w,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2w} + b_{2w,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2w} \quad (43)$$

Для плана 4 · 5 (см. табл. 6);

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2r,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1s} \cdot x_{1s} + b_{2s} \cdot x_{2s} + b_{2s,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{1s,2n} \cdot x_{2n} \cdot x_{1s} + b_{1r,2s} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2r,1s} \cdot x_{2r} \cdot x_{1s} + b_{2s1s} \cdot x_{2s} \cdot x_{1s} + b_{2w} \cdot x_{2w} + b_{2w,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2w} + b_{2w,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2w} + b_{2w,1s} \cdot x_{1s} \cdot x_{2w} \quad (44)$$

В уравнениях регрессии (42) - (44) y - показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$; $x_{1n} = x^n_1 + v_1$;

$$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1; x_{1s} = x^s_1 + d_1 \cdot x^r_1 + e_1 \cdot x^n_1 + f_1;$$

$$x_{2n} = x^n_2 + v_2;$$

$$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2; x_{2s} = x^s_2 + d_2 \cdot x^r_2 + e_2 \cdot x^n_2 + f_2;$$

$$x_{2w} = x^w_2 + g_2 \cdot x^s_2 + h_2 \cdot x^r_2 + k_2 \cdot x^n_2 + l_2;$$

x_1, x_2 - 1, 2-й факторы (независимые переменные); n, r, s, w - изменяемые числа показателей степени факторов; $v_1, a_1, c_1, d_1, e_1, f_1$ - коэффициенты ортогонации, определяемые

при четырех уровнях 1-го фактора, $m = 1, N = 4$ по формулам (31) - (36);

при трех уровнях 1-го фактора, $m = 1, N = 3$ по формулам (19)-(21); $v_2, a_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2, k_2, l_2$ - коэффициенты ортогонализации, определяемые при пяти уровнях 2-го фактора, $m = 2, N = 5$ по формулам (2)-(11);

при четырех уровнях 2-го фактора, $m = 2, N = 4$ по формулам (31)-(36);

при трех уровнях 2-го фактора, $m = 2, N = 3$ по формулам (19)-(21);

$b'_o, b_{1n}, b_{2n}, b_{1n,2n}, b_{1r}, b_{2r}, b_{1n,2r}, b_{2n,1r}, b_{1r,2r}, b_{1s}, b_{2s}, b_{1n,2s}, b_{2n,1s}, b_{1r,2s}, b_{2r,1s}, b_{1s,2s}, b_{1w}, b_{2w}, b_{1n,2w}, b_{2n,1w}, b_{1r,2w}, b_{2r,1w}, b_{1s,2w}, b_{2s,1w}, b_{1w,2w}$ - коэффициенты регрессии.

Для уровней a, b, c, d, e факторы имеют следующие обозначения: $x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{1d}, x_{1e}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{2d}, x_{2e}$.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнений (42)-(44) имеют следующий вид:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{o,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}; \quad (45)$$

$$b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1n,u}^2}; \quad (46)$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2n,u}^2}; \quad (47)$$

$$b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2}; \quad (48)$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1r,u}^2}; \quad (49)$$

$$b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2r,u}^2}; \quad (50)$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad (51)$$

$$b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2}; \quad (52)$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad (53)$$

$$b_{1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{1s,u}^2}; \quad (54)$$

$$b_{2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2s,u}^2}; \quad (55)$$

$$b_{1n,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2s,u})^2}; \quad (56)$$

$$b_{2n,1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2n,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2n,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \quad (57)$$

$$b_{1r,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2s,u})^2}; \quad (58)$$

$$b_{2r,1s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2r,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{2r,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \quad (59)$$

$$b_{1s,2s} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1s,u} \cdot x_{2s,u})^2}; \quad (60)$$

$$b_{2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{2w,u}^2}; \quad (61)$$

$$b_{2n,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1n,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1n,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \quad (62)$$

$$b_{1r,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1r,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1r,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \quad (63)$$

$$b_{1s,2w} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1s,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{1s,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \quad (64)$$

где

$$\begin{aligned} x_{1n,u} &= x_{1,u}^n + v_1; & x_{1r,u} &= x_{1,u}^r + a_1 x_{1,u}^n + c_1; \\ x_{1s,u} &= x_{1,u}^s + d_1 x_{1,u}^r + e_1 x_{1,u}^n + f_1; \\ x_{1w,u} &= x_{1,u}^w + q_1 x_{1,u}^s + h_1 x_{1,u}^r + \kappa_1 x_{1,u}^n + l_1; \\ x_{2n,u} &= x_{2,u}^n + v_2; & x_{2r,u} &= x_{2,u}^r + a_2 x_{2,u}^n + c_2; \\ x_{2s,u} &= x_{2,u}^s + d_2 x_{2,u}^r + e_2 x_{2,u}^n + f_2; \\ x_{2w,u} &= x_{2,u}^w + q_2 x_{2,u}^s + h_2 x_{2,u}^r + \kappa_2 x_{2,u}^n + l_2, \end{aligned}$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов.

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии (используются формулы 45-53, 55, 56, 58 при 3·4; 45-53, 55, 56, 58, 62, 63, 65 при 3·5; 45-64 при 4·5). В форму-

лы подставляются данные от 1-го до N -го опыта плана, соответствующего уравнению регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b_0\}$, $s^2\{b_{1n}\}$, $s^2\{b_{2n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n}\}$, $s^2\{b_{1r}\}$, $s^2\{b_{2r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r}\}$, $s^2\{b_{1s}\}$, $s^2\{b_{2s}\}$, $s^2\{b_{1n,2s}\}$, $s^2\{b_{2n,1s}\}$, $s^2\{b_{1r,2s}\}$, $s^2\{b_{2r,1s}\}$, $s^2\{b_{1s,2s}\}$, $s^2\{b_{2w}\}$, $s^2\{b_{1n,2w}\}$, $s^2\{b_{1r,2w}\}$, $s^2\{b_{1s,2w}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$, $w = 4$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. Математическая модель процесса получается после подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии. Если при проверке выясняется, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и основа выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

ВЫЯВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ, АДЕКВАТНОСТИ И ТОЧНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Для определения ошибки экспериментов проводится серия параллельных одинаковых опытов на основном (среднем) уровне независимых переменных, то есть когда $x_m = (x_{ma} + x_{mb})/2$ для каждого m -го фактора. Необходимо проводить таких опытов приблизительно в два раза больше числа выбранных факторов при количестве факторов ≥ 3 . При одном факторе рекомендуется проводить параллельно опытов $N_0 \geq 4$, а при двух факторах – $N_0 \geq 5$.

Дисперсия опытов $s^2\{y\}$ рассчитывается по формуле:

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} (y_j - \bar{y})^2}{N_0 - 1}, \quad (65)$$

где j - номер параллельно проводимого опыта; N_0 – количество параллельных опытов; y_j - результат j -го параллельного опыта; \bar{y} - среднее арифметическое значение результатов параллельных опытов.

По дисперсии опытов определяется среднеквадратичная ошибка экспериментов

$$s\{y\} = \sqrt{s^2\{y\}} \quad (66)$$

Статистическая значимость коэффициентов регрессии b_i проверяется по t – критерию. Расчетные величины t_i – критерия для каждого i -го коэффициента регрессии b_i определяются по формуле:

$$t_i = \frac{b_i}{s\{b_i\}} \quad (67)$$

где $s\{b_i\} = \sqrt{s^2\{b_i\}}$ – среднеквадратичная ошибка в определении i -го коэффициента регрессии.

Рассчитанные по формуле (67) величины t_i сравниваются с табличным значением t_T – критерия (табл. 39), взятым при том же значении степени свободы $f_1 = N_0 - 1$, при котором была определена по формуле (66) среднеквадратичная ошибка экспериментов $s\{y\}$ и при 5 или 1%-м уровне значимости. Если $t_i \geq t_T$, то i -й коэффициент регрессии статистически значим. Члены полинома, коэффициенты регрессии которых статистически незначимы, можно исключить из уравнения.

Проверка адекватности математической модели осуществляется по F –критерию (критерию Фишера), расчетное значение которого (F_p) определяется по формуле:

$$F_p = \frac{\sum_{u=1}^N (y_{p,u} - y_u)^2}{(N-1) \cdot s^2\{y\}} \quad (68)$$

где N – число опытов по плану проведения экспериментов;

$y_{p,u}$ и y_u – значения показателей процесса в u -м опыте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментально; $s^2\{y\}$ – дисперсия опытов.

В уравнении (68) $\frac{\sum_{u=1}^N (y_{p,u} - y_u)^2}{(N-1)} = s_n^2$ – дисперсия неадекватности:

$N - 1 = f_2$ – число степени свободы при определении дисперсии неадекватности.

Из уравнения (68) следует, что F_p -критерий – это отношение дисперсии предсказания, полученной математической моделью (дисперсии неадекватности), к дисперсии опытов.

Таблица 39

Значения t –критерия для распределения Стьюдента [3]

Число степеней свободы f_1	Значение t_T – критерия для уровней значимости, %	
	5	1
1	12,706	63,657
2	4,303	9,925
3	3,182	5,841
4	2,776	4,604
5	2,571	4,032
6	2,447	3,707
7	2,365	3,499
8	2,306	3,355
9	2,262	3,250
10	2,228	3,169
12	2,179	3,055
14	2,145	2,977
16	2,120	2,921
18	2,101	2,878
20	2,086	2,845
22	2,074	2,819
24	2,064	2,797
26	2,056	2,779
28	2,048	2,763
30	2,042	2,750
>30	1,960	2,576

Уравнение регрессии считается адекватным в том случае, когда рассчитанное значение F_p критерия не превышает табличного F (табл. 40 и 41) [3] для выбранного уровня значимости и при степенях свободы $f_1 = N_0 - 1$, $f_2 = N - 1$, то есть когда $F_p \leq F$. Число степени свободы $f_2 = N - 1$ принято исходя из данных работы [3].

Так как статистические модели приближенно оценивают взаимосвязь показателей процесса с факторами, то особое внимание необходимо уделять оценке фактической точности модели. Проверка и уточнение математической модели осуществляется на основании серии контрольных экспериментов.

Таблица 40

f_1	Значения F –критерия для 5% уровня значимости												
	f_2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11..20	21..30	>30
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	248	250	254
2	18,51	19	19,16	19,25	19,3	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,44	19,46	19,5
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,66	8,62	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,80	5,74	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,56	4,50	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,87	3,81	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,44	3,38	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,15	3,08	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	2,93	2,86	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,77	2,70	2,54
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,12	2,04	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	1,93	1,84	1,62
>30	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	2,01	1,94	1,88	1,83	1,57	1,46	1,00

Таблица 41

f_1	Значения F –критерия для 1% уровня значимости												
	f_2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11..20	21..30	>30
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	60,56	6208	6258	6366
2	98,49	99,01	99,17	99,25	99,3	99,33	99,34	99,36	99,38	99,4	99,45	99,47	99,5
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	26,69	26,50	26,12
4	21,2	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,02	13,83	13,46
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,55	9,38	9,02
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,39	7,23	6,88
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,15	5,98	5,65
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,36	5,20	4,86
9	10,57	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	4,80	4,64	4,31
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,41	4,25	3,91
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	2,94	2,77	2,42
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,55	2,38	2,01
>30	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	1,87	1,69	1,09

АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Применительно к использованию ЭВМ разработан следующий алгоритм математического моделирования, который сводится к следующему.

1. Начало выполнения программы, ввод количества опытов по плану, величин факторов на принятых уровнях и показателей степени в уравнении регрессии.
2. Расчет коэффициентов ортогонализации.
3. Ввод величин показателей процесса.
4. Расчет коэффициентов регрессии до их анализа.
5. Ввод количества опытов на среднем уровне факторов.
6. Расчет показателей до анализа коэффициентов регрессии.
7. Выявление дисперсии опытов, расчетных величин t-критерия для каждого коэффициента регрессии.
8. Ввод табличного t-критерия.
9. Выявление статистически значимых коэффициентов регрессии.
10. Ввод табличного F-критерия.
11. Расчет показателей после анализа коэффициентов регрессии.
12. Выявление расчетной величины F-критерия и адекватности модели.
13. Выполнение расчетов по модели и проверка точности модели.
14. Вычисления показателей по математической модели с использованием циклов и построение графиков.
15. Конец выполнения программы.

Разработка программ математического моделирования выполнена на языке Бейсик, операторы которого приведены ниже.

ОПЕРАТОРЫ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ БЕЙСИК

PRINT (печатать)

Вывод данных на экран дисплея. Форматы:

PRINT [<список выражений>][;]

? [<список выражений>][;]

Выражения в списке отделяются друг от друга запятой, точкой с запятой или пробелом (пробелами). Точка с запятой и пробел (пробелы) дают одинаковый результат (между цифрами пробелы не воспринимаются). Если <список выражений> опущен, выводится пустая строка. ? используется как сокращенная запись слова **PRINT**.

DATA (данные)

DATA <константа> [, <константа>]...

Операторы **DATA** могут быть размещены в любом месте программы; все данные в **DATA** – непрерывный список для операторов **READ**. Типы констант в **READ** и **DATA** должны совпадать.

READ (читать)

Присваивание переменным значений, заданных в операторах **DATA**.
Формат:

READ <переменная> [, <переменная>]...

Операторы **READ** читают подряд данные из операторов **DATA**.

RESTORE (восстановить)

Переустанавливает список данных, определенных операторами **DATA**, для повторного или выборочного чтения. Формат:

RESTORE [<номер строки>]

где <номер строки> - номер строки, содержащий оператор **DATA**, куда будет обращаться следующий оператор **READ**. Если номер строки не задан, то следующий оператор **READ** будет обращаться к первому элементу первого оператора **DATA** программы.

INPUT (ввести)

Ввод данных с клавиатуры во время выполнения программы или в командном режиме. Формат:

INPUT [;] [«подсказка»;] <переменная> [, <переменная>]...

Текст подсказки поясняет, какие данные требуется ввести. При выполнении оператора **INPUT** на экране появляется ?, и программа ожидает ввода данных с клавиатуры. Если после подсказки использовать <, > вместо <; >, то ? не появляется. Вводимые данные следует разделять на экране запятыми. Тип вводимого элемента данных должен соответствовать типу переменной в перечне **INPUT**. Строки символов могут не заключаться в кавычки, если они не содержат запятых, начальных или конечных пробелов. Если в ответ на запрос оператора **INPUT** введено слишком мало или слишком много элементов данных, или не согласуются типы данных, то выдается со-

общение об ошибке, после чего необходимо повторить весь ввод. Если требуется единственная переменная, то нажатие клавиши <Enter> без ввода данных на экран (пустой ввод) приводит к тому, что числовая переменная принимает значение 0, а строковая – пустой строки. Если после слова INPUT стоит <;>, то нажатие клавиши ввода <Enter> не переводит курсор в начало следующей строки.

LINE INPUT (ввод строки)

Ввод строки символов с клавиатуры. Формат:

LINE INPUT [;] [«подсказка»,] <строковая переменная>

Оператор LINE INPUT позволяет вводить с клавиатуры строки с любыми символами. Знак ? на экране не появляется

Оператор присваивания LET (пусть, допустим)

Присваивание переменной значения выражения. Формат:

[LET] <переменная> = <выражение>

Слово LET обычно опускается.

PRINT USING (печать с использованием шаблона)

Вывод данных на экран в указанном формате. Формат:

PRINT USING <формат>; <список выражений> [;]

<Формат> для вывода строки символов может быть одним из следующих:

“!” – задает вывод только первого символа строки;

“\<n пробелов>” – задает вывод 2+n первых символов строки. Если не указано ни одного пробела (“\”), то выводятся два символа;

“&” – задает вывод всей строки символов.

Формат для вывода числа задается с помощью шаблона, который описывает каждую позицию, занимаемую числом в выводимой строке. Шаблон составляется из символов:

- описывает цифровую позицию числа. Цифровая позиция всегда присутствует в выводной строке и может содержать цифру или пробел. Пробелы появляются в крайних левых позициях, если в выводимом числе меньше цифр, чем определено цифровых позиций;

. - описывает местоположение десятичной точки в выводном формате числа;

+ - описывает знаковую позицию числа и может быть первым или последним символом в шаблоне. При выводе числа в эту позицию будет вставлен знак “+” или “-“;

^^^ - определяют экспоненциальный формат представления числа при выводе и могут быть указаны в шаблоне только после цифровых позиций.

Если выводимое число не вмещается в поле, определенное шаблоном, перед числом в выводную строку будет вставлен знак “%”. Разделители в конце оператора выполняют ту же роль, что и в операторе PRINT.

WRITE (писать)

Вывод данных на экран дисплея. Формат:

WRITE <список выражений>

Выражения в списке отделяются друг от друга запятой или точкой с запятой. Оператор **WRITE** выполняется аналогично оператору **PRINT**, но есть отличия: при выводе данные разделяются запятыми; строки символов заключаются в кавычки; перед положительным числом и после чисел не ставится пробел.

LPRINT, LPRINT USING

Вывод данных на принтер. Форматы:

LPRINT [<список выражений>] [;]

LPRINT USING <формат>; <список выражений>[;]

Операторы аналогичны операторам **PRINT** и **PRINT USING**.

Оператор **MID\$** (**MIDDL** – середина)

Замена заданной части строки символов другой строкой.

Формат:

MID\$ (<строковая переменная>, n [,m]) = <строковое выражение> где n = 1...255, m = 0...255.

Оператор позволяет выполнить замену указанной подстроки в значении <строковой переменной>. Первые m символов строки, заданной <строковым выражением>, будут замещать m символов в значении <строковой переменной>, начиная с позиции n. Если m опущено, пересылается вся строка. Оператор не изменяет длину <строковой переменной>.

SWAP (обмен)

Обмен значениями двух переменных. Формат:

SWAP <переменная 1>, <переменная 2>

В результате выполнения оператора **SWAP** <переменная 1> получает значение <переменной 2>, а <переменная 2> - значение <переменной 1>.

RANDOMIZE (**RANDOM** – случайный)

Переустановка базы генерации случайных чисел. Формат:

RANDOMIZE [n]

где n – целочисленное выражение, значение которого используется в качестве базы генерации и равно -32768 ... +32767. База генерации предназначена для функции **RND** [(x)], где x – фиктивный параметр.

KEY (клавиша)

Установка или отображение значений функциональных клавиш F1...F10. Форматы:

KEY n, <строка символов>

KEY LIST

KEY ON
KEY OFF

Здесь *n* – номер функциональной клавиши; <строка символов> – строковое выражение до 15 символов, значение которого назначается функциональной клавише; LIST – вывод на экран полных значений всех десяти функциональных клавиш; OFF – отменяет вывод на 25-ю строку экрана значений функциональных клавиш, но не отменяет эти значения; ON – выводит на 25-ю строку экрана значения функциональных клавиш.

При запуске Бейсика автоматически выполняется оператор KEY ON.

Если значение функциональной клавиши заканчивается символом CHR\$(13) (<Enter>), то после нажатия функциональной клавиши нет необходимости нажимать <Enter> – соответствующая команда выполняется сразу.

Операторы переадресации управления

GOTO (перейти к ...)

Переход к заданной строке программы (безусловный переход). Формат:

GOTO <номер строки>

Оператор передает управление строке, номер которой указан в операторе. Если <номер строки> указывает на невыполняемый оператор (REM, DATA), то выполнение программы продолжается с первого последующего выполняемого оператора.

Оператор GOTO удобно исполнить также в режиме прямого выполнения команд, например, для запуска программы с заданной строки без потери значений переменных.

GOSUB, RETURN (программа ... возврат)

Переход к программе и возврат из нее. Формат:

GOSUB <номер строки> RETURN <номер строки>

Оператор GOSUB передает управление заданной подпрограмме, выполнение которой завершается оператором RETURN. По оператору RETURN без <номера строки> осуществляется возврат к оператору, следующему за оператором GOSUB. Вход в подпрограмму возможен в разных точках до оператора RETURN. Подпрограммы могут располагаться в любом месте программы, но следует позаботиться об их обходе оператором GOTO. Вызовы подпрограммы могут быть вложены в другие подпрограммы, причем вложенность ограничена только объемом свободной памяти.

ON ... GOTO, ON ... GOSUB (при ... перейти к)

Передача управления в зависимости от значения выражения. Форматы:

ON <числовое выражение> GOTO <номер строки> ... [,<номер строки>]...

ON <числовое выражение> GOSUB <номер строки> ... [,<номер строки>]...

При необходимости <числовое выражение> = 0...255 округляются до целого. Управление передается в ту строку программы, порядковый номер которой в списке оператора равен значению числового выражения. Если, например, L=3, то оператору

```
50 ON L GOTO 100,150, 300, 480
```

управление передается строке 300, так как она третья в списке.

В операторе ON ... GOSUB каждый номер строки должен указывать первую строку подпрограммы. Завершающий подпрограмму оператор RETURN без <номера строки> возвращает управление в последующий за оператором ON ... GOSUB оператор программы.

Если значение <числового выражения> равно 0 или превышает число указанных в списке номеров строк, управление передается следующему оператору.

IF (если)

Оператор условного перехода – управление ходом выполнения программы в зависимости от результата выполнения выражения. Форматы:

```
IF <выражение> [,] THEN <фраза> [ELSE <фраза>]
```

(если... тогда... в противном случае...)

```
IF <выражение> [,] GOTO <номер строки> [ [,] ELSE <фраза>]
```

(если... то идти к ... в противном случае...)

Здесь <фраза> - оператор либо последовательность операторов Бейсика, разделенных двоеточиями, или номер строки, к которой должен быть осуществлен переход.

Результат выполнения оператора IF зависит от значения указанного в нем выражения.

Если значение <выражения> «истина», то выполняется действие, определенное во <фразе> за THEN, или GOTO. Если значение выражения «ложь», выполняется действие, определенное <фразой> за ELSE. Если ELSE отсутствует, выполняется следующая строка программы (именно следующая строка, а не следующий оператор данной строки; дело в том, что все операторы данной строки подчиняются одному и тому же IF ... THEN).

Операторы IF могут быть вложенными, при этом каждый ELSE объединяется с ближайшим THEN.

Операторы циклов

FOR... TO... STEP... NEXT

(для... до... с шагом... следующий)

Выполнение последовательностей инструкций в цикле. Форматы:

```
FOR<переменная> = x TO y [STEP z] <операторы> ...  
NEXT ... [<переменная>] [<переменная>]...
```

(для ... от ... до ... с шагом ... <тело цикла> ... следующее значение счетчика или счетчиков)

Здесь: <переменная> - имя целочисленной переменной или переменной с простой точностью, которая используется в качестве счетчика цикла; x – числовое выражение, начальное значение счетчика; y – конечное значение счетчика; z – значение шага приращения счетчика: <операторы>, образующие тело цикла, выполняются до встречи с NEXT. После этого счетчик цикла увеличивается на z и полученное значение сравнивается с y. Если счетчик превышает y, то цикл заканчивается и управление передается оператору, следующему за NEXT. В противном случае <операторы> снова выполняются и т.д. Если STEP опущен, то по умолчанию z=1. Когда z<0, счетчик уменьшается при каждом проходе цикла, пока не станет меньшим, чем y. Если условие цикла сразу не выполняется, то цикл пропускается. При z=0 получается бесконечный цикл.

Циклы могут быть вложены друг в друга. При этом имена счетчиков должны отличаться. Операторы NEXT для внутренних циклов располагаются раньше операторов NEXT для внешних циклов. Если вложенные циклы заканчиваются в одной точке, они могут быть завершены одним NEXT с перечнем имен счетчиков всех циклов (сначала внутренних, потом внешних через запятые). Переменные в операторе NEXT могут быть опущены, тогда NEXT считается относящимся к ближайшему FOR. Если используются вложенные циклы, то в каждом NEXT должна находиться своя переменная.

WHILE и WEND

(пока и WHILE END – конец цикла WHILE)

Организация цикла с предусловием. Формат:

```
WHILE <числовое выражение>...<тело цикла>... WEND.
```

Здесь <тело цикла> - последовательность операторов Бейсика.

Операторы WHILE и WEND организуют циклическое выполнение операторов, входящих в <тело цикла>. Если значение <числового выражения> не равно 0, операторы, заключенные между WHILE и WEND, выполняются и управление снова возвращается к оператору WHILE. Этот процесс повторяется до тех пор, пока <числовое выражение> не примет значение 0. В этом случае выполнение программы продолжается с оператора, следующего за WEND.

Допускается использование вложенных циклов WHILE ... WEND.

Соответствие между операторами WHILE и WEND устанавливается таким образом, что каждому WEND ставится в соответствие бли-

жайший предшествующий ему WHILE, который еще не поставлен в соответствие никакому WEND.

Оператор **CLS** (очистить экран)

Стирание экрана. Формат:

CLS

Вся информация с экрана удаляется, а курсор размещается в левом верхнем углу экрана.

Оператор **LOCATE** (расположить)

Управление курсором. Формат:

LOCATE [<строка>] [, [<колонка>] [, [<курсор>]]]

LOCATE перемещает курсор в заданную позицию экрана <строка>, <колонка> (обычно <строка> = 1...24, <колонка> = 1...80).

<Курсор> = 0 или 1. Если <курсор> = 1, то во время выполнения программы курсор виден на экране. Если <курсор> = 0, то курсор невидим. По умолчанию везде используются старые значения.

Оператор **WIDTH** (ширина)

Установка ширины выходной строки на дисплее или на принтере. Форматы:

WIDTH <ширина строки> (на дисплее для PRINT, LIST и др.)

WIDTH LPRINT <ширина строки> (на принтере для LPRINT и LLIST).

Здесь <ширина строки> - числовое выражение, которое может принимать значения 40 или 80 (экран) или 1...255 (принтер).

Функция **SPC**

Вставка указанного числа пробелов в выводную строку. Формат:

SPC (n)

где n = 0...255.

Функция участвует только в операторах типа PRINT.

Функция **TAB**

Переход к указанной позиции выводной строки. Формат:

TAB (n)

где n- номер позиции в строке. Используется только в операторах типа PRINT. Если n меньше текущего номера позиции в строке, осуществляется переход к позиции n в следующей строке.

Функция **SCREEN**

Функция символа, находящегося на экране. Формат:

SCREEN (<строка>, <столбец>, <режим>)

где <строка>, <столбец> - числовые выражения, задающие координаты позиции экрана; <режим> = 0 или 1.

Если <режим> = 0, то определяется код символа; если <режим> = 1, то определяется цвет символа и фона.

CHAIN (соединять)

Загрузка программы в основную память и передача ей управления. Формат:

CHAIN [MERGE] <имя файла>[, [<строка>] [, [ALL] [, DELETE <границы>]]]

Здесь <имя файла> - загружаемая с диска программа; <строка> - номер строки, с которой начинается выполнение программы; <границы> - диапазон номеров удаляемых строк программы.

Загруженная программа выполняется с указанной или первой строки. Если задан MERGE, то загружаемая программа объединяется с программой, размещенной в памяти (как по команде MERGE). В противном случае новая программа полностью заменяет старую. ALL указывает, что все переменные текущей программы становятся доступными загруженной программе. Если ALL отсутствует, для передачи переменных можно воспользоваться оператором COMMON.

COMMON (общий)

Передача данных загружаемой программе. Формат:

COMMON <переменная> [, <переменная>]...

Если передается массив, его имя должно сопровождаться парой круглых скобок. Оператор может быть указан в любом месте программы. В программе может использоваться любое число операторов COMMON, но одна и та же переменная не должна появляться более, чем в одном операторе COMMON.

DEF FN (определение функции)

Определение функции пользователя. Формат:

DEF FN <имя> [(<параметр> [, <параметр>]...)] = <выражение>

Здесь <имя> - имя функции, любое допустимое имя переменной, используется для вызова функции; <параметр> - определяет имена параметров, которые получают значения во время вызова функции; тип <выражения> должен соответствовать типу, объявленному именем функции.

Параметр, который используется в определении функции, действует только в определении функции. Он не связан с переменными программы, имеющими те же имена. В <выражении>, определяющем функцию, можно использовать переменные, не являющиеся параметрами.

Перед вызовом функции необходимо выполнить оператор DEF FN для того, чтобы определить функцию.

DEFINT, DEFISNG, DEFDBL, DEFSTR

(целый, простой, двойной, строка)

Установка способа определения типа переменной по умолчанию. Формат:

DIF ... <буква> [-<буква>] [, <буква> [-<буква>]]...

<Буква> может быть любой буквой латинского алфавита и задает начальную букву имени переменной. Если используется форма <буква> -<буква>, то определяется диапазон начальных букв. Операторы объявляют, что переменные, начинающиеся с определенной буквы, будут иметь следующие типы:

- ... INT – целые (%);
- ... SNG – с простой точностью (!);
- ... DBL – с двойной точностью (#);
- ... STR - строковые (символьные, \$).

Знаки явного определения типа переменной сохраняют свое действие и имеют приоритет над этими операторами. Все переменные без объявленного типа являются по умолчанию переменными с простой точностью.

DIM (измерение)

Определение массива. Формат:

DIM <переменная> (<измерения>) [, <переменная> (<измерения>)]...

Здесь <измерения> - список числовых выражений, разделенных запятыми. Каждое выражение определяет границу измерения массива. Значение измерения должно быть положительным числом, целая часть которого определяет границу измерения. Начальное значение элементов числового массива равно 0; элементы символьного массива имеют переменную длину и начальное значение, равное пустой строке. Оператор DIM в программе должен быть обязательно выполнен ранее операций с элементами объявленных в нем массивов.

OPTION BASE (базовый режим индексирования)

Установка нижней границы индексов массивов. Формат:

OPTION BASE n

где n=0 или 1. По умолчанию нижняя граница индексов равна 0. Если выполнен оператор OPTION BASE 1, то наименьшее значение индекса становится равным 1. Оператор должен быть выполнен до определения или использования массива.

ERASE (стереть)

Удаление массивов. Формат:

ERASE <имя массива> [, <имя массива>]...

В результате выполнения оператора ERASE заданные массивы удаляются. Память, занимаемая массивами, освобождается и может быть использована для других целей. Удаленный массив может быть определен заново с другими границами и размерностью.

ON ERROR (при ошибке)

Определение подпрограммы обработки ошибок. Формат:

ON ERROR GOTO <номер строки>

где <номер строки> - номер строки первого оператора подпрограммы обработки ошибок. После выполнения оператора ON ERROR возникновение любой ошибки вызовет передачу управления указанной в операторе подпрограмме. Выход из подпрограммы обработки ошибок осуществляется с помощью оператора RESUME. Чтобы отменить обработку ошибок, необходимо выполнить оператор ON ERROR GOTO 0. После выполнения такого оператора возникновение ошибки вызовет выдачу соответствующего сообщения и прекращение выполнения программы.

RESUME (продолжать после перерыва)

Возврат из подпрограммы обработки ошибок. Формат:

RESUME <номер строки>

где <номер строки> - номер строки, начиная с которой будет продолжаться выполнение программы.

END (конец)

Завершение выполнения программы. Формат:

END

Оператор END переводит Бейсик на уровень команд. Наличие оператора END в конце программы не обязательно.

STOP (остановка)

Остановка выполнения программы. Формат:

STOP

Выполнение программы можно продолжить операторами CONT или GOTO <номер строки> в режиме команд.

Невыполняемый оператор **REM** (комментарий)

Вставка в программу комментария. Формат:

REM <комментарий>

Оператору REM может быть передано управление операторами GOTO и GOSUB. В этом случае выполнение программы продолжается с первого следующего выполняемого оператора. Вместо: REM возможен апостроф’.

В текстовом режиме работы дисплея цвет символа и его фона устанавливается оператором **COLOR**. На экране одновременно могут находиться и участки различного цвета, и разноцветные символы. Формат оператора:

COLOR [<передний план>] [, [<фон>] [, <окаймление>]]

<передний план> - цвет символов, числовое выражение от 0 до 31; <цвет фона>, от 0 до 7; <окаймление> - цвет фона на краях экрана, от 0 до 7 (некоторые дисплеи на команды, связанные с <окаймлением>, не реагируют).

Оператор COLOR <передний план> изменяет только цвет символов; оператор COLOR, <фон> - только цвет фона и т.д. Номера цветов приведены ниже:

Номер	Цвет	Номер	Цвет	Номер	Цвет	Номер	Цвет
	Черный	4	Красный	8	Серый	12	Розовый
	Синий	5	Пурпурный	9	Светлосиний	13	Светло-пурпурный
	Зеленый	6	Коричневый	10	Светлозеленый	14	Желтый
	Голубой	7	Белый	11	Светлоголубой	15	Яркобе- лый

Если к этим номерам прибавить 16, то получим мерцающие знаки того же цвета: $3 + 16 = 19$ – голубой; $14 + 16 = 30$ – желтый и т.п.

Файлы произвольного (прямого) доступа

В файлах прямого доступа данные организуются таким образом, что доступ к ним может быть осуществлен в любом порядке независимо от того, в какой последовательности данные помещаются в файл. Запись и чтение информации с диска в случае прямого доступа осуществляются отдельными блоками, называемыми записями. Каждая запись имеет свой номер, в соответствии с которым она помещается в файл или извлекается из него. Для создания файла прямого доступа в программу должны быть включены следующие операции:

- 1) открытие файла (оператор **OPEN**);
- 2) распределение памяти для переменных в буфере файла – отделе памяти компьютера (оператор **FIELD**);
- 3) пересылка данных в буфер файла (операторы **LSET** и **RSET**). При пересылке в буфер числовые величины должны представляться строками знаков. Для этого можно использовать функции **MKIS**, **MKSS** и **MKDS**;
- 4) запись данных, находящихся в буфере, на диск (оператор **PUT**);
- 5) закрытие файла (оператор **CLOSE**).

Для обработки файла прямого доступа обычно используются операции:

- 1) открытие файла (**OPEN**);
- 2) распределение памяти в буфере (**FIELD**);
- 3) считывание нужной записи в буфер (оператор **GET**);

4) выполнение, если необходимо, обратного преобразования строк в числовые значения с помощью функций **CVI**, **CVS** и **CVD**);

5) закрытие файла (**CLOSE**).

Оператор **OPEN** (открыть)

Подготовка к выполнению операций ввода-вывода. Форматы:

OPEN "R", # <номер файла>, <имя файла> [, <длина записи>]

OPEN <имя файла> **AS** [#] <номер файла> [**LEN** = <длина записи>]

Здесь: <номер файла> - целочисленное выражение от 1 до 3; <длина записи> - числовое выражение, значение которого определяет длину записи в байтах, 1 ... 32767; по умолчанию – 128.

Если открывается несуществующий файл, то при выполнении оператора **OPEN** файл будет создан на диске.

Оператор **FIELD** (поле)

Распределение памяти для переменных в буфере файла. Формат:

FIELD # <номер файла>, <поле> **AS** <переменная> [, <поле> **AS** <переменная>]...

где <поле> - числовое выражение, задающее длину в байтах поля в буфере файла для соответствующей строковой <переменной>. Длина слова равна числу символов в нем; целое число преобразуется в строку длиной 2 байта; число с простой точностью – 4 байта; число с двойной точностью – 8 байт.

Оператор **FIELD** на помещает данные в буфер файла. Для этого служат операторы **LSET** и **RSET**. Он также не ведет обмен между диском и буфером. Это делают операторы **GET** и **PUT**. Оператор **FIELD** только объявляет переменные, для которых будет отведено место в буфере файла. Если переменная, определенная ранее в операторе **FIELD**, используется в операторе присваивания слева от "=", то она считается объявленной заново и становится обычной переменной, не связанной с буфером файла.

Операторы **LSET** и **RSET** (поместить слева и справа)

Пересылка данных в буфер файла прямого доступа. Формат:

LSET (или **RSET**) <строковая переменная> = x \$

где <строковая переменная> - имя переменной, определенной в операторе **FIELD**.

Операторы **LSET** и **RSET** предназначены для пересылки данных в буфер файла при подготовке к выполнению оператора **PUT**.

Строка, определяемая выражением x\$, помещается в поле, указанное <строковой переменной>. Если длина строки x\$ превышает длину переменной в операторе **FIELD**, то строка усекается в соответствии с размером переменной. При этом теряются крайние правые символы.

Если длина строки меньше длины переменной, то в случае оператора LSET данные прижимаются к левому краю поля, занимаемого переменной, а в случае RSET – к правому. Незанятые позиции в поле переменной заполняются пробелами. Числовые величины для операторов LSET и RSET должны быть представлены строками символов, для чего служат функции MKI\$, MKS\$ и MKD\$.

Операторы LSET и RSET также можно использовать для пересылки данных в поле, не определенное в операторе FIELD.

Оператор **PUT** (поместить)

Запись из буфера на диск. Формат:

PUT # <номер файла> [, <номер записи>]

где <номер записи> - целое число от 1 до 32767. Под этим номером запись будет помещена в файл и может быть впоследствии извлечена из него. Если <номер записи> не указан, записи присваивается следующий по порядку номер (относительно последнего оператора PUT).

Оператор **GET** (получить)

Считывание с диска в буфер. Формат:

GET # <номер файла> [, <номер записи>]

Оператор **CLOSE** (закрывать)

Завершает обработку файла (закрывает файл). Формат:

CLOSE [#<номер файла> [, #<номер файла>]...]

где <номер файла> - целое число, поставленное в соответствие файлу во время его открытия. Выполнение оператора в формате CLOSE закрывает все файлы. После закрытия файла связанный с ним номер может быть использован для открытия другого файла.

Функции **MKI\$, MKS\$, MKD\$**

(делать ... целый, простой, двойной)

Представление величины числового типа строкой знаков.

Формат:

MKI\$ (<целочисленное выражение>)

MKS\$ (<выражение с простой точностью>)

MKD\$ (<выражение с двойной точностью>)

При пересылке числовых величин в буфер файла прямого доступа с помощью операторов LSET и RSET их значения в памяти ПЭВМ должны рассматриваться Бейсиком как строки символов. Функции MKI\$, MKS\$ и MKD\$ обеспечивают такую интерпретацию значений числовых величин. В отличие от STR\$ эти функции не изменяют вид данных в основной памяти. Они изменяют только способ интерпретации этих данных. Функция MKI\$ позволяет рассматривать целое число как строку длиной 2 символа, функция

MKS\$ - число с простой точностью как 4 символа, MKD\$ - число с двойной точностью как 8 символов.

Функции **CVI, CVS, CVD** (переделать)

Представление строки символов величиной числового типа.

Форматы:

CVI (<строка-2>)

CVS (<строка-4>)

CVD (<строка-8>)

где <строка-2>, <строка-4>, <строка-8> - строки символов длиной соответственно 2, 4 и 8 байт, полученные в результате выполнения функций MKI\$, MKS\$ и MKD\$.

В буфере файла прямого доступа все числовые величины представлены строками символов, полученными в результате выполнения функций MKI\$, MKS\$ и MKD\$. Функции CVI, CVS и CVD выполняют обратное преобразование при извлечении числовых величин из буфера файла. Их применение обязательно, если над числовыми величинами, прочитанными из файла прямого доступа, должны выполняться арифметические операции.

Последовательные файлы

В последовательном файле данные размещаются в той последовательности, в которой поступают в файл. При чтении такого файла данные становятся доступными в том порядке, в котором они были записаны.

Для создания последовательного файла в программу включаются следующие операции:

- 1) открытие файла (оператор **OPEN**);
- 2) запись данных в файл (операторы **PRINT#, PRINT#USING, WRITE#**);
- 3) закрытие файла (**CLOSE**).

Программа обработки последовательного файла включает следующие операции:

- 1) открытие файла (оператор **OPEN**);
- 2) чтение данных из файла (операторы **INPUT#, LINE INPUT#**);
- 3) закрытие файла (**CLOSE**).

Оператор **OPEN**

Подготовка к выполнению операций ввода-вывода. Форматы:

OPEN "O", #<номер файла>, <имя файла>

(для вывода из оперативной памяти ПЭВМ на диск)

OPEN "I", #<номер файла>, <имя файла>

(для ввода с диска в оперативную память)

OPEN <имя файла> FOR OUTPUT AS #<номер файла>

(для вывода из оперативной памяти ПЭВМ на диск)

OPEN <имя файла> FOR INPUT AS #<номер файла>

(для ввода с диска в оперативную память).

Операторы **PRINT#** и **PRINT# USING**

Вывод данных в последовательный файл. Формат:

PRINT # <номер файла>, [USING <формат>;] <список выражений>

Оператор **WRITE #**

Вывод данных в последовательный файл. Формат:

WRITE # <номер файла>, <список выражений>

Символьные величины записываются на диск в кавычках!

Оператор **INPUT #**

Чтение данных из последовательного файла. Формат:

INPUT # <номер файла>, <переменная> [, <переменная>]...

Оператор INPUT # аналогичен оператору INPUT.

Оператор **LINE INPUT #**

Чтение строки символов из последовательного файла. Формат:

LINE INPUT # <номер файла>, <строковая переменная>

Экран графического дисплея представляет собой сумму точек, способных изменять свой цвет. Точки образуют строки (координата Y) и столбцы (координата X). В левом верхнем углу экрана X=0, Y=0; в правом нижнем углу экрана X=X_{max}, Y=Y_{max}.

Оператор **SCREEN 0** устанавливает текстовый режим работы дисплея;

SCREEN 1 – графический режим средней разрешающей способности (цветной экран 200 строк и 320 столбцов точек, X=0...319, Y=0...199); **SCREEN 2** – графический режим высокой разрешающей способности (монохромное изображение, экран 200 строк x 640 столбцов, X=0...639, Y=0...199).

Переходы от режима к режиму:

от 0 к 1, от 1 к 2, от 0 к 2

SCREEN 1

SCREEN 2

от 2 к 0, от 2 к 1

SCREEN 0

SCREEN 1

от 1 к 0

SCREEN 2: SCREEN 0

В графическом режиме SCREEN 1 цветом управляет оператор COLOR. Формат:

COLOR [<фон>] [, <палитра>]

где <фон> - цвет фона, от 0 до 15; <палитра> - номер палитры цветов, 0 или 1. Цвета палитры приведены ниже:

<i>Номер цвета</i>	<i>Палитра 0</i>	<i>Палитра 1</i>
0	Фон	Фон
1	Зеленый	Голубой
2	Красный	Пурпурный
3	Коричневый	Белый

Для символов, вводимых с клавиатуры, действует цвет 3. Все эти символы на всем экране окрашены одинаково.

PSET, PRESET (отображение точки)

Форматы:

PSET (x, y) [, <цвет>]

PRESET (x, y) [, <цвет>]

где x, y – координаты точки; <цвет> = 0, 1, 2, 3.

Если <цвет> опущен, то в PSET <цвет> = 3, в PRESET <цвет> = 0.

LINE (отрезок прямой)

Формат:

LINE [(x1, y1) – (x2, y2)] [, [<цвет>] [, [B[F]]]]

где (x1, y1) – координаты начальной точки отрезка; если (x1, y1) не заданы, по умолчанию предполагаются координаты последней выводимой точки; (x2, y2) – координаты конечной точки отрезка; <цвет> = 0, 1, 2, 3; B, BF – строить прямоугольник с вершинами в точках (x1, y1) и (x2, y2); BF – окрасить прямоугольник в заданный <цвет>.

CIRCLE (окружность)

Формат:

CIRCLE (x, y), <радиус> [, [<цвет>] [, [<начало>] [, [<конец>] [, <сжатие>]]]]

где x, y – координаты центра окружности; <сжатие> - отношение размеров центра окружности по вертикали к размерам по горизонтали; если <сжатие> < 1, то <радиус> направлен по x; если <сжатие> >= 1, то <радиус> направлен по y; <начало>, <конец> - радианная мера дуг в начальной и конечной точках неполной окружности (верхняя полуокружность 0, 3.14, правая полуокружность 4.71, 1.57 и т.д.); если углы отрицательные, то они воспринимаются как положительные, но концы дуги соединяются с центром радиусами.

PAINT (раскраска областей экрана)

Область образуется замкнутой кривой заданного цвета вокруг заданной точки с координатами x, y. Формат:

PAINT (x, y) [, [<трафарет>] [, [<контур>]]

где <трафарет> = 0, 1, 2, 3 – цвет раскраски; по умолчанию 3;
<контур> - цвет ограничивающей кривой; по умолчанию <контур>
= <трафарет>.

Операторы **GET** и **PUT**

GET читает информацию о цветах всех точек заданной прямоугольной области экрана и помещает ее в числовой массив. PUT воспроизводит на экране изображение, хранящееся в числовом массиве.

Формат оператора GET:

GET (x1, y1) – (x2, y2), <имя массива>

где (x1, y1), (x2, y2) – координаты вершин прямоугольной области; <имя массива> - числовой массив, где хранится информация.

Объем памяти в байтах, отведенный для массива, должен быть не меньше, чем $4 + \text{INT}((m \cdot A + 7) / 8) \cdot n$, где n, m – длины горизонтальной и вертикальной сторон прямоугольника, выраженные числом точек экрана; A=2 при средней разрешающей способности и A=1 при высокой разрешающей способности.

ПЛАНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭВМ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В табл. 42-53 представлены планы проведения экспериментов 2^1 , 2^2 , 2^3 , 2^4 , 2^5 , 3^1 , 4^1 , 5^1 , 4^2 , $3 \cdot 5$, 3^2 , 5^2 , 3^3 , $4 \cdot 5$, $3 \cdot 4$ применительно к использованию ЭВМ для математического моделирования.

Таблица 42

План 2^1 (X= 2)

Номер опыта	Фактор F(J)	Показатель
1	A1	Y(1)
2	B1	Y(2)

Таблица 43

План 2^2 (X = 4)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)

Таблица 44

План 2^3 (X = 8)

Номер опыта	Факторы			Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	
1	A1	A2	A3	Y(1)
2	B1	A2	A3	Y(2)
3	A1	B2	A3	Y(3)
4	B1	B2	A3	Y(4)
5	A1	A2	B3	Y(5)
6	B1	A2	B3	Y(6)
7	A1	B2	B3	Y(7)
8	B1	B2	B3	Y(8)

Номер опыта	Факторы				Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	K(J)	
1	A1	A2	A3	A4	Y(1)
2	B1	A2	A3	A4	Y(2)
3	A1	B2	A3	A4	Y(3)
4	B1	B2	A3	A4	Y(4)
5	A1	A2	B3	A4	Y(5)
6	B1	A2	B3	A4	Y(6)
7	A1	B2	B3	A4	Y(7)
8	B1	B2	B3	A4	Y(8)
9	A1	A2	A3	B4	Y(9)
10	B1	A2	A3	B4	Y(10)
11	A1	B2	A3	B4	Y(11)
12	B1	B2	A3	B4	Y(12)
13	A1	A2	B3	B4	Y(13)
14	B1	A2	B3	B4	Y(14)
15	A1	B2	B3	B4	Y(15)
16	B1	B2	B3	B4	Y(16)

Таблица 46

План 2^5 ($X = 32$)

Номер опыта	Факторы					Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	K(J)	M(J)	
1	A1	A2	A3	A4	A5	Y(1)
2	B1	A2	A3	A4	A5	Y(2)
3	A1	B2	A3	A4	A5	Y(3)
4	B1	B2	A3	A4	A5	Y(4)
5	A1	A2	B3	A4	A5	Y(5)
6	B1	A2	B3	A4	A5	Y(6)
7	A1	B2	B3	A4	A5	Y(7)
8	B1	B2	B3	A4	A5	Y(8)
9	A1	A2	A3	B4	A5	Y(9)
10	B1	A2	A3	B4	A5	Y(10)
11	A1	B2	A3	B4	A5	Y(11)
12	B1	B2	A3	B4	A5	Y(12)
13	A1	A2	B3	B4	A5	Y(13)
14	B1	A2	B3	B4	A5	Y(14)
15	A1	B2	B3	B4	A5	Y(15)
16	B1	B2	B3	B4	A5	Y(16)
17	A1	A2	A3	A4	B5	Y(17)
18	B1	A2	A3	A4	B5	Y(18)
19	A1	B2	A3	A4	B5	Y(19)
20	B1	B2	A3	A4	B5	Y(20)
21	A1	A2	B3	A4	B5	Y(21)
22	B1	A2	B3	A4	B5	Y(22)
23	A1	B2	B3	A4	B5	Y(23)
24	B1	B2	B3	A4	B5	Y(24)
25	A1	A2	A3	B4	B5	Y(25)
26	B1	A2	A3	B4	B5	Y(26)
27	A1	B2	A3	B4	B5	Y(27)
28	B1	B2	A3	B4	B5	Y(28)
29	A1	A2	B3	B4	B5	Y(29)
30	B1	A2	B3	B4	B5	Y(30)
31	A1	B2	B3	B4	B5	Y(31)
32	B1	B2	B3	B4	B5	Y(32)

Таблица 47

Планы 3^1 , 4^1 , 5^1 ($X = 3$, $X = 4$, $X = 5$)

План	Номер фактора	Фактор F(J)	Показатель Y(J)
3^1	1	A1	Y(1)
	2	B1	Y(2)
	3	E1	Y(3)
4^1	1	A1	Y(1)
	2	B1	Y(2)
	3	C1	Y(3)
	4	D1	Y(4)
5^1	1	A1	Y(1)
	2	B1	Y(2)
	3	C1	Y(3)
	4	D1	Y(4)
	5	E1	Y(5)

Таблица 48

План 4^2 ($X = 16$)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	A1	C2	Y(5)
6	B1	C2	Y(6)
7	A1	D2	Y(7)
8	B1	D2	Y(8)
9	C1	A2	Y(9)
10	C1	C2	Y(10)
11	C1	D2	Y(11)
12	C1	B2	Y(12)
13	D1	A2	Y(13)
14	D1	C2	Y(14)
15	D1	D2	Y(15)
16	D1	B2	Y(16)

План 3 · 5 (X = 15)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	A1	E2	Y(5)
6	B1	E2	Y(6)
7	E1	A1	Y(7)
8	E1	B2	Y(8)
9	E1	E2	Y(9)
10	A1	C2	Y(10)
11	B1	D2	Y(11)
12	A1	D2	Y(12)
13	B1	C2	Y(13)
14	E1	C2	Y(14)
15	E1	D2	Y(15)

Таблица 50

Планы 3^2 , 5^2 ($X = 9$, $X = 25$)

План	Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
		F(J)	H(J)	
3^2	1	A1	A2	Y(1)
	2	B1	A2	Y(2)
	3	A1	B2	Y(3)
	4	B1	B2	Y(4)
	5	A1	E2	Y(5)
	6	B1	E2	Y(6)
	7	E1	A2	Y(7)
	8	E1	B2	Y(8)
	9	E1	E2	Y(9)
5^2	10	A1	C2	Y(10)
	11	B1	D2	Y(11)
	12	A1	D2	Y(12)
	13	B1	C2	Y(13)
	14	E1	C2	Y(14)
	15	E1	D2	Y(15)
	16	C1	A2	Y(16)
	17	C1	C2	Y(17)
	18	C1	E2	Y(18)
	19	C1	D2	Y(19)
	20	C1	B2	Y(20)
	21	D1	A2	Y(21)
	22	D1	C2	Y(22)
	23	D1	E2	Y(23)
	24	D1	D2	Y(24)
	25	D1	B2	Y(25)

Таблица 51

План 3^3 ($X = 27$)

Номер опы- та	Факторы			Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	
1	A1	A2	A3	Y(1)
2	B1	A2	A3	Y(2)
3	A1	B2	A3	Y(3)
4	B1	B2	A3	Y(4)
5	A1	A2	B3	Y(5)
6	B1	A2	B3	Y(6)
7	A1	B2	B3	Y(7)
8	B1	B2	B3	Y(8)
9	A1	E2	E3	Y(9)
10	B1	E2	E3	Y(10)
11	E1	A2	E3	Y(11)
12	E1	B2	E3	Y(12)
13	E1	E2	A3	Y(13)
14	E1	E2	B3	Y(14)
15	A1	A2	E3	Y(15)
16	B1	A2	E3	Y(16)
17	A1	B2	E3	Y(17)
18	B1	B2	E3	Y(18)
19	A1	E2	A3	Y(19)
20	B1	E2	A3	Y(20)
21	A1	E2	B3	Y(21)
22	B1	E2	B3	Y(22)
23	E1	A2	A3	Y(23)
24	E1	B2	A3	Y(24)
25	E1	A2	B3	Y(25)
26	E1	B2	B3	Y(26)
27	E1	E2	E3	Y(27)

Таблица 52

План 4 · 5 (X = 20)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	A1	E2	Y(5)
6	B1	E2	Y(6)
7	A1	C2	Y(7)
8	B1	D2	Y(8)
9	A1	D2	Y(9)
10	B1	C2	Y(10)
11	C1	A2	Y(11)
12	C1	C2	Y(12)
13	C1	E2	Y(13)
14	C1	D2	Y(14)
15	C1	B2	Y(15)
16	D1	A2	Y(16)
17	D1	C2	Y(17)
18	D1	E2	Y(18)
19	D1	D2	Y(19)
20	D1	B2	Y(20)

Таблица 53

План 3 · 4 (X = 12)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	E1	A2	Y(5)
6	E1	B2	Y(6)
7	A1	C2	Y(7)
8	B1	D2	Y(8)
9	A1	D2	Y(9)
10	B1	C2	Y(10)
11	E1	C2	Y(11)
12	E1	D2	Y(12)

Обозначение: X – количество опытов по плану.

ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
VL0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 2^1 ($X = 2$), 2^2 ($X = 4$),
 2^3 ($X = 8$), 2^4 ($X = 16$), 2^5 ($X = 32$)

```

5 PRINT "ПРОГРАММА VL0,РАЗРАБОТКА А.А.ЧЕРНОГО"
6 CLS
7 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VL0"
8 PRINT "ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ,ИМЯ КОТОРОГО НАДО ВВЕСТИ,"
9 PRINT "НАПРИМЕР, ВВЕСТИ ИМЯ ФАЙЛА VL01"
10 INPUT "ВВОД ИМЕНИ ФАЙЛА ", FA$
11 OPEN "O", #1, FA$
17 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VL0 ЗАНО-
СЯТСЯ В ФАЙЛ "; FA$
40 PRINT "X=2,X=4,X=8,X=16,X=32"
41 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ
VL0,РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ"
42 DIM F(50), H(50), L(50), K(50), M(50), Y(32), I(50), P(50)
44 DIM U(50), Q(50), V(50), O(32), B(32), Z(50), G(20), T(32)
46 DIM K6(50), K7(50), K8(50), J7(50), J8(50), J9(50)
55 PRINT "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
56 PRINT #1, "ВВОД X-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
60 INPUT X: PRINT #1, "X="; X
61 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
62 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
70 PRINT "ВВОД A1,B1,J1": INPUT A1, B1, J1
75 PRINT #1, "A1="; A1; "B1="; B1; "J1="; J1
80 A = A1: B = B1: N = J1: GOSUB 2480
90 V1 = V0: PRINT #1, "V1="; V1: IF X = 2 GOTO 220
100 PRINT "ВВОД A2,B2,J2": INPUT A2, B2, J2
105 PRINT #1, "A2="; A2; "B2="; B2; "J2="; J2
110 A = A2: B = B2: N = J2: GOSUB 2480
120 V2 = V0: PRINT #1, "V2="; V2: IF X = 4 GOTO 220
130 PRINT "ВВОД A3,B3,J3": INPUT A3, B3, J3
135 PRINT #1, "A3="; A3; "B3="; B3; "J3="; J3
140 A = A3: B = B3: N = J3: GOSUB 2480
150 V3 = V0: PRINT #1, "V3="; V3: IF X = 8 GOTO 220
160 PRINT "ВВОД A4,B4,J4": INPUT A4, B4, J4
165 PRINT #1, "A4="; A4; "B4="; B4; "J4="; J4
170 A = A4: B = B4: N = J4: GOSUB 2480
180 V4 = V0: PRINT #1, "V4="; V4: IF X = 16 GOTO 220
190 PRINT "ВВОД A5,B5,J5": INPUT A5, B5, J5
195 PRINT #1, "A5="; A5; "B5="; B5; "J5="; J5
200 A = A5: B = B5: N = J5: GOSUB 2480
210 V5 = V0: PRINT #1, "V5="; V5: GOTO 220
215 REM ПЛАНЫ
220 F(1) = A1: F(2) = B1: IF X = 2 GOTO 580
230 H(1) = A2: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
240 F(4) = B1: H(4) = B2: IF X = 4 GOTO 580
250 L(1) = A3: L(2) = A3: L(3) = A3: L(4) = A3
260 F(5) = A1: H(5) = A2: L(5) = B3: F(6) = B1: H(6) = A2
270 L(6) = B3: F(7) = A1: H(7) = B2: L(7) = B3: F(8) = B1
280 H(8) = B2: L(8) = B3: IF X = 8 GOTO 580
290 K(1) = A4: K(2) = A4: K(3) = A4: K(4) = A4: K(5) = A4

```

```

300 K(6) = A4: K(7) = A4: K(8) = A4: F(9) = A1: H(9) = A2
310 L(9) = A3: K(9) = B4: F(10) = B1: H(10) = A2: L(10) = A3
320 K(10) = B4: F(11) = A1: H(11) = B2: L(11) = A3: K(11) = B4
330 F(12) = B1: H(12) = B2: L(12) = A3: K(12) = B4: F(13) = A1
340 H(13) = A2: L(13) = B3: K(13) = B4: F(14) = B1: H(14) = A2
350 L(14) = B3: K(14) = B4: F(15) = A1: H(15) = B2: L(15) = B3
360 K(15) = B4: F(16) = B1: H(16) = B2: L(16) = B3: K(16) = B4
370 IF X = 16 GOTO 580
380 M(1) = A5: M(2) = A5: M(3) = A5: M(4) = A5: M(5) = A5
390 M(6) = A5: M(7) = A5: M(8) = A5: M(9) = A5: M(10) = A5
400 M(11) = A5: M(12) = A5: M(13) = A5: M(14) = A5: M(15) = A5
410 M(16) = A5: F(17) = A1: H(17) = A2: L(17) = A3: K(17) = A4
420 M(17) = B5: F(18) = B1: H(18) = A2: L(18) = A3: K(18) = A4
430 M(18) = B5: F(19) = A1: H(19) = B2: L(19) = A3: K(19) = A4
440 M(19) = B5: F(20) = B1: H(20) = B2: L(20) = A3: K(20) = A4
450 M(20) = B5: F(21) = A1: H(21) = A2: L(21) = B3: K(21) = A4
460 M(21) = B5: F(22) = B1: H(22) = A2: L(22) = B3: K(22) = A4
470 M(22) = B5: F(23) = A1: H(23) = B2: L(23) = B3: K(23) = A4
480 M(23) = B5: F(24) = B1: H(24) = B2: L(24) = B3: K(24) = A4
490 M(24) = B5: F(25) = A1: H(25) = A2: L(25) = A3: K(25) = B4
500 M(25) = B5: F(26) = B1: H(26) = A2: L(26) = A3: K(26) = B4
510 M(26) = B5: F(27) = A1: H(27) = B2: L(27) = A3: K(27) = B4
520 M(27) = B5: F(28) = B1: H(28) = B2: L(28) = A3: K(28) = B4
530 M(28) = B5: F(29) = A1: H(29) = A2: L(29) = B3: K(29) = B4
540 M(29) = B5: F(30) = B1: H(30) = A2: L(30) = B3: K(30) = B4
550 M(30) = B5: F(31) = A1: H(31) = B2: L(31) = B3: K(31) = B4
560 M(31) = B5: F(32) = B1: H(32) = B2: L(32) = B3: K(32) = B4
570 M(32) = B5
580 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
585 PRINT "IF I0=7 GOTO 610-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
590 INPUT I0: IF I0 = 6 GOTO 40
600 IF I0 = 7 GOTO 610
610 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЛАНУ Y(J)"
611 PRINT #1, "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С
ПЛАНОМ Y(J)"
615 FOR J = 1 TO X: PRINT "ВВОД Y("; J; ")": INPUT Y(J)
620 PRINT #1, "Y("; J; ")="; Y(J): NEXT J
630 PRINT "IF I0=1 GOTO 610-ПОВТОРЕНИЕ ВВОДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ"
635 PRINT "IF I0=2 GOTO 660-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
640 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 1 GOTO 610
650 IF I0 = 2 GOTO 660
660 IF X = 2 GOTO 710
670 IF X = 4 GOTO 720
680 IF X = 8 GOTO 730
690 IF X = 16 GOTO 740
700 IF X = 32 GOTO 760
710 GOSUB 2490: GOTO 780
720 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOTO 780
730 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOTO 780
740 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520

```

```

750 GOTO 780
760 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
770 GOSUB 2530: GOTO 780
780 S = 0: O(1) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Y(J): O(1) = O(1) + 1: NEXT J
790 B(1) = S / O(1): S = 0: O(2) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Y(J)
800 O(2) = O(2) + I(J) ^ 2: NEXT J: B(2) = S / O(2): IF X = 2 GOTO 1440
810 S = 0: O(3) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Y(J): O(3) = O(3) + P(J) ^ 2
820 NEXT J: B(3) = S / O(3): S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X
830 S = S + I(J) * P(J) * Y(J): O(4) = O(4) + (I(J) * P(J)) ^ 2: NEXT J
840 B(4) = S / O(4): IF X = 4 GOTO 1440
850 S = 0: O(5) = 0
860 FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J): O(5) = O(5) + U(J) ^ 2
870 NEXT J: B(5) = S / O(5): S = 0: O(6) = 0: FOR J = 1 TO X
880 S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(6) = O(6) + (I(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
890 B(6) = S / O(6): S = 0: O(7) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * Y(J)
900 O(7) = O(7) + (P(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(7) = S / O(7): S = 0: O(8) = 0
910 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Y(J)
920 O(8) = O(8) + (I(J) * P(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(8) = S / O(8)
930 IF X = 8 GOTO 1440
940 S = 0: O(9) = 0: FOR J = 1 TO X
950 S = S + Q(J) * Y(J): O(9) = O(9) + Q(J) ^ 2: NEXT J: B(9) = S / O(9)
960 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * Y(J)
970 O(10) = O(10) + (I(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0
980 O(11) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Q(J) * Y(J)
990 O(11) = O(11) + (P(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(11) = S / O(11): S = 0
1000 O(12) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Q(J) * Y(J)
1010 O(12) = O(12) + (I(J) * P(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(12) = S / O(12)
1020 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Q(J) * Y(J)
1030 O(13) = O(13) + (U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0
1040 O(14) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
1050 O(14) = O(14) + (I(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(14) = S / O(14): S = 0
1060 O(15) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
1070 O(15) = O(15) + (P(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(15) = S / O(15): S = 0
1080 O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
1090 O(16) = O(16) + (I(J) * P(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(16) = S / O(16)
1100 IF X = 16 GOTO 1440
1110 S = 0: O(17) = 0: FOR J = 1 TO X
1120 S = S + V(J) * Y(J): O(17) = O(17) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(17) = S / O(17)
1130 S = 0: O(18) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J)
1140 O(18) = O(18) + (I(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(18) = S / O(18): S = 0
1150 O(19) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * V(J) * Y(J)
1160 O(19) = O(19) + (P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(19) = S / O(19): S = 0
1170 O(20) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * V(J) * Y(J)
1180 O(20) = O(20) + (I(J) * P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(20) = S / O(20)
1190 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * V(J) * Y(J)
1200 O(21) = O(21) + (U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21)
1210 S = 0: O(22) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * V(J) * Y(J)
1220 O(22) = O(22) + (I(J) * U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(22) = S / O(22)
1230 S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * V(J) * Y(J)
1240 O(23) = O(23) + (P(J) * U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(23) = S / O(23)

```

```

1250 S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * V(J) * Y(J)
1260 O(24) = O(24) + (I(J) * P(J) * U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24)
1270 S = 0: O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Q(J) * V(J) * Y(J)
1280 O(25) = O(25) + (Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
1290 S = 0: O(26) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1300 O(26) = O(26) + (I(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(26) = S / O(26)
1310 S = 0: O(27) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1320 O(27) = O(27) + (P(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(27) = S / O(27)
1330 S = 0: O(28) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1340 O(28) = O(28) + (I(J) * P(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(28) = S / O(28)
1350 S = 0: O(29) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1360 O(29) = O(29) + (U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(29) = S / O(29)
1370 S = 0: O(30) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1380 O(30) = O(30) + (I(J) * U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(30) = S / O(30)
1390 S = 0: O(31) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1400 O(31) = O(31) + (P(J) * U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(31) = S / O(31)
1410 S = 0: O(32) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J) *
Y(J)
1420 O(32) = O(32) + (I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1430 B(32) = S / O(32): GOTO 1440
1440 PRINT #1, "B(J) ДО АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
1445 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J)
1450 NEXT J: GOTO 1454
1454 PRINT "ВВОД N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ
ФАКТОРОВ"
1456 PRINT #1, "N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАК-
ТОРОВ"
1455 INPUT N0
1460 PRINT #1, "N0="; N0
1470 IF X = 2 GOTO 1520
1480 IF X = 4 GOTO 1530
1490 IF X = 8 GOTO 1540
1500 IF X = 16 GOTO 1550
1510 IF X = 32 GOTO 1560
1520 GOSUB 2540: GOTO 1570
1530 GOSUB 2550: GOTO 1570
1540 GOSUB 2570: GOTO 1570
1550 GOSUB 2600: GOTO 1570
1560 GOSUB 2670: GOTO 1570
1570 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ.ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ Z(J) ДО АНАЛИ-
ЗА B(J)"
1580 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
1590 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
1600 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J) * (100 / Y(J)))"
1601 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ") - Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
1602 PRINT #1, "(Y("; J; ") - Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) ="; (Y(J) - Z(J)) * (100 /
Y(J))
1603 NEXT J
1604 PRINT "ВВОД F8=N0-1": INPUT F8: PRINT #1, "F8=N0-1="; N0; "-1="; F8
1620 PRINT "IF I0=3 GOTO 1710-ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ"

```

```

1622 PRINT "          НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
1625 PRINT "IF I0=4 GOTO 1760-ВВОД ДИСПЕРСИИ ОПЫТОВ"
1630 PRINT "IF I0=5 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И"
1633 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
1635 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
1640 PRINT "IF I0=20 GOTO 6830-КОНЕЦ"
1641 PRINT "IF I0=25 GOTO 2820-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
1642 PRINT "IF I0=27 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
1646 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И"
1647 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
1650 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 3 GOTO 1710
1660 IF I0 = 4 GOTO 1760
1670 IF I0 = 5 GOTO 2150
1680 IF I0 = 6 GOTO 40
1690 IF I0 = 20 GOTO 6830
1700 IF I0 = 25 GOTO 2820
1705 IF I0 = 27 GOTO 7000
1710 PRINT "ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ "
1711 PRINT "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ "
1712 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
1713 PRINT #1, "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
1715 FOR J = 1 TO N0: PRINT "ВВОД G("; J, ")": INPUT G(J)
1720 PRINT #1, "G("; J, ")="; G(J): NEXT J: S = 0: FOR J = 1 TO N0: S = S + G(J)
1730 NEXT J: S0 = S / N0: PRINT "S0="; S0: S = 0: FOR J = 1 TO N0
1740 S = S + (G(J) - S0) ^ 2: NEXT J: U9 = S / F8
1745 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
1750 GOTO 1770
1760 PRINT "ВВОД U9": INPUT U9: PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9=";
U9
1770 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)": FOR J = 1 TO X
1780 T(J) = ABS(V(J) / SQR(U9 / O(J))): PRINT #1, "T("; J, ")="; T(J): NEXT J
1781 PRINT "          ДЛЯ УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ 5% "
1782 PRINT "          ПРИ F8  2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6"
1783 PRINT "СООТВЕТСТВЕННО T0  4.303 ;3.182 ;2.776 ;2.571 ;2.447"
1784 PRINT "F8="; F8
1785 PRINT "ВВОД T0-ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ"
1790 PRINT "ВВОД T0": INPUT T0: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ
T0="; T0
1800 PRINT #1, "B(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
1810 IF T(J) < T0 GOTO 1830
1820 IF T(J) >= T0 GOTO 1840
1830 B(J) = 0
1840 PRINT #1, "B("; J, ")="; B(J): NEXT J
1850 K9 = 0: FOR J = 1 TO X: IF B(J) = 0 GOTO 1852
1851 K9 = K9 + 1: NEXT J
1852 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ"
1853 PRINT #1, "          КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9="; K9
1862 PRINT "F9=X-1": F9 = X - 1: PRINT #1, "F9=X-1="; F9: CLS
1863 PRINT "!! ЗНАЧЕНИЯ F-КРИТЕРИЯ F7 ДЛЯ 5%-ГО УРОВНЯ ЗНА-
ЧИМОСТИ"

```

```

1864 PRINT "! !-----"
1865 PRINT "! F8!           F9           "
1866 PRINT "! !-----"
1867 PRINT "! ! 1 ! 3 ! 7 !15...16 ! 30...31 !"
1868 PRINT "-----"
1869 PRINT "! 2 ! 18.51 ! 19.16 ! 19.36 ! 19.43 ! 19.46 !"
1870 PRINT "! 3 ! 10.13 ! 9.28 ! 8.88 ! 8.69 ! 8.62 !"
1871 PRINT "! 4 ! 7.71 ! 6.59 ! 6.09 ! 5.84 ! 5.74 !"
1872 PRINT "! 5 ! 6.61 ! 5.41 ! 4.88 ! 4.6 ! 4.5 !"
1873 PRINT "! 6 ! 5.99 ! 4.76 ! 4.21 ! 3.92 ! 3.81 !"
1874 PRINT
"!=====!"
1887 PRINT "F8="; F8; "F9="; F9
1890 PRINT "ВВОД ТАБЛИЧНОГО F7-ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ"
1891 INPUT F7: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7="; F7
1900 IF X = 2 GOTO 1950
1910 IF X = 4 GOTO 1960
1920 IF X = 8 GOTO 1970
1930 IF X = 16 GOTO 1980
1940 IF X = 32 GOTO 1990
1950 GOSUB 2540: GOTO 2000
1960 GOSUB 2550: GOTO 2000
1970 GOSUB 2570: GOTO 2000
1980 GOSUB 2600: GOTO 2000
1990 GOSUB 2670: GOTO 2000
2000 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ ";
2005 PRINT #1, "Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА В(J)"
2010 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
2011 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
2012 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J) * (100 / Y(J))"
2013 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ") - Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
2014 PRINT #1, "(Y("; J; ") - Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 /
Y(J))
2015 NEXT J
2020 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + (Z(J) - Y(J)) ^ 2: NEXT J
2025 F6 = S / (F9 * U9)
2030 PRINT #1, "РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6="; F6
2040 IF F6 <= F7 GOTO 2060
2050 IF F6 > F7 GOTO 2070
2060 PRINT #1, "АДЕКВАТНО,ТАК КАК F6<=F7": GOTO 2080
2070 PRINT #1, "НЕАДЕКВАТНО,ТАК КАК F6>F7"; ""
2080 PRINT "I0=7 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И"
2081 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2085 PRINT "I0=8 GOTO 40-НАЧАЛО"
2090 PRINT "I0=17 GOTO 2820-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2091 PRINT "I0=9 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2095 PRINT "IF I0=22 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2096 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИКОВ И"
2097 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2100 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0

```

```

2110 IF I0 = 7 GOTO 2150
2120 IF I0 = 8 GOTO 40
2130 IF I0 = 17 GOTO 2820
2140 IF I0 = 9 GOTO 6830
2145 IF I0 = 22 GOTO 7000
2150 PRINT "ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2151 PRINT "F(S),H(S),L(S),K(S),M(S)-1,2,3,4,5 ФАКТОРЫ,"
2152 PRINT "ГДЕ S=X="; X; "-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ"
2153 PRINT #1, "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2160 IF X = 2 GOTO 2210
2170 IF X = 4 GOTO 2240
2180 IF X = 8 GOTO 2270
2190 IF X = 16 GOTO 2310
2200 IF X = 32 GOTO 2360
2210 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; ")":
2220 INPUT F(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S): GOSUB 2490
2230 GOSUB 2540: GOTO 2235
2235 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S : GOTO 2430
2240 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: Z(S) = 0
2250 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; ")": INPUT F(S), H(S)
2260 PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S); "H("; S; ")="; H(S)
2262 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2550: GOTO 2264
2264 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2270 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: Z(S) = 0
2280 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; ")"
2290 INPUT F(S), H(S), L(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S)
2300 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S): GOSUB 2490
2302 GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2570: GOTO 2304
2304 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2310 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: K(S) = 0
2320 Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; "),"; "K("; S; ")
2330 INPUT F(S), H(S), L(S), K(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S)
2340 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S)
2345 PRINT #1, "K("; S; ")="; K(S)
2350 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520: GOSUB 2600:
GOTO 2352
2352 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2360 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: K(S) = 0
2370 M(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; ")
2380 INPUT F(S), H(S), L(S): PRINT "ВВОД K("; S; "),M("; S; ")
2390 INPUT K(S), M(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S)
2400 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S)
2410 PRINT #1, "ФАКТОРЫ K("; S; ")="; K(S); "M("; S; ")="; M(S)
2420 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
2422 GOSUB 2530: GOSUB 2670: GOTO 2425
2425 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2430 PRINT "IF I0=10 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО
МОДЕЛИ"
2431 PRINT "IF I0=11 GOTO 2820 -МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2435 PRINT "IF I0=14 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"

```

```

2436 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И"
2437 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2440 PRINT "IF I0=12 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2445 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
2450 IF I0 = 10 GOTO 2150
2460 IF I0 = 11 GOTO 2820
2465 IF I0 = 14 GOTO 7000
2470 IF I0 = 12 GOTO 6830
2480 V0 = -(A ^ N + B ^ N) / 2
2485 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
2490 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1: NEXT J: RETURN
2500 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2: NEXT J: RETURN
2510 FOR J = 1 TO X: U(J) = L(J) ^ J3 + V3: NEXT J: RETURN
2520 FOR J = 1 TO X: Q(J) = K(J) ^ J4 + V4: NEXT J: RETURN
2530 FOR J = 1 TO X: V(J) = M(J) ^ J5 + V5: NEXT J: RETURN
2540 FOR J = 1 TO X: Z(J) = B(1) + B(2) * I(J): NEXT J: RETURN
2550 FOR J = 1 TO X: Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2560 NEXT J: RETURN
2570 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2580 N4 = B(5) * U(J) + B(6) * I(J) * U(J) + B(7) * P(J) * U(J)
2590 Z(J) = N3 + N4 + B(8) * I(J) * P(J) * U(J)
2595 NEXT J: RETURN
2600 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2610 N4 = B(5) * U(J) + B(6) * I(J) * U(J) + B(7) * P(J) * U(J)
2620 N5 = B(8) * I(J) * P(J) * U(J) + B(9) * Q(J) + B(10) * I(J) * Q(J)
2630 N6 = B(11) * P(J) * Q(J) + B(12) * I(J) * P(J) * Q(J) + B(13) * U(J) * Q(J)
2640 N7 = B(14) * I(J) * U(J) * Q(J) + B(15) * P(J) * U(J) * Q(J)
2650 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + B(16) * I(J) * P(J) * U(J) * Q(J)
2660 NEXT J: RETURN
2670 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2680 N4 = B(5) * U(J) + B(6) * I(J) * U(J) + B(7) * P(J) * U(J)
2690 N5 = B(8) * I(J) * P(J) * U(J) + B(9) * Q(J) + B(10) * I(J) * Q(J)
2700 N6 = B(11) * P(J) * Q(J) + B(12) * I(J) * P(J) * Q(J) + B(13) * U(J) * Q(J)
2710 N7 = B(14) * I(J) * U(J) * Q(J) + B(15) * P(J) * U(J) * Q(J)
2720 R0 = B(16) * I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) + B(17) * V(J)
2730 R4 = B(18) * I(J) * V(J) + B(19) * P(J) * V(J) + B(20) * I(J) * P(J) * V(J)
2740 R5 = B(21) * U(J) * V(J) + B(22) * I(J) * U(J) * V(J)
2750 R6 = B(23) * P(J) * U(J) * V(J) + B(24) * I(J) * P(J) * U(J) * V(J)
2760 Z2 = B(25) * Q(J) * V(J) + B(26) * I(J) * Q(J) * V(J)
2770 Z3 = B(27) * P(J) * Q(J) * V(J) + B(28) * I(J) * P(J) * Q(J) * V(J)
2780 Z4 = B(29) * U(J) * Q(J) * V(J) + B(30) * I(J) * U(J) * Q(J) * V(J)
2790 Z5 = B(31) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J) + B(32) * I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) *
V(J)
2800 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R0 + R4 + R5 + R6 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5
2810 NEXT J: RETURN
2820 PRINT #1, "МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ": GOTO 2830
2830 IF X = 2 GOTO 2880
2840 IF X = 4 GOTO 2900
2850 IF X = 8 GOTO 2930
2860 IF X = 16 GOTO 2975

```

```

2861 IF X = 32 GOTO 3070
2880 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J),"
2890 IF X = 2 GOTO 3250
2900 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
2910 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J),"
2920 IF X = 4 GOTO 3250
2930 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
2940 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J)+"; B(5); "*U(J)+"
2950 PRINT #1, " +"; B(6); "*I(J)*U(J)+"; B(7); "*P(J)*U(J)+"
2960 PRINT #1, " +"; B(8); "*I(J)*P(J)*U(J),"
2970 IF X = 8 GOTO 3250
2975 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
2990 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J)+"; B(5); "*U(J)+"
3000 PRINT #1, " +"; B(6); "*I(J)*U(J)+"; B(7); "*P(J)*U(J)+"
3010 PRINT #1, " +"; B(8); "*I(J)*P(J)*U(J)+"; B(9); "*Q(J)+"
3020 PRINT #1, " +"; B(10); "*I(J)*Q(J)+"; B(11); "*P(J)*Q(J)+"
3030 PRINT #1, " +"; B(12); "*I(J)*P(J)*Q(J)+"; B(13); "*U(J)*Q(J)+"
3040 PRINT #1, " +"; B(14); "I(J)*U(J)*Q(J)+"; B(15); "*P(J)*U(J)*Q(J)+"
3050 PRINT #1, " +"; B(16); "I(J)*P(J)*U(J)*Q(J),"
3060 IF X = 16 GOTO 3250
3070 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
3080 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J)+"; B(5); "*U(J)+"
3090 PRINT #1, " +"; B(6); "*I(J)*U(J)+"; B(7); "*P(J)*U(J)+"
3100 PRINT #1, " +"; B(8); "*I(J)*P(J)*U(J)+"; B(9); "*Q(J)+"
3110 PRINT #1, " +"; B(10); "*I(J)*Q(J)+"; B(11); "*P(J)*Q(J)+"
3120 PRINT #1, " +"; B(12); "*I(J)*P(J)*Q(J)+"; B(13); "*U(J)*Q(J)+"
3130 PRINT #1, " +"; B(14); "I(J)*U(J)*Q(J)+"; B(15); "*P(J)*U(J)*Q(J)+"
3140 PRINT #1, " +"; B(16); "I(J)*P(J)*U(J)*Q(J)+"; B(17); "*V(J)+"
3150 PRINT #1, " +"; B(18); "*I(J)*V(J)+"; B(19); "P(J)*V(J)+"
3160 PRINT #1, " +"; B(20); "*I(J)*P(J)*V(J)+"; B(21); "*U(J)*V(J)+"
3170 PRINT #1, " +"; B(22); "*I(J)*U(J)*V(J)+"; B(23); "*P(J)*U(J)*V(J)+"
3180 PRINT #1, " +"; B(24); "*I(J)*P(J)*U(J)*V(J)+"; B(25); "*Q(J)*V(J)+"
3190 PRINT #1, " +"; B(26); "*I(J)*Q(J)*V(J)+"; B(27); "*P(J)*Q(J)*V(J)+"
3200 PRINT #1, " +"; B(28); "*I(J)*P(J)*Q(J)*V(J)+"
3210 PRINT #1, " +"; B(29); "*U(J)*Q(J)*V(J)+"
3220 PRINT #1, " +"; B(30); "*I(J)*U(J)*Q(J)*V(J)+"
3230 PRINT #1, " +"; B(31); "*P(J)*U(J)*Q(J)*V(J)+"
3240 PRINT #1, " +"; B(32); "*I(J)*P(J)*U(J)*Q(J)*V(J),"
3250 PRINT #1, "ГДЕ"
3260 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1
3261 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:F(J)- 1-й ФАКТОР "
3270 IF X = 2 GOTO 3350
3280 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2
3281 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:H(J)- 2-й ФАКТОР"
3290 IF X = 4 GOTO 3350
3300 PRINT #1, "U(J)=L(J)^"; J3; "+"; V3
3301 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:L(J)- 3-й ФАКТОР"
3310 IF X = 8 GOTO 3350
3320 PRINT #1, "Q(J)=K(J)^"; J4; "+"; V4
3321 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:K(J)- 4-й ФАКТОР"

```

```

3330 IF X = 16 GOTO 3350
3340 PRINT #1, "V(J)=M(J)^"; J5; "+"; V5
3341 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:M(J)- 5-й ФАКТОР"
3350 PRINT "IF I0=18 GOTO 1620-ПЕРЕХОДЫ"
3355 PRINT "IF I0=19 GOTO 2080-ПЕРЕХОДЫ"
3360 PRINT "IF I0=35 GOTO 610-ВВОД НОВЫХ Y(J)"
3365 PRINT "IF I0=44 GOTO 6830-КОНЕЦ"
3370 PRINT "IF I0=50 GOTO 40-НАЧАЛО"
3371 PRINT "IF I0=51 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И"
3372 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3373 PRINT "IF I0=52 GOTO 7000-"
3376 PRINT "          ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
3378 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
3379 PRINT "          И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3380 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3390 IF I0 = 18 GOTO 1620
3400 IF I0 = 19 GOTO 2080
3410 IF I0 = 35 GOTO 610
3420 IF I0 = 44 GOTO 6830
3430 IF I0 = 50 GOTO 40
3440 IF I0 = 51 GOTO 2150
3445 IF I0 = 52 GOTO 7000
6830 CLOSE #1
6832 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ СМОТРИ В ";
6835 PRINT "ФАЙЛЕ "; FA$
6840 END
7000 PRINT #1, "ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
7004 PRINT #1, " ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
7005 PRINT #1, " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ"
7006 PRINT #1, "И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
7030 PRINT "ВВОД I0=63 ПРИ X=2,X=4,X=8,X=16,X=32"
7040 PRINT "IF I0=64 GOTO 40-НАЧАЛО"
7050 PRINT "IF I0=65 GOTO 6830-КОНЕЦ"
7060 INPUT I0
7090 IF I0 = 63 GOTO 7190
7100 IF I0 = 64 GOTO 40
7110 IF I0 = 65 GOTO 6830
7190 PRINT "ВВОД I0=73 ПРИ X=2,ВВОД I0=74 ПРИ X=4"
7200 PRINT "ВВОД I0=75 ПРИ X=8,ВВОД I0=76 ПРИ X=16"
7210 PRINT "ВВОД I0=77 ПРИ X=32": INPUT I0
7220 IF I0 = 73 GOTO 7270
7230 IF I0 = 74 GOTO 7350
7240 IF I0 = 75 GOTO 7450
7250 IF I0 = 76 GOTO 7590
7260 IF I0 = 77 GOTO 7770
7270 F3 = 0: F4 = 0: K5 = 0: PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7271 PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7280 FOR J = 1 TO X: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7290 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7291 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"

```

```

7292 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7293 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7300 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4"
7310 INPUT X, F3, F4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7320 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7325 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7330 GOSUB 2490: GOSUB 2540: GOTO 7340
7340 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
7350 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: K5 = 0: PRINT "F(1)=F3+F4"
7360 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7370 PRINT "F4,H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7375 PRINT "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7376 PRINT #1, "F4,H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7377 PRINT #1, "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7380 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4"
7390 INPUT X, F3, F4, H3, H4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3
7400 PRINT #1, "F4="; F4; "H3="; H3; "H4="; H4
7410 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7415 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7420 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7430 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2550: GOTO 7440
7440 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
7450 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: L4 = 0: K5 = 0
7460 PRINT "F(1)=F3+F4,H(1)=H3+H4,L(1)=L3+L4"
7461 PRINT #1, "F(1)=F3+F4,H(1)=H3+H4,L(1)=L3+L4"
7470 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7480 PRINT "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3-ГО ФАКТОРОВ"
7481 PRINT #1, "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3-ГО ФАКТОРОВ"
7490 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,L3,L4"
7500 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4
7510 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3; "H4="; H4
7520 PRINT #1, "L3="; L3; "L4="; L4
7530 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7540 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7550 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7560 L(K5) = L3 + K5 * L4: PRINT #1, "L("; K5; ")="; L(K5)
7570 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2570: GOTO 7580
7580 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7585 NEXT K5: GOTO 8000
7590 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K5 = 0
7595 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0: K(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X =
0
7600 PRINT "F(1)=F3+F4:H1=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7610 PRINT "K(1)=K3+K4"
7611 PRINT #1, "F(1)=F3+F4:H1=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7612 PRINT #1, "K(1)=K3+K4"
7620 PRINT "F4,H4,L4,K4 - ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3, 4-ГО ФАКТОРОВ"
7630 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4, ";
7640 PRINT "L3,L4,K3,K4"
7650 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4, K3, K4

```

```

7670 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3; "H4="; H4
7680 PRINT #1, "L3="; L3; "L4="; L4; "K3="; K3; "K4="; K4
7690 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * K4
7700 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5): H(K5) = H3 + K5 * H4
7710 PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5): L(K5) = L3 + K5 * L4
7720 PRINT #1, "L("; K5; ")="; L(K5): K(K5) = K3 + K5 * K4
7730 PRINT #1, "K("; K5; ")="; K(K5): GOSUB 2490
7740 GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
7750 GOSUB 2600: GOTO 7760
7760 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
7770 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: L4 = 0
7780 K3 = 0: K4 = 0: K5 = 0: M3 = 0: M4 = 0
7790 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0
7800 K(J) = 0: M(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7810 PRINT "F(1)=F3+F4;H(1)=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7820 PRINT "K(1)=K3+K4;M(1)=M3+M4"
7830 PRINT "F4,H4,L4,K4,M4-ШАГ"
7840 PRINT "ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3, 4, 5-ГО ФАКТОРОВ"
7841 PRINT #1, "F(1)=F3+F4;H(1)=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7842 PRINT #1, "K(1)=K3+K4;M(1)=M3+M4"
7843 PRINT #1, "F4,H4,L4,K4,M4-ШАГ"
7844 PRINT #1, "ПРИРАЩЕНИЯ 1,2,3,4,5-ГО ФАКТОРОВ"
7850 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,"
7860 PRINT "L3,L4,K3,K4,M3,M4"
7870 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4, K3, K4, M3, M4
7890 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3
7900 PRINT #1, "H4="; H4; "L3="; L3; "L4="; L4
7910 PRINT #1, "K3="; K3; "K4="; K4; "M3="; M3; "M4="; M4
7920 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * K4
7930 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5): H(K5) = H3 + K5 * H4
7940 PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5): L(K5) = L3 + K5 * L4
7950 PRINT #1, "L("; K5; ")="; L(K5): K(K5) = K3 + K5 * K4
7960 PRINT #1, "K("; K5; ")="; K(K5): M(K5) = M3 + K5 * M4
7970 PRINT #1, "M("; K5; ")="; M(K5): GOSUB 2490
7980 GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520: GOSUB 2530
7990 GOSUB 2670: GOTO 7995
7995 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
8000 PRINT #1, "ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)": K8 = 0: K8 = Z(1)
8002 PRINT "ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
8004 INPUT I0
8010 FOR K5 = 1 TO X
8020 IF Z(K5) >= K8 THEN K8 = Z(K5)
8040 NEXT K5: PRINT #1, "MAX Z(K5)="; K8
8041 FOR K5 = 1 TO X
8042 IF Z(K5) = K8 THEN PRINT #1, "MAX Z("; K5; ")="; Z(K5)
8044 NEXT K5
8050 K7 = 0: K7 = Z(1)
8060 FOR K5 = 1 TO X
8070 IF Z(K5) <= K7 THEN K7 = Z(K5)
8090 NEXT K5: PRINT #1, "MIN Z(K5)="; K7

```

```

8091 FOR K5 = 1 TO X
8092 IF Z(K5) = K7 THEN PRINT #1, "MIN Z("; K5; ")="; Z(K5)
8093 NEXT K5: K6 = 0: PRINT #1, "MIN Z(K5)=K7,MAX Z(K5)=K8"
8094 PRINT #1, "K6(K5)=(Z(K5)+ABS(K7))/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8095 FOR K5 = 1 TO X: K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8096 PRINT #1, "K6("; K5; ")="; K6(K5): NEXT K5
8097 PRINT #1, "J5=ABS(K7)/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8098 J5 = 0: J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8)): PRINT #1, "J5="; J5
8110 PRINT "IF I0=70 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ "
8111 PRINT "          ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
8114 PRINT "          И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
8115 PRINT "IF I0=80 GOTO 9000-ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
8120 INPUT I0
8125 IF I0 = 70 GOTO 7000
8130 IF I0 = 80 GOTO 9000
9000 K0 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K4 = X: K7 = 0: K8 = 0: X0 = 0: Y0 = 0
9010 PRINT #1, "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
9015 PRINT #1, "ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА"
9020 PRINT #1, "K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
9025 PRINT "K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ"
9030 PRINT "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ "
9035 PRINT "ВВОД:Х0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ Х (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО
X0=20)"
9036 PRINT "  X0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО
Y0=180)"
9037 PRINT "  K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ Х"
9038 PRINT "  K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9039 PRINT "ВВОД X0,Y0,K0,K3"
9045 INPUT X0, Y0, K0, K3
9050 PRINT #1, "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3; ",ГДЕ"
9051 PRINT #1, "          X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ Х "
9052 PRINT #1, "          Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y "
9053 PRINT #1, "          K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ Х"
9054 PRINT #1, "          K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9055 KEY OFF: CLS
9056 COLOR 0, 0: SCREEN 2
9057 FOR K5 = 1 TO K4: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9058 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))
9059 NEXT K5
9060 J6 = 0: J6 = X - 1: J7 = 0: J8 = 0: J9 = 0: K7 = 0: K8 = 0
9061 FOR K5 = 1 TO J6: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9062 J7(K5) = (K5 + 1) * K0: J8(K5) = K3 * K6(K5 + 1): J9 = K3 * J5
9063 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(J7(K5) - X0, Y0)
9064 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - J9)-(J7(K5) - X0, Y0 - J9)
9065 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))-(J7(K5) - X0, Y0 - J8(K5))
9066 NEXT K5
9071 A$ = ""
9072 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 9072
9073 SCREEN 0: CLS : COLOR 2, 0

```

```
9074 PRINT "ВВОД I0=75 ГОТО 9000-ПОВТОРЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРА-
ФИКА"
9075 PRINT "ВВОД I0=85 ГОТО 7000-ПОВТОРЕНИЕ"
9076 PRINT "      ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
9078 PRINT "      С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
9079 PRINT "      И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
9080 PRINT "ВВОД I0=95 ГОТО 6830-КОНЕЦ": PRINT
9081 INPUT I0
9082 IF I0 = 75 ГОТО 9000
9090 IF I0 = 85 ГОТО 7000
9095 IF I0 = 95 ГОТО 6830
```

ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
VN0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 3^1 ($X = 3$), 4^1 ($X = 4$),
 5^1 ($X = 5$), 3^2 ($X = 9$), $3 \cdot 4$ ($X = 12$), $3 \cdot 5$ ($X = 15$), 4^2 ($X = 16$),
 $4 \cdot 5$ ($X = 20$), 5^2 ($X = 25$), 3^3 ($X = 27$)

```

5 PRINT "ПРОГРАММА VN0,РАЗРАБОТКА А.А.ЧЕРНОГО"
6 CLS
7 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0"
8 PRINT "ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ,ИМЯ КОТОРОГО НАДО ВВЕСТИ,"
9 PRINT "НАПРИМЕР, ВВЕСТИ ИМЯ ФАЙЛА VN01"
10 INPUT "ВВОД ИМЕНИ ФАЙЛА ", FA$
14 OPEN "O", #1, FA$
17 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0 ЗАНОСЯТСЯ
В ФАЙЛ "; FA$
40 PRINT " РАЗРАБОТКИ ДЛЯ
X=3,X=4,X=5,X=9,X=12,X=15,X=16,X=20,X=25,X=27"
41 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0, РАЗРА-
БОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ"
42 DIM F(50), H(50), L(50), Y(27), I(50), K(50), M(50), P(50)
44 DIM Q(50), U(50), V(50), O(27), B(27), Z(50), G(20), T(27)
46 DIM K6(50), K7(50), K8(50), J7(50), J8(50), J9(50)
51 PRINT "ВВОД X-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
52 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
60 INPUT X: PRINT #1, "X="; X
61 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
62 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
65 IF X = 4 GOTO 200
70 IF X = 16 GOTO 200
80 IF X = 20 GOTO 200
90 IF X = 5 GOTO 270
100 IF X = 25 GOTO 270
120 PRINT "ВВОД A1,E1,B1,J1,O1": INPUT A1, E1, B1, J1, O1
130 PRINT #1, "A1="; A1; " E1="; E1; " B1="; B1
133 PRINT #1, "J1="; J1; " O1="; O1: A = A1: B = B1: E = E1: N = J1: R = O1
140 GOSUB 3660: V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0
144 PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
150 IF X = 9 GOTO 350
160 IF X = 27 GOTO 350
170 IF X = 12 GOTO 400
180 IF X = 15 GOTO 460
190 IF X = 3 GOTO 590
200 PRINT "ВВОД A1,C1,D1,B1,J1,O1,P1"
210 INPUT A1, C1, D1, B1, J1, O1, P1
213 PRINT #1, "A1="; A1; " C1="; C1; " D1="; D1
215 PRINT #1, " B1="; B1; " J1="; J1; " O1="; O1; " P1="; P1
220 A = A1: B = B1: C = C1: D = D1: N = J1: R = O1: S = P1: GOSUB 3710
230 V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0: I1 = I0: M1 = M0: F1 = F0
240 PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
243 PRINT #1, " I1="; I1; " M1="; M1; " F1="; F1
245 IF X = 16 GOTO 400
250 IF X = 20 GOTO 460
260 IF X = 4 GOTO 600
270 PRINT "ВВОД A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,P1,T1"
280 INPUT A1, C1, E1, D1, B1, J1, O1, P1, T1
290 PRINT #1, "A1="; A1; " C1="; C1; " E1="; E1

```

```

293 PRINT #1, "D1="; D1; " B1="; B1; " J1="; J1
295 PRINT #1, "O1="; O1; " P1="; P1; " T1="; T1: A = A1: B = B1
300 C = C1: D = D1: E = E1: N = J1: R = O1: S = P1: W = T1: GOSUB 3860
310 V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0: I1 = I0: M1 = M0: F1 = F0: G1 = G0: H1 = H0
320 K1 = K0: L1 = L0: PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
323 PRINT #1, "I1="; I1; " M1="; M1; " F1="; F1; " G1="; G1
325 PRINT #1, "H1="; H1; " K1="; K1; " L1="; L1
330 IF X = 25 GOTO 460
340 IF X = 5 GOTO 610
350 PRINT "BBOД A2,E2,B2,J2,O2": INPUT A2, E2, B2, J2, O2
360 PRINT #1, "A2="; A2; " E2="; E2; " B2="; B2
363 PRINT #1, "J2="; J2; " O2="; O2
365 A = A2: B = B2: E = E2: N = J2: R = O2
370 GOSUB 3660: V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0
375 PRINT #1, "V2="; V2; " U2="; U2; " Q2="; Q2
380 IF X = 27 GOTO 550
390 IF X = 9 GOTO 620
400 PRINT "BBOД A2,C2,D2,B2,J2,O2,P2"
410 INPUT A2, C2, D2, B2, J2, O2, P2: PRINT #1, "A2="; A2
413 PRINT #1, "C2="; C2; " D2="; D2; " B2="; B2; " J2="; J2
415 PRINT #1, "O2="; O2; "P2="; P2
420 A = A2: B = B2: C = C2: D = D2: N = J2: R = O2: S = P2: GOSUB 3710
430 V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0: I2 = I0: M2 = M0: F2 = F0
440 PRINT #1, "V2="; V2; " U2="; U2; " Q2="; Q2; " I2="; I2
443 PRINT #1, "M2="; M2; " F2="; F2
445 IF X = 12 GOTO 660
450 IF X = 16 GOTO 770
460 PRINT "BBOД A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2"
470 INPUT A2, C2, E2, D2, B2, J2, O2, P2, T2
480 PRINT #1, "A2="; A2; " C2="; C2; " E2="; E2; " D2="; D2
483 PRINT #1, "B2="; B2; " J2="; J2; " O2="; O2
485 PRINT #1, "P2="; P2; " T2="; T2: A = A2: B = B2
490 C = C2: D = D2: E = E2: N = J2: R = O2: S = P2: W = T2: GOSUB 3860
500 V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0: I2 = I0: M2 = M0: F2 = F0: G2 = G0: H2 = H0
510 K2 = K0: L2 = L0: PRINT #1, "V2="; V2; "U2="; U2; "Q2="; Q2
513 PRINT #1, "I2="; I2; " M2="; M2; " F2="; F2; " G2="; G2
515 PRINT #1, "H2="; H2; " K2="; K2; " L2="; L2
520 IF X = 15 GOTO 710
530 IF X = 20 GOTO 830
540 IF X = 25 GOTO 900
550 PRINT "BBOД A3,E3,B3,J3,O3"
555 INPUT A3, E3, B3, J3, O3
560 PRINT #1, "A3="; A3; " E3="; E3; " B3="; B3
563 PRINT #1, "J3="; J3; " O3="; O3
565 A = A3: B = B3: E = E3: N = J3: R = O3
570 GOSUB 3660: V3 = V0: U3 = U0: Q3 = Q0
575 PRINT #1, "V3="; V3; " U3="; U3; " Q3="; Q3
580 GOTO 990
589 REM ПЛАНЫ
590 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = E1: GOTO 1130

```

600 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = C1: F(4) = D1: GOTO 1130
 610 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = C1: F(4) = D1: F(5) = E1: GOTO 1130
 620 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
 630 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
 640 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
 650 GOTO 1130
 660 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
 670 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = E1: H(5) = A2: F(6) = E1: H(6) = B2
 680 F(7) = A1: H(7) = C2: F(8) = B1: H(8) = D2: F(9) = A1: H(9) = D2
 690 F(10) = B1: H(10) = C2: F(11) = E1: H(11) = C2: F(12) = E1
 695 H(12) = D2
 700 GOTO 1130
 710 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
 720 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
 730 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
 740 F(10) = A1: H(10) = C2: F(11) = B1: H(11) = D2: F(12) = A1
 745 H(12) = D2
 750 F(13) = B1: H(13) = C2: F(14) = E1: H(14) = C2: F(15) = E1
 755 H(15) = D2
 760 GOTO 1130
 770 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
 780 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = C2: F(6) = B1: H(6) = C2
 790 F(7) = A1: H(7) = D2: F(8) = B1: H(8) = D2: F(9) = C1: H(9) = A2
 800 F(10) = C1: H(10) = C2: F(11) = C1: H(11) = D2: F(12) = C1
 805 H(12) = B2
 810 F(13) = D1: H(13) = A2: F(14) = D1: H(14) = C2: F(15) = D1
 815 H(15) = D2
 820 F(16) = D1: H(16) = B2: GOTO 1130
 830 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
 840 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
 850 F(7) = A1: H(7) = C2: F(8) = B1: H(8) = D2: F(9) = A1: H(9) = D2
 860 F(10) = B1: H(10) = C2: F(11) = C1: H(11) = A2: F(12) = C1: H(12) = C2
 870 F(13) = C1: H(13) = E2: F(14) = C1: H(14) = D2: F(15) = C1: H(15) = B2
 880 F(16) = D1: H(16) = A2: F(17) = D1: H(17) = C2: F(18) = D1: H(18) = E2
 890 F(19) = D1: H(19) = D2: F(20) = D1: H(20) = B2: GOTO 1130
 900 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
 910 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
 920 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
 930 F(10) = A1: H(10) = C2: F(11) = B1: H(11) = D2: F(12) = A1: H(12) = D2
 940 F(13) = B1: H(13) = C2: F(14) = E1: H(14) = C2: F(15) = E1: H(15) = D2
 950 F(16) = C1: H(16) = A2: F(17) = C1: H(17) = C2: F(18) = C1: H(18) = E2
 960 F(19) = C1: H(19) = D2: F(20) = C1: H(20) = B2: F(21) = D1: H(21) = A2
 970 F(22) = D1: H(22) = C2: F(23) = D1: H(23) = E2: F(24) = D1: H(24) = D2
 980 F(25) = D1: H(25) = B2: GOTO 1130
 990 F(1) = A1: H(1) = A2: L(1) = A3: F(2) = B1: H(2) = A2: L(2) = A3
 1000 F(3) = A1: H(3) = B2: L(3) = A3: F(4) = B1: H(4) = B2: L(4) = A3
 1010 F(5) = A1: H(5) = A2: L(5) = B3: F(6) = B1: H(6) = A2: L(6) = B3
 1020 F(7) = A1: H(7) = B2: L(7) = B3: F(8) = B1: H(8) = B2: L(8) = B3
 1030 F(9) = A1: H(9) = E2: L(9) = E3: F(10) = B1: H(10) = E2: L(10) = E3
 1040 F(11) = E1: H(11) = A2: L(11) = E3: F(12) = E1: H(12) = B2: L(12) = E3

```

1050 F(13) = E1: H(13) = E2: L(13) = A3: F(14) = E1: H(14) = E2: L(14) = B3
1060 F(15) = A1: H(15) = A2: L(15) = E3: F(16) = B1: H(16) = A2: L(16) = E3
1070 F(17) = A1: H(17) = B2: L(17) = E3: F(18) = B1: H(18) = B2: L(18) = E3
1080 F(19) = A1: H(19) = E2: L(19) = A3: F(20) = B1: H(20) = E2: L(20) = A3
1090 F(21) = A1: H(21) = E2: L(21) = B3: F(22) = B1: H(22) = E2: L(22) = B3
1100 F(23) = E1: H(23) = A2: L(23) = A3: F(24) = E1: H(24) = B2: L(24) = A3
1110 F(25) = E1: H(25) = A2: L(25) = B3: F(26) = E1: H(26) = B2: L(26) = B3
1120 F(27) = E1: H(27) = E2: L(27) = E3
1130 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
1135 PRINT "IF I0=7 GOTO 1160-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1140 INPUT I0: IF I0 = 6 GOTO 40
1150 IF I0 = 7 GOTO 1160
1160 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЛАНУ Y(J) "
1161 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛА-
НОМ Y(J)"
1165 FOR J = 1 TO X
1166 PRINT "Y("; J; ")": INPUT Y(J)
1170 PRINT #1, "Y("; J; ")="; Y(J): NEXT J
1180 PRINT "IF I0=1 GOTO 1160-ПОВТОРЕНИЕ ВВОДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ"
1185 PRINT "IF I0=2 GOTO 1210-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1190 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 1 GOTO 1160
1200 IF I0 = 2 GOTO 1210
1210 IF X = 3 GOTO 1310
1220 IF X = 4 GOTO 1320
1230 IF X = 5 GOTO 1330
1240 IF X = 9 GOTO 1340
1250 IF X = 12 GOTO 1350
1260 IF X = 15 GOTO 1360
1270 IF X = 16 GOTO 1370
1280 IF X = 20 GOTO 1380
1290 IF X = 25 GOTO 1390
1300 IF X = 27 GOTO 1400
1310 GOSUB 4150: GOTO 1410
1320 GOSUB 4210: GOTO 1410
1330 GOSUB 4290: GOTO 1410
1340 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOTO 1410
1350 GOSUB 4150: GOSUB 4250: GOTO 1410
1360 GOSUB 4150: GOSUB 4340: GOTO 1410
1370 GOSUB 4210: GOSUB 4250: GOTO 1410
1380 GOSUB 4210: GOSUB 4340: GOTO 1410
1390 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOTO 1410
1400 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4190: GOTO 1410
1410 S = 0: O(1) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Y(J): O(1) = O(1) + 1: NEXT J
1420 B(1) = S / O(1): S = 0: O(2) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Y(J)
1430 O(2) = O(2) + I(J) ^ 2: NEXT J: B(2) = S / O(2): S = 0: O(3) = 0
1440 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Y(J): O(3) = O(3) + K(J) ^ 2: NEXT J
1450 B(3) = S / O(3): IF X = 3 GOTO 2390
1460 IF X = 4 GOTO 2000
1470 IF X = 5 GOTO 2000
1480 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Y(J)

```

```

1490 O(4) = O(4) + P(J) ^ 2: NEXT J: B(4) = S / O(4): S = 0: O(5) = 0
1500 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Y(J): O(5) = O(5) + (I(J) * P(J)) ^ 2
1510 NEXT J: B(5) = S / O(5): S = 0: O(6) = 0: FOR J = 1 TO X
1520 S = S + Q(J) * Y(J): O(6) = O(6) + Q(J) ^ 2: NEXT J: B(6) = S / O(6)
1530 S = 0: O(7) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * Y(J)
1540 O(7) = O(7) + (I(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(7) = S / O(7): S = 0
1550 O(8) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * K(J) * Y(J)
1560 O(8) = O(8) + (P(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(8) = S / O(8): S = 0: O(9) = 0
1570 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Q(J) * Y(J): O(9) = O(9) + (K(J) * Q(J)) ^ 2
1580 NEXT J: B(9) = S / O(9): IF X = 9 GOTO 2390
1590 IF X = 27 GOTO 2040
1600 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J): O(10) = O(10) + U(J) ^
2
1610 NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0: O(11) = 0: FOR J = 1 TO X
1620 S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(11) = O(11) + (I(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
1630 B(11) = S / O(11): S = 0: O(12) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * U(J) *
Y(J)
1640 O(12) = O(12) + (K(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(12) = S / O(12)
1650 IF X = 12 GOTO 2390
1660 IF X = 16 GOTO 1930
1670 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + V(J) * Y(J)
1680 O(13) = O(13) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0
1690 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J): O(14) = O(14) + (I(J) * V(J)) ^ 2
1700 NEXT J: B(14) = S / O(14): S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X
1710 S = S + K(J) * V(J) * Y(J): O(15) = O(15) + (K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1720 B(15) = S / O(15): IF X = 15 GOTO 2390
1730 S = 0: O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(16) = O(16) + L(J) ^
2
1740 NEXT J: B(16) = S / O(16): S = 0: O(17) = 0: FOR J = 1 TO X
1750 S = S + P(J) * L(J) * Y(J): O(17) = O(17) + (P(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1760 B(17) = S / O(17): S = 0: O(18) = 0: FOR J = 1 TO X
1770 S = S + Q(J) * L(J) * Y(J): O(18) = O(18) + (Q(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1780 B(18) = S / O(18): S = 0: O(19) = 0: FOR J = 1 TO X
1790 S = S + L(J) * U(J) * Y(J): O(19) = O(19) + (L(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
1800 B(19) = S / O(19): S = 0: O(20) = 0: FOR J = 1 TO X
1810 S = S + L(J) * V(J) * Y(J): O(20) = O(20) + (L(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1820 B(20) = S / O(20): IF X = 20 GOTO 2390
1830 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
1840 O(21) = O(21) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21): S = 0: O(22) = 0
1850 FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * M(J) * Y(J): O(22) = O(22) + (P(J) * M(J)) ^ 2
1860 NEXT J: B(22) = S / O(22): S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X
1870 S = S + Q(J) * M(J) * Y(J): O(23) = O(23) + (Q(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J
1880 B(23) = S / O(23): S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * M(J) *
Y(J)
1890 O(24) = O(24) + (U(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24): S = 0
1900 O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * V(J) * Y(J)
1910 O(25) = O(25) + (M(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
1920 IF X = 25 GOTO 2390
1930 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(13) = O(13) + L(J) ^
2

```

```

1940 NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0: FOR J = 1 TO X
1950 S = S + P(J) * L(J) * Y(J): O(14) = O(14) + (P(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1960 B(14) = S / O(14): S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Q(J) * L(J) *
Y(J)
1970 O(15) = O(15) + (Q(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J: B(15) = S / O(15): S = 0
1980 O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * U(J) * Y(J)
1990 O(16) = O(16) + (L(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(16) = S / O(16): GOTO 2390
2000 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(4) = O(4) + L(J) ^ 2
2010 NEXT J: B(4) = S / O(4): IF X = 4 GOTO 2390
2020 S = 0: O(5) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
2030 O(5) = O(5) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(5) = S / O(5): GOTO 2390
2040 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J)
2050 O(10) = O(10) + U(J) ^ 2: NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0: O(11) = 0
2060 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(11) = O(11) + (I(J) * U(J)) ^ 2
2070 NEXT J: B(11) = S / O(11): S = 0: O(12) = 0: FOR J = 1 TO X
2080 S = S + P(J) * U(J) * Y(J): O(12) = O(12) + (P(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
2090 B(12) = S / O(12): S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X
2100 S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Y(J): O(13) = O(13) + (I(J) * P(J) * U(J)) ^ 2
2110 NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0: FOR J = 1 TO X
2120 S = S + V(J) * Y(J): O(14) = O(14) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(14) = S / O(14)
2130 S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J)
2140 O(15) = O(15) + (I(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(15) = S / O(15): S = 0
2150 O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * V(J) * Y(J)
2160 O(16) = O(16) + (P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(16) = S / O(16): S = 0
2170 O(17) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * K(J) * Y(J)
2180 O(17) = O(17) + (U(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(17) = S / O(17): S = 0
2190 O(18) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Q(J) * Y(J)
2200 O(18) = O(18) + (U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(18) = S / O(18): S = 0
2210 O(19) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * V(J) * Y(J)
2220 O(19) = O(19) + (I(J) * P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(19) = S / O(19)
2230 S = 0: O(20) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
2240 O(20) = O(20) + (I(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(20) = S / O(20)
2250 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * K(J) * Y(J)
2260 O(21) = O(21) + (P(J) * U(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21)
2270 S = 0: O(22) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * V(J) * Y(J)
2280 O(22) = O(22) + (K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(22) = S / O(22)
2290 S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Q(J) * V(J) * Y(J)
2300 O(23) = O(23) + (Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(23) = S / O(23)
2310 S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
2320 O(24) = O(24) + (I(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24)
2330 S = 0: O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * K(J) * V(J) * Y(J)
2340 O(25) = O(25) + (P(J) * K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
2350 S = 0: O(26) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * K(J) * Q(J) * Y(J)
2360 O(26) = O(26) + (U(J) * K(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(26) = S / O(26)
2370 S = 0: O(27) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
2380 O(27) = O(27) + (K(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(27) = S / O(27): GOTO
2390
2390 PRINT #1, "B(J) ДО АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2395 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J)
2397 NEXT J: GOTO 2400

```

```

2400 PRINT "ВВОД N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ
ФАКТОРОВ"
2407 INPUT N0
2408 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТО-
РОВ"
2410 PRINT #1, "N0="; N0
2415 IF X = 3 GOTO 2510
2420 IF X = 4 GOTO 2520
2430 IF X = 5 GOTO 2530
2440 IF X = 9 GOTO 2540
2450 IF X = 12 GOTO 2550
2460 IF X = 15 GOTO 2560
2470 IF X = 16 GOTO 2570
2480 IF X = 20 GOTO 2580
2490 IF X = 25 GOTO 2590
2500 IF X = 27 GOTO 2600
2510 GOSUB 4390: GOTO 2610
2520 GOSUB 4400: GOTO 2610
2530 GOSUB 4420: GOTO 2610
2540 GOSUB 4450: GOTO 2610
2550 GOSUB 4490: GOTO 2610
2560 GOSUB 4530: GOTO 2610
2570 GOSUB 4580: GOTO 2610
2580 GOSUB 4630: GOTO 2610
2590 GOSUB 4690: GOTO 2610
2600 GOSUB 4770: GOTO 2610
2610 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНА-
ЛИЗА B(J)"
2620 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
2630 PRINT "ВВОД F8=N0-1": INPUT F8
2633 PRINT #1, "F8=N0-1="; F8
2635 PRINT "F8="; F8
2640 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
2641 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
2650 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ") - Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
2651 PRINT #1, "(Y("; J; ") - Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 /
Y(J))
2655 NEXT J
2660 PRINT "IF I0=3 GOTO 2720-ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ "
2663 PRINT "          НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2666 PRINT "IF I0=4 GOTO 2770-ВВОД ДИСПЕРСИИ ОПЫТОВ"
2670 PRINT "IF I0=5 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
2672 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2773 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
2677 PRINT "IF I0=20 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2678 PRINT "IF I0=25 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2679 PRINT "IF I0=27 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2681 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
2684 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2689 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 3 GOTO 2720

```

```

2690 IF I0 = 4 GOTO 2770
2700 IF I0 = 5 GOTO 3240
2710 IF I0 = 6 GOTO 40
2715 IF I0 = 20 GOTO 6830
2717 IF I0 = 25 GOTO 4880
2718 IF I0 = 27 GOTO 7000
2720 PRINT "ВВОД G(J)-РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2721 PRINT "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2722 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2723 PRINT #1, "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2724 FOR J = 1 TO N0: PRINT "G("; J, ")": INPUT G(J)
2730 PRINT #1, "G("; J, ")="; G(J): NEXT J: S = 0: FOR J = 1 TO N0: S = S + G(J)
2740 NEXT J: S0 = S / N0: PRINT "S0="; S0: S = 0: FOR J = 1 TO N0
2750 S = S + (G(J) - S0) ^ 2: NEXT J: U9 = S / F8
2751 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2760 GOTO 2780
2770 PRINT "ВВОД U9-ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ": INPUT U9
2771 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2780 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)": FOR J = 1 TO X
2790 T(J) = ABS(V(J) / SQR(U9 / O(J))): PRINT #1, "T("; J, ")="; T(J): NEXT J
2800 PRINT "          ДЛЯ УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ 5% "
2801 PRINT "          ПРИ F8  2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6"
2802 PRINT "СООТВЕТСТВЕННО T0  4.303 ;3.182 ;2.776 ;2.571 ;2.447"
2803 PRINT "F8=N0-1="; N0; "-1="; F8
2804 PRINT "ВВОД T0-ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ"
2805 INPUT T0
2806 PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ T0="; T0
2810 PRINT #1, "B(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2820 IF T(J) < T0 GOTO 2840
2830 IF T(J) >= T0 GOTO 2850
2840 B(J) = 0
2850 PRINT #1, "B("; J, ")="; B(J): NEXT J
2860 K9 = 0: FOR J = 1 TO X: IF B(J) = 0 GOTO 2871
2870 K9 = K9 + 1
2871 NEXT J
2872 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ"
2873 PRINT #1, "          КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9="; K9
2881 PRINT #1, "F9=X-1": F9 = X - 1
2882 PRINT #1, "F9="; F9: CLS
2883 PRINT "!! ЗНАЧЕНИЯ F-КРИТЕРИЯ F7 ДЛЯ 5%-ГО УРОВНЯ ЗНАЧИ-
МОСТИ"
2884 PRINT "!! !-----"
2885 PRINT "!!F8!          F9          "
2886 PRINT "!! !-----"
2887 PRINT "!! 2 ! 3 ! 4 ! 8 ! 11 ! 14  "
2888 PRINT "!!-----"
2889 PRINT "!! 2! 19.0 ! 19.16 ! 19.25 ! 19.37 ! 19.4 ! 19.42  "
2890 PRINT "!! 3! 9.55 ! 9.28 ! 9.12 ! 8.84 ! 8.76 ! 8.71  "
2891 PRINT "!! 4! 6.94 ! 6.59 ! 6.39 ! 6.04 ! 5.93 ! 5.87  "
2892 PRINT "!! 5! 5.79 ! 5.41 ! 5.19 ! 4.82 ! 4.7 ! 4.64  "

```

```

2893 PRINT "! 6! 5.14 ! 4.76 ! 4.53 ! 4.15 ! 4.03 ! 3.96 "
2894 PRINT
"!=====
2895 PRINT "! F8 \ F9 ! 15...16 ! 19...20 ! 24 ! 26...30 !"
2896 PRINT "!-----"
2897 PRINT "! 2 ! 19.43 ! 19.44 ! 19.45 ! 19.46 !"
2898 PRINT "! 3 ! 8.69 ! 8.66 ! 8.64 ! 8.62 !"
2899 PRINT "! 4 ! 5.84 ! 5.8 ! 5.77 ! 5.74 !"
2900 PRINT "! 5 ! 4.6 ! 4.56 ! 4.53 ! 4.5 !"
2901 PRINT "! 6 ! 3.92 ! 3.87 ! 3.84 ! 3.81 !"
2902 PRINT "!-----"
2907 PRINT "F8="; F8; "F9="; F9
2908 PRINT "ВВОД F7-ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ"
2909 INPUT F7: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7="; F7
2910 IF X = 3 GOTO 3010
2920 IF X = 4 GOTO 3020
2930 IF X = 5 GOTO 3030
2940 IF X = 9 GOTO 3040
2950 IF X = 12 GOTO 3050
2960 IF X = 15 GOTO 3060
2970 IF X = 16 GOTO 3070
2980 IF X = 20 GOTO 3080
2990 IF X = 25 GOTO 3090
3000 IF X = 27 GOTO 3100
3010 GOSUB 4390: GOTO 3110
3020 GOSUB 4400: GOTO 3110
3030 GOSUB 4420: GOTO 3110
3040 GOSUB 4450: GOTO 3110
3050 GOSUB 4490: GOTO 3110
3060 GOSUB 4530: GOTO 3110
3070 GOSUB 4580: GOTO 3110
3080 GOSUB 4630: GOTO 3110
3090 GOSUB 4690: GOTO 3110
3100 GOSUB 4770: GOTO 3110
3110 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ";
3115 PRINT #1, " Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА В(J)"
3120 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
3121 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
3122 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
3123 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ") - Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
3124 PRINT #1, "(Y("; J; ") - Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 /
Y(J))
3125 NEXT J
3130 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + (Z(J) - Y(J)) ^ 2: NEXT J
3140 F6 = S / (F9 * U9)
3145 PRINT #1, "РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6="; F6
3150 IF F6 <= F7 GOTO 3170
3160 IF F6 > F7 GOTO 3180
3170 PRINT #1, "АДЕКВАТНО,ТАК КАК F6<=F7": GOTO 3190
3180 PRINT #1, "НЕАДЕКВАТНО,ТАК КАК F6>F7"

```

```

3190 PRINT "IF I0=7 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
3193 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3194 PRINT "IF I0=8 GOTO 40-НАЧАЛО"
3197 PRINT "IF I0=17 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3198 PRINT "IF I0=22 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3200 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3203 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3207 PRINT "IF I0=9 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3210 IF I0 = 7 GOTO 3240
3220 IF I0 = 8 GOTO 40
3227 IF I0 = 17 GOTO 4880
3228 IF I0 = 22 GOTO 7000
3230 IF I0 = 9 GOTO 6830
3240 PRINT "ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3241 PRINT "F(S),H(S),L(S)-1, 2, 3-й ФАКТОРЫ,"
3243 PRINT "ГДЕ S=X="; X; "-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ"
3245 PRINT #1, "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3250 IF X = 3 GOTO 3350
3260 IF X = 4 GOTO 3350
3270 IF X = 5 GOTO 3350
3280 IF X = 9 GOTO 3420
3290 IF X = 12 GOTO 3420
3300 IF X = 15 GOTO 3420
3310 IF X = 16 GOTO 3420
3320 IF X = 20 GOTO 3420
3330 IF X = 25 GOTO 3420
3340 IF X = 27 GOTO 3560
3350 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; ")"
3360 INPUT F(S): PRINT #1, "ФАКТОР F("; S; ")="; F(S)
3365 IF X = 3 GOTO 3390
3370 IF X = 4 GOTO 3400
3380 IF X = 5 GOTO 3410
3390 GOSUB 4150: GOSUB 4390: GOTO 3412
3400 GOSUB 4210: GOSUB 4400: GOTO 3412
3410 GOSUB 4290: GOSUB 4420: GOTO 3412
3412 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3420 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: Z(S) = 0
3430 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; ")": INPUT F(S), H(S)
3432 PRINT #1, " ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S); "H("; S; ")="; H(S)
3440 IF X = 9 GOTO 3500
3450 IF X = 12 GOTO 3510
3460 IF X = 15 GOTO 3520
3470 IF X = 16 GOTO 3530
3480 IF X = 20 GOTO 3540
3490 IF X = 25 GOTO 3550
3500 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4450: GOTO 3552
3510 GOSUB 4150: GOSUB 4250: GOSUB 4490: GOTO 3552
3520 GOSUB 4150: GOSUB 4340: GOSUB 4530: GOTO 3552
3530 GOSUB 4210: GOSUB 4250: GOSUB 4580: GOTO 3552
3540 GOSUB 4210: GOSUB 4340: GOSUB 4630: GOTO 3552

```

```

3550 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690: GOTO 3552
3552 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3560 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: Z(S) = 0
3570 PRINT "ВВОД F("; S; "); H("; S; "); L("; S; ")
3572 INPUT F(S), H(S), L(S): PRINT #1, "ФАКТОР F("; S; ")="; F(S)
3574 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S)
3580 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4190: GOSUB 4770: GOTO 3590
3590 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3610 PRINT "IF I0=10 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И ";
3611 PRINT "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3612 PRINT "IF I0=11 GOTO 4880 - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3615 PRINT "IF I0=14 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3616 PRINT "
        С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3617 PRINT "
        ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3620 PRINT "IF I0=12 GOTO 6830-КОНЕЦ"
3625 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3630 IF I0 = 10 GOTO 3240
3640 IF I0 = 11 GOTO 4880
3650 IF I0 = 12 GOTO 6830
3653 IF I0 = 14 GOTO 7000
3660 N0 = (A ^ N + B ^ N + E ^ N) / 3: R0 = (A ^ R + B ^ R + E ^ R) / 3
3670 L2 = 2 * N: N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + E ^ L2) / 3: N4 = N + R
3680 N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + E ^ N4) / 3: V0 = -N0
3690 U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
3700 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
3710 N0 = (A ^ N + B ^ N + C ^ N + D ^ N) / 4
3720 R0 = (A ^ R + B ^ R + C ^ R + D ^ R) / 4
3730 S0 = (A ^ S + B ^ S + C ^ S + D ^ S) / 4: L2 = 2 * N
3740 N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + C ^ L2 + D ^ L2) / 4: K2 = 2 * R
3750 R3 = (A ^ K2 + B ^ K2 + C ^ K2 + D ^ K2) / 4: N4 = N + R
3760 N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + C ^ N4 + D ^ N4) / 4: N6 = N + S
3770 N7 = (A ^ N6 + B ^ N6 + C ^ N6 + D ^ N6) / 4: R4 = R + S
3780 R5 = (A ^ R4 + B ^ R4 + C ^ R4 + D ^ R4) / 4: V0 = -N0
3790 U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
3800 P0 = (N0 * S0 - N7) / (N3 - N0 ^ 2): Z1 = R0 * S0 - R5 + P0 * (N0 * R0 - N5)
3810 Z2 = U0 * (N0 * S0 - N7) + U0 * P0 * (N0 ^ 2 - N3)
3820 Z3 = R3 - R0 ^ 2 + 2 * U0 * (N5 - N0 * R0)
3830 I0 = (Z1 + Z2) / (Z3 + (N3 - N0 ^ 2) * U0 ^ 2): M0 = I0 * U0 + P0
3840 F0 = -(S0 + I0 * R0 + M0 * N0)
3850 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
3860 N0 = (A ^ N + B ^ N + C ^ N + D ^ N + E ^ N) / 5
3870 R0 = (A ^ R + B ^ R + C ^ R + D ^ R + E ^ R) / 5
3880 S0 = (A ^ S + B ^ S + C ^ S + D ^ S + E ^ S) / 5
3890 W0 = (A ^ W + B ^ W + C ^ W + D ^ W + E ^ W) / 5
3900 L2 = 2 * N: N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + C ^ L2 + D ^ L2 + E ^ L2) / 5
3910 K2 = 2 * R: R3 = (A ^ K2 + B ^ K2 + C ^ K2 + D ^ K2 + E ^ K2) / 5
3920 M2 = 2 * S: S3 = (A ^ M2 + B ^ M2 + C ^ M2 + D ^ M2 + E ^ M2) / 5
3930 N4 = N + R: N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + C ^ N4 + D ^ N4 + E ^ N4) / 5
3940 N6 = N + S: N7 = (A ^ N6 + B ^ N6 + C ^ N6 + D ^ N6 + E ^ N6) / 5
3950 N8 = N + W: N9 = (A ^ N8 + B ^ N8 + C ^ N8 + D ^ N8 + E ^ N8) / 5

```

3960 $R4 = R + S$; $R5 = (A \wedge R4 + B \wedge R4 + C \wedge R4 + D \wedge R4 + E \wedge R4) / 5$
3970 $R6 = R + W$; $R7 = (A \wedge R6 + B \wedge R6 + C \wedge R6 + D \wedge R6 + E \wedge R6) / 5$
3980 $S4 = S + W$; $S5 = (A \wedge S4 + B \wedge S4 + C \wedge S4 + D \wedge S4 + E \wedge S4) / 5$
3990 $V0 = -N0$; $U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 \wedge 2)$; $Q0 = -(R0 + U0 * N0)$
4000 $P0 = (N0 * S0 - N7) / (N3 - N0 \wedge 2)$; $Z1 = R0 * S0 - R5 + P0 * (N0 * R0 - N5)$
4010 $Z2 = U0 * (N0 * S0 - N7) + U0 * P0 * (N0 \wedge 2 - N3)$
4020 $Z3 = R3 - R0 \wedge 2 + 2 * U0 * (N5 - N0 * R0)$
4030 $I0 = (Z1 + Z2) / (Z3 + (N3 - N0 \wedge 2) * U0 \wedge 2)$; $M0 = I0 * U0 + P0$
4040 $F0 = -(S0 + I0 * R0 + M0 * N0)$; $Z4 = R0 + U0 * N0$
4050 $Z5 = Z4 * N0 - N5 - U0 * N3$; $Z6 = R3 + U0 * N5 - Z4 * R0 - Z5 * U0$
4060 $Z7 = Z4 * S0 + Z5 * P0 - R5 - U0 * N7$; $Z0 = (N0 * W0 - N9) / (N3 - N0 \wedge 2)$
4070 $Z8 = Z5 * Z0 + Z4 * W0 - R7 - U0 * N9$; $Z9 = S3 + I0 * R5 + M0 * N7$
4080 $T7 = R5 + I0 * R3 + M0 * N5$; $T8 = N7 + I0 * N5 + M0 * N3$
4090 $T9 = S0 + I0 * R0 + M0 * N0$; $G3 = S5 + I0 * R7 + M0 * N9$
4100 $G4 = T9 * N0 - T8$; $G5 = Z9 - T9 * S0 - G4 * P0$
4110 $G6 = T9 * R0 - T7 + G4 * U0$; $G7 = G4 * Z0 + T9 * W0 - G3$
4120 $G0 = (Z6 * G7 + Z8 * G6) / (Z6 * G5 - Z7 * G6)$; $H0 = (G0 * Z7 + Z8) / Z6$
4130 $K0 = G0 * P0 + H0 * U0 + Z0$; $L0 = -(W0 + G0 * S0 + H0 * R0 + K0 * N0)$
4140 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
4150 FOR J = 1 TO X: $I(J) = F(J) \wedge J1 + V1$
4160 $K(J) = F(J) \wedge O1 + U1 * F(J) \wedge J1 + Q1$: NEXT J: RETURN
4170 FOR J = 1 TO X: $P(J) = H(J) \wedge J2 + V2$
4180 $Q(J) = H(J) \wedge O2 + U2 * H(J) \wedge J2 + Q2$: NEXT J: RETURN
4190 FOR J = 1 TO X: $U(J) = L(J) \wedge J3 + V3$
4200 $V(J) = L(J) \wedge O3 + U3 * L(J) \wedge J3 + Q3$: NEXT J: RETURN
4210 FOR J = 1 TO X: $I(J) = F(J) \wedge J1 + V1$
4220 $K(J) = F(J) \wedge O1 + U1 * F(J) \wedge J1 + Q1$
4230 $L(J) = F(J) \wedge P1 + I1 * F(J) \wedge O1 + M1 * F(J) \wedge J1 + F1$: NEXT J
4240 RETURN
4250 FOR J = 1 TO X: $P(J) = H(J) \wedge J2 + V2$
4260 $Q(J) = H(J) \wedge O2 + U2 * H(J) \wedge J2 + Q2$
4270 $U(J) = H(J) \wedge P2 + I2 * H(J) \wedge O2 + M2 * H(J) \wedge J2 + F2$: NEXT J
4280 RETURN
4290 FOR J = 1 TO X: $I(J) = F(J) \wedge J1 + V1$
4300 $K(J) = F(J) \wedge O1 + U1 * F(J) \wedge J1 + Q1$
4310 $L(J) = F(J) \wedge P1 + I1 * F(J) \wedge O1 + M1 * F(J) \wedge J1 + F1$
4320 $M(J) = F(J) \wedge T1 + G1 * F(J) \wedge P1 + H1 * F(J) \wedge O1 + K1 * F(J) \wedge J1 + L1$
4330 NEXT J: RETURN
4340 FOR J = 1 TO X: $P(J) = H(J) \wedge J2 + V2$
4350 $Q(J) = H(J) \wedge O2 + U2 * H(J) \wedge J2 + Q2$
4360 $U(J) = H(J) \wedge P2 + I2 * H(J) \wedge O2 + M2 * H(J) \wedge J2 + F2$
4370 $V(J) = H(J) \wedge T2 + G2 * H(J) \wedge P2 + H2 * H(J) \wedge O2 + K2 * H(J) \wedge J2 + L2$
4380 NEXT J: RETURN
4390 FOR J = 1 TO X: $Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J)$: NEXT J: RETURN
4400 FOR J = 1 TO X: $Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * L(J)$
4410 NEXT J: RETURN
4420 FOR J = 1 TO X
4430 $Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * L(J) + B(5) * M(J)$
4440 NEXT J: RETURN
4450 FOR J = 1 TO X: $N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)$

```

4460 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J)
4470 N5 = B(8) * P(J) * K(J) + B(9) * K(J) * Q(J)
4480 Z(J) = N3 + N4 + N5: NEXT J: RETURN
4490 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4500 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4510 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4520 Z(J) = N3 + N4 + N5 + B(12) * K(J) * U(J): NEXT J: RETURN
4530 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4540 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4550 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4560 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J)
4570 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + B(15) * K(J) * V(J): NEXT J: RETURN
4580 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4590 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4600 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J) + B(12) * K(J) *
U(J)
4610 N6 = B(13) * L(J) + B(14) * P(J) * L(J) + B(15) * Q(J) * L(J)
4620 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + B(16) * L(J) * U(J): NEXT J: RETURN
4630 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4640 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4650 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4660 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J) + B(15) * K(J) *
V(J)
4670 N7 = B(16) * L(J) + B(17) * P(J) * L(J) + B(18) * Q(J) * L(J) + B(19) * L(J) *
U(J)
4680 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + B(20) * L(J) * V(J): NEXT J: RETURN
4690 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4700 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4710 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4720 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J) + B(15) * K(J) *
V(J)
4730 N7 = B(16) * L(J) + B(17) * P(J) * L(J) + B(18) * Q(J) * L(J) + B(19) * L(J) *
U(J)
4740 R3 = B(20) * L(J) * V(J) + B(21) * M(J) + B(22) * P(J) * M(J)
4750 R4 = B(23) * Q(J) * M(J) + B(24) * U(J) * M(J) + B(25) * M(J) * V(J)
4760 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R3 + R4: NEXT J: RETURN
4770 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4780 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4790 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J) + B(12) * P(J) *
U(J)
4800 N6 = B(13) * I(J) * P(J) * U(J) + B(14) * V(J) + B(15) * I(J) * V(J)
4810 N7 = B(16) * P(J) * V(J) + B(17) * U(J) * K(J) + B(18) * U(J) * Q(J)
4820 R0 = B(19) * I(J) * P(J) * V(J) + B(20) * I(J) * U(J) * Q(J)
4830 R4 = B(21) * P(J) * U(J) * K(J) + B(22) * K(J) * V(J) + B(23) * Q(J) * V(J)
4840 R5 = B(24) * I(J) * Q(J) * V(J) + B(25) * P(J) * K(J) * V(J)
4850 R6 = B(26) * U(J) * K(J) * Q(J) + B(27) * K(J) * Q(J) * V(J)
4860 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R0 + R4 + R5 + R6: NEXT J: RETURN
4880 PRINT #1, "МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ": IF X = 3 GOTO 4910
4890 IF X = 9 GOTO 4930
4900 IF X = 27 GOTO 4980

```

```

4901 IF X = 4 GOTO 6070
4902 IF X = 5 GOTO 6100
4903 IF X = 12 GOTO 6130
4904 IF X = 15 GOTO 6200
4905 IF X = 16 GOTO 6280
4906 IF X = 20 GOTO 6370
4907 IF X = 25 GOTO 6480
4910 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J),"
4920 IF X = 3 GOTO 5110
4930 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
4940 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
4950 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
4960 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J),"
4970 IF X = 9 GOTO 5110
4980 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
4990 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
5000 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
5010 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
5020 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
5030 PRINT #1, "+"; B(12); "*P(J)*U(J)+"; B(13); "*I(J)*P(J)*U(J)+"
5040 PRINT #1, "+"; B(14); "*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
5050 PRINT #1, "+"; B(16); "*P(J)*V(J)+"; B(17); "*U(J)*K(J)+"
5060 PRINT #1, "+"; B(18); "*U(J)*Q(J)+"; B(19); "*I(J)*P(J)*V(J)+"
5070 PRINT #1, "+"; B(20); "*I(J)*U(J)*Q(J)+"; B(21); "*P(J)*U(J)*K(J)+"
5080 PRINT #1, "+"; B(22); "*K(J)*V(J)+"; B(23); "*Q(J)*V(J)+"
5090 PRINT #1, "+"; B(24); "*I(J)*Q(J)*V(J)+"; B(25); "*P(J)*K(J)*V(J)+"
5100 PRINT #1, "+"; B(26); "*U(J)*K(J)*Q(J)+"; B(27); "*K(J)*Q(J)*V(J),"
5110 PRINT #1, "ГДЕ"
5120 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1; ";"
5130 PRINT #1, "K(J)=F(J)^"; O1; "+"; U1; "*F(J)^"; J1; "+"; Q1
5131 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
5140 IF X = 3 GOTO 6790
5150 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2; ";"
5160 PRINT #1, "Q(J)=H(J)^"; O2; "+"; U2; "*H(J)^"; J2; "+"; Q2
5161 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
5170 IF X = 9 GOTO 6790
5180 PRINT #1, "U(J)=L(J)^"; J3; "+"; V3; ";"
5190 PRINT #1, "V(J)=L(J)^"; O3; "+"; O3; "+"; U3; "*L(J)^"; J3; "+"; Q3
5191 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: L(J)- 3-й ФАКТОР"
6000 IF X = 27 GOTO 6790
6070 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6080 PRINT #1, "+"; B(4); "*L(J),"
6090 IF X = 4 GOTO 6600
6100 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6110 PRINT #1, "+"; B(4); "*L(J)+"; B(5); "*M(J),"
6120 IF X = 5 GOTO 6600
6130 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6140 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6150 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6160 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"

```

```

6170 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6180 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J),"
6190 IF X = 12 GOTO 6600
6200 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6210 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6220 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6230 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6240 PRINT "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6250 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6260 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*K(J)*V(J),"
6270 IF X = 15 GOTO 6600
6280 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6290 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "I(J)*P(J)+"
6300 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6310 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6320 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6330 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*L(J)+"
6340 PRINT #1, "+"; B(14); "*P(J)*L(J)+"; B(15); "*Q(J)*L(J)+"
6350 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)*U(J),"
6360 IF X = 16 GOTO 6600
6370 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6380 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6390 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)+Q(J)+"
6400 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6410 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6420 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6430 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
6440 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)+"; B(17); "*P(J)*L(J)+"
6450 PRINT #1, "+"; B(18); "*Q(J)*L(J)+"; B(19); "*L(J)*U(J)+"
6460 PRINT #1, "+"; B(20); "*L(J)*V(J),"
6470 IF X = 20 GOTO 6600
6480 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6490 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6500 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6510 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*Q(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6520 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6530 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6540 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
6550 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)+"; B(17); "*P(J)*L(J)+"
6560 PRINT #1, "+"; B(18); "*Q(J)*L(J)+"; B(19); "*L(J)*U(J)+"
6570 PRINT #1, "+"; B(20); "*L(J)*V(J)+"; B(21); "*M(J)+"
6580 PRINT #1, "+"; B(22); "*P(J)*M(J)+"; B(23); "*Q(J)*M(J)+"
6590 PRINT #1, "+"; B(24); "*U(J)*M(J)+"; B(25); "*M(J)*V(J),"
6600 PRINT #1, "ГДЕ"
6610 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1; ";"
6620 PRINT #1, "K(J)=F(J)^"; O1; "+"; U1; "*F(J)^"; J1; "+"; Q1
6621 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6630 IF X = 12 GOTO 6710
6640 IF X = 15 GOTO 6710
6650 PRINT #1, "L(J)=F(J)^"; P1; "+"; I1; "*F(J)^"; O1; "+"

```

```

6660 PRINT #1, "+"; M1; "F(J)^"; J1; "+"; F1
6661 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6670 IF X = 4 GOTO 6790
6673 IF X = 16 GOTO 6710
6675 IF X = 20 GOTO 6710
6680 PRINT #1, "M(J)=F(J)^"; T1; "+"; G1; "*F(J)^"; P1; "+"
6690 PRINT #1, "+"; H1; "*F(J)^"; O1; "+"; K1; "*F(J)^"; I1; "+"; L1
6691 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6700 IF X = 5 GOTO 6790
6710 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2; ";"
6720 PRINT #1, "Q(J)=H(J)^"; O2; "+"; U2; "*H(J)^"; J2; "+"; Q2; ";"
6730 PRINT #1, "U(J)=H(J)^"; P2; "+"; I2; "*H(J)^"; O2; "+"
6740 PRINT #1, "+"; M2; "*H(J)^"; J2; "+"; F2
6741 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6750 IF X = 16 GOTO 6790
6760 PRINT #1, "V(J)=H(J)^"; T2; "+"; G2; "*H(J)^"; P2; "+"
6770 PRINT #1, "+"; H2; "*H(J)^"; O2; "+"; K2; "*H(J)^"; J2; "+"
6780 PRINT #1, "+"; L2
6781 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6790 PRINT "IF I0=18 GOTO 2660-ПЕРЕХОДЫ"
6792 PRINT "IF I0=19 GOTO 3190-ПЕРЕХОДЫ "
6793 PRINT "IF I0=35 GOTO 1160-ВВОД НОВЫХ Y(J)"
6795 PRINT "IF I0=44 GOTO 6830-КОНЕЦ"
6796 PRINT "IF I0=50 GOTO 40-НАЧАЛО"
6797 PRINT "IF I0=51 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
6798 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
6799 PRINT "IF I0=52 GOTO 7000-"
6800 PRINT "          ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
6802 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
6803 PRINT "          И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
6805 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
6810 IF I0 = 18 GOTO 2660
6820 IF I0 = 19 GOTO 3190
6823 IF I0 = 35 GOTO 1160
6825 IF I0 = 44 GOTO 6830
6827 IF I0 = 50 GOTO 40
6828 IF I0 = 51 GOTO 3240
6829 IF I0 = 52 GOTO 7000
6830 CLOSE #1
6832 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ СМОТРИ В ";
6835 PRINT "ФАЙЛЕ "; FA$
6840 END
7000 PRINT #1, "ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
7004 PRINT #1, " ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
7005 PRINT #1, " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ"
7006 PRINT #1, "И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
7010 PRINT "ВВОД I0=61 ПРИ X=3,X=4,X=5"
7020 PRINT "ВВОД I0=62 ПРИ X=9,X=12, X=15, X=16, X=20, X=25"
7030 PRINT "ВВОД I0=63 ПРИ X=27 "
7040 PRINT "IF I0=64 GOTO 40-НАЧАЛО"

```

```

7050 PRINT "IF I0=65 GOTO 6830-КОНЕЦ"
7060 INPUT I0
7070 IF I0 = 61 GOTO 7190
7080 IF I0 = 62 GOTO 7330
7090 IF I0 = 63 GOTO 7580
7100 IF I0 = 64 GOTO 40
7110 IF I0 = 65 GOTO 6830
7190 PRINT "ВВОД I0=73 ПРИ X=3,ВВОД I0=74 ПРИ X=4"
7195 PRINT "ВВОД I0=75 ПРИ X=5"
7200 INPUT I0
7210 F3 = 0: F4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7213 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7215 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7220 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7225 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7226 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7227 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7230 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4"
7240 INPUT X, F3, F4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7250 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7255 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7260 IF I0 = 73 GOTO 7290
7270 IF I0 = 74 GOTO 7300
7280 IF I0 = 75 GOTO 7310
7290 GOSUB 4150: GOSUB 4390: GOTO 7320
7300 GOSUB 4210: GOSUB 4400: GOTO 7320
7310 GOSUB 4290: GOSUB 4420: GOTO 7320
7320 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7325 NEXT K5: GOTO 8001
7330 PRINT "ВВОД I0=76 ПРИ X=9,I0=77 ПРИ X=12,I0=78 ПРИ X=15"
7340 PRINT "ВВОД I0=79 ПРИ X=16,I0=80 ПРИ X=20,I0=81 ПРИ X=25"
7350 INPUT I0
7360 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7361 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7365 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7370 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7371 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7380 PRINT #1, "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7381 PRINT "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7390 PRINT #1, "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7391 PRINT "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7392 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7393 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7400 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4"
7410 INPUT X, F3, F4, H3, H4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7420 PRINT #1, "H3="; H3; "H4="; H4
7430 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7435 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7440 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7450 IF I0 = 76 GOTO 7510

```

```

7460 IF I0 = 77 GOTO 7520
7470 IF I0 = 78 GOTO 7530
7480 IF I0 = 79 GOTO 7540
7490 IF I0 = 80 GOTO 7550
7500 IF I0 = 81 GOTO 7560
7510 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4450: GOTO 7570
7520 GOSUB 4150: GOSUB 4250: GOSUB 4490: GOTO 7570
7530 GOSUB 4150: GOSUB 4340: GOSUB 4530: GOTO 7570
7540 GOSUB 4210: GOSUB 4250: GOSUB 4580: GOTO 7570
7550 GOSUB 4210: GOSUB 4340: GOSUB 4630: GOTO 7570
7560 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690: GOTO 7570
7570 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7575 NEXT K5: GOTO 8001
7580 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: L4 = 0
7590 K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОРЫ F(1)=F3+F4,H(1)=H3+H4,L(1)=L3+L4"
7595 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J
7600 X = 0: PRINT #1, "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7601 PRINT "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7602 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7603 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7610 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,L3,L4"
7620 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4
7630 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3;
7640 PRINT #1, "H4="; H4; "L3="; L3; "L4="; L4
7650 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7655 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7660 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7670 L(K5) = L3 + K5 * L4: PRINT #1, "L("; K5; ")="; L(K5)
7680 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4190: GOSUB 4770: GOTO 7685
7685 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8001
8001 PRINT #1, "ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)": K8 = 0: K8 = Z(1)
8002 PRINT "ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
8004 INPUT I0
8010 FOR K5 = 1 TO X
8020 IF Z(K5) >= K8 THEN K8 = Z(K5)
8040 NEXT K5: PRINT #1, "MAX Z(K5)="; K8
8041 FOR K5 = 1 TO X
8042 IF Z(K5) = K8 THEN PRINT #1, "MAX Z("; K5; ")="; Z(K5)
8044 NEXT K5
8050 K7 = 0: K7 = Z(1)
8060 FOR K5 = 1 TO X
8070 IF Z(K5) <= K7 THEN K7 = Z(K5)
8090 NEXT K5: PRINT #1, "MIN Z(K5)="; K7
8091 FOR K5 = 1 TO X
8092 IF Z(K5) = K7 THEN PRINT #1, "MIN Z("; K5; ")="; Z(K5)
8094 NEXT K5: K6 = 0: PRINT #1, "MIN Z(K5)=K7, MAX Z(K5)=K8"
8095 PRINT #1, "K6(K5)=(Z(K5)+ABS(K7))/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8096 FOR K5 = 1 TO X: K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8097 PRINT #1, "K6("; K5; ")="; K6(K5): NEXT K5
8098 J5 = 0: J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8))

```

```

8099 PRINT #1, "J5=ABS(K7)/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8111 PRINT #1, "J5="; J5
8112 PRINT "IF I0=70 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ ";
8113 PRINT " ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) ";
8114 PRINT " И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
8115 PRINT "IF I0=80 GOTO 9000-ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
8120 INPUT I0
8125 IF I0 = 70 GOTO 7000
8130 IF I0 = 80 GOTO 9000
9000 PRINT "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3
9001 K0 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K4 = X: K7 = 0: K8 = 0: X0 = 0: Y0 = 0
9010 PRINT #1, "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
9015 PRINT #1, "ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА"
9020 PRINT #1, "K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
9025 PRINT #1, "K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ"
9030 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ "
9035 PRINT "ВВОД: X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО
X0=20)"
9036 PRINT " Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО
Y0=180)"
9037 PRINT " K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9038 PRINT " K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9045 INPUT X0, Y0, K0, K3
9046 PRINT #1, "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3; ", ГДЕ"
9047 PRINT #1, " X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X "
9048 PRINT #1, " Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y "
9049 PRINT #1, " K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9050 PRINT #1, " K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9054 KEY OFF: CLS
9055 COLOR 0, 0: SCREEN 2
9056 FOR K5 = 1 TO K4: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9057 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5)): NEXT K5
9059 J6 = 0: J6 = X - 1: J7 = 0: J8 = 0: J9 = 0: K7 = 0: K8 = 0: J9 = K3 * J5
9060 FOR K5 = 1 TO J6: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9061 J7(K5) = (K5 + 1) * K0: J8(K5) = K3 * K6(K5 + 1)
9062 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(J7(K5) - X0, Y0)
9063 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - J9)-(J7(K5) - X0, Y0 - J9)
9065 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))-(J7(K5) - X0, Y0 - J8(K5)): NEXT K5
9071 A$ = ""
9072 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 9072
9073 SCREEN 0: CLS : COLOR 2, 0
9074 PRINT "ВВОД I0=75 GOTO 9000-ПОВТОРЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРА-
ФИКА"
9075 PRINT "ВВОД I0=85 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ"
9076 PRINT " ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
9078 PRINT " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
9079 PRINT " И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
9080 PRINT "ВВОД I0=95 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT
9081 INPUT I0
9083 IF I0 = 75 GOTO 9000

```

```
9090 IF I0 = 85 GOTO 7000  
9095 IF I0 = 95 GOTO 6830
```

ПРИМЕРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

Пример 1. Выявление зависимости производительности вагранки от диаметра шахты в зоне плавления.

Цель исследования – выявление влияния геометрических параметров шахты и связанных с ними других существенных факторов на достижимую производительность вагранок больших размеров с применением моделирования.

За основу для моделирования были взяты данные коксовых вагранок с цилиндрической формой шахты при условии, что вагранки работают на обычных, близких по составу и качеству шихте, коксе, при подаче холодного воздушного дутья, высоте шахты, загружаемой шихтой, $H_{ш} = 6D_{ш}$, где $D_{ш}$ – диаметр шахты в свету. Производительность вагранки G_m , являющаяся показателем процесса $Y(J)$, принята в тоннах получаемого чугуна в час (т/ч). Диаметр шахты в свету $D_{ш}$ – обобщенный, сильно действующий фактор $F(J)$. Поскольку в зависимости от $D_{ш}$ находятся прочие размеры вагранки, площадь поперечного сечения и объем шахты, объем и вес загружаемых в вагранку кокса, металлической шихты, флюса, расход воздуха на сжигание топлива и другие фактора, то совместно с $D_{ш}$ на показатель ваграночного процесса G_m оказывают влияние много факторов.

Исходные данные для математического моделирования следующие: $D_{ш}$, м на пяти уровнях AI = 0,6; CI = 1; DI = 1,2; BI = 1,4; G_m , т/ч в соответствии с планом проведения экспериментов $5^1(X = 5)$; $Y(1) = 2$; $Y(2) = 12,5$; $Y(3) = 4$; $Y(4) = 8,5$; $Y(5) = 6$; количество опытов на среднем уровне факторов $N_0 = 4$; дисперсия опытов $U_9 = 0,09$; табличный T-критерий $T_0 = 3,181$; табличный F-критерий $F_7 = 9,12$ для 5%-го уровня значимости.

Для проверки точности математической модели при $D_{ш}$, м 0,5; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,75; 3 соответственно практические данные G_m , т/ч 1,3; 3; 5; 7; 10; 20; 60.

Величины показателей степени в уравнений регрессии приняты в двух вариантах:

- 1) $J_1 = 1$; $O_1 = 2$; $H_1 = 3$; $T_1 = 4$;
- 2) $J_1 = 0,1$; $O_1 = 2$; $P_1 = 1,1$; $T_1 = 0,5$.

Ниже приводятся результаты выявления зависимости G_m или $Z(J)$ от $D_{ш}$ или $F(J)$ и расчетов по программе VN0 (в двух вариантах).

ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0, РАЗРАБОТАННОЙ А.А.
ЧЕРНЫМ

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

X= 5

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

A1= .6 C1= .8 E1= 1

D1= 1.2 B1= 1.4 J1= 1

O1= 2 P1= 3 T1= 4

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V1=-1 U1=-1.999999 Q1= .9199985

I1=-2.999921 M1= 2.86384 F1=-.863925 G1=-3.995153

H1= 5.808213 K1=-3.631624 L1= .8218628

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ Y(J)

Y(1)= 2

Y(2)= 12.5

Y(3)= 4

Y(4)= 8.5

Y(5)= 6

B(J) ДО АНАЛИЗА

B(1)= 6.6

B(2)= 12.75

B(3)= 8.035975

B(4)= 15.62962

B(5)= 15.93938

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ

N0= 4

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)

Z(1)= 2.000789

Z(2)= 12.50239

Z(3)= 3.995165

Z(4)= 8.492033

Z(5)= 6.009614

F8=N0-1= 3

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)

В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))

Y(1)-Z(1)=-7.891655E-04

(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = -3.945827E-02

Y(2)-Z(2)=-2.385139E-03

(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = -1.908112E-02

Y(3)-Z(3)= 4.835129E-03

(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = .1208782

Y(4)-Z(4)= 7.966995E-03

(Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = 9.372935E-02

Y(5)-Z(5)=-9.614468E-03

(Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = -.1602411

ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9= .09

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)

T(1)= 49.19349

T(2)= 26.87936

T(3)= 4.009048

$T(4) = 1.581607$
 $T(5) = .2439821$
 ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ $T_0 = 3.182$
 В(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА
 $V(1) = 6.6$
 $V(2) = 12.75$
 $V(3) = 8.035975$
 $V(4) = 0$
 $V(5) = 0$
 КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
 КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ $K_9 = 3$
 $F_9 = X - 1$
 $F_9 = 4$
 ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ $F_7 = 9.12$
 РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА В(J)
 $Z(1) = 2.142872$
 $Z(2) = 12.34288$
 $Z(3) = 3.728558$
 $Z(4) = 8.828564$
 $Z(5) = 5.957121$
 ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ $Y(J) - Z(J)$
 В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))$
 $Y(1) - Z(1) = -.1428723$
 $(Y(1) - Z(1)) * (100 / Y(1)) = -7.143617$
 $Y(2) - Z(2) = .1571178$
 $(Y(2) - Z(2)) * (100 / Y(2)) = 1.256943$
 $Y(3) - Z(3) = .2714419$
 $(Y(3) - Z(3)) * (100 / Y(3)) = 6.786048$
 $Y(4) - Z(4) = -.3285637$
 $(Y(4) - Z(4)) * (100 / Y(4)) = -3.865455$
 $Y(5) - Z(5) = 4.287863E-02$
 $(Y(5) - Z(5)) * (100 / Y(5)) = .7146438$
 РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ $F_6 = .634922$
 АДЕКВАТНО, ТАК КАК $F_6 \leq F_7$
 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
 $Z(J) = 6.6 + 12.75 * I(J) + 8.035975 * K(J) +$
 $+ 0 * L(J) + 0 * M(J),$
 ГДЕ
 $I(J) = F(J)^1 + -1 ;$
 $K(J) = F(J)^2 + -1.999999 * F(J)^1 + .9199985$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР
 $L(J) = F(J)^3 + -2.999921 * F(J)^2 +$
 $+ 2.86384 F(J)^1 + -.863925$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР
 $M(J) = F(J)^4 + -3.995153 * F(J)^3 +$
 $+ 5.808213 * F(J)^2 + -3.631624 * F(J)^1 - 2.999921 + .8218628$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР
 РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ
 ФАКТОР $F(1) = .5$
 $Z(1) = 1.591109$

ФАКТОР $F(2) = .7$
 $Z(2) = 2.855355$
 ФАКТОР $F(3) = .9$
 $Z(3) = 4.76248$
 ФАКТОР $F(4) = 1.1$
 $Z(4) = 7.312483$
 ФАКТОР $F(5) = 1.3$
 $Z(5) = 10.50536$
 ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ $Z(K5)$
 ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ
 И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ
 ФАКТОР $F(1) = F3 + F4$
 F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА
 X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА
 $X = 20$ $F3 = .5$ $F4 = .25$
 $F(1) = .75$
 $Z(1) = 3.271867$
 $F(2) = 1$
 $Z(2) = 5.957121$
 $F(3) = 1.25$
 $Z(3) = 9.646873$
 $F(4) = 1.5$
 $Z(4) = 14.34112$
 $F(5) = 1.75$
 $Z(5) = 20.03987$
 $F(6) = 2$
 $Z(6) = 26.74311$
 $F(7) = 2.25$
 $Z(7) = 34.45085$
 $F(8) = 2.5$
 $Z(8) = 43.16309$
 $F(9) = 2.75$
 $Z(9) = 52.87982$
 $F(10) = 3$
 $Z(10) = 63.60105$
 $F(11) = 3.25$
 $Z(11) = 75.32678$
 $F(12) = 3.5$
 $Z(12) = 88.057$
 $F(13) = 3.75$
 $Z(13) = 101.7917$
 $F(14) = 4$
 $Z(14) = 116.5309$
 $F(15) = 4.25$
 $Z(15) = 132.2747$
 $F(16) = 4.5$
 $Z(16) = 149.0229$
 $F(17) = 4.75$
 $Z(17) = 166.7756$

$F(18) = 5$
 $Z(18) = 185.5328$
 $F(19) = 5.25$
 $Z(19) = 205.2945$
 $F(20) = 5.5$
 $Z(20) = 226.0607$
ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)
 $MAX Z(K5) = 226.0607$
 $MAX Z(20) = 226.0607$
 $MIN Z(K5) = 3.271867$
 $MIN Z(1) = 3.271867$
 $MIN Z(K5) = K7, MAX Z(K5) = K8$
 $K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))$
 $K6(1) = 2.853382E-02$
 $K6(2) = 4.024282E-02$
 $K6(3) = 5.633191E-02$
 $K6(4) = 7.680108E-02$
 $K6(5) = .1016503$
 $K6(6) = .1308797$
 $K6(7) = .1644892$
 $K6(8) = .2024787$
 $K6(9) = .2448483$
 $K6(10) = .291598$
 $K6(11) = .3427278$
 $K6(12) = .3982377$
 $K6(13) = .4581277$
 $K6(14) = .5223978$
 $K6(15) = .5910479$
 $K6(16) = .6640782$
 $K6(17) = .7414885$
 $K6(18) = .8232788$
 $K6(19) = .9094494$
 $K6(20) = 1$
 $J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8))$
 $J5 = 1.426691E-02$
ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА
ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА
K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ
K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ
ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ
 $X0 = 20$ $Y0 = 180$ $K0 = 30$ $K3 = 170$, ГДЕ
 $X0$ -ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X
 $Y0$ -ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y
 $K0$ -ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X
 $K3$ -ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y

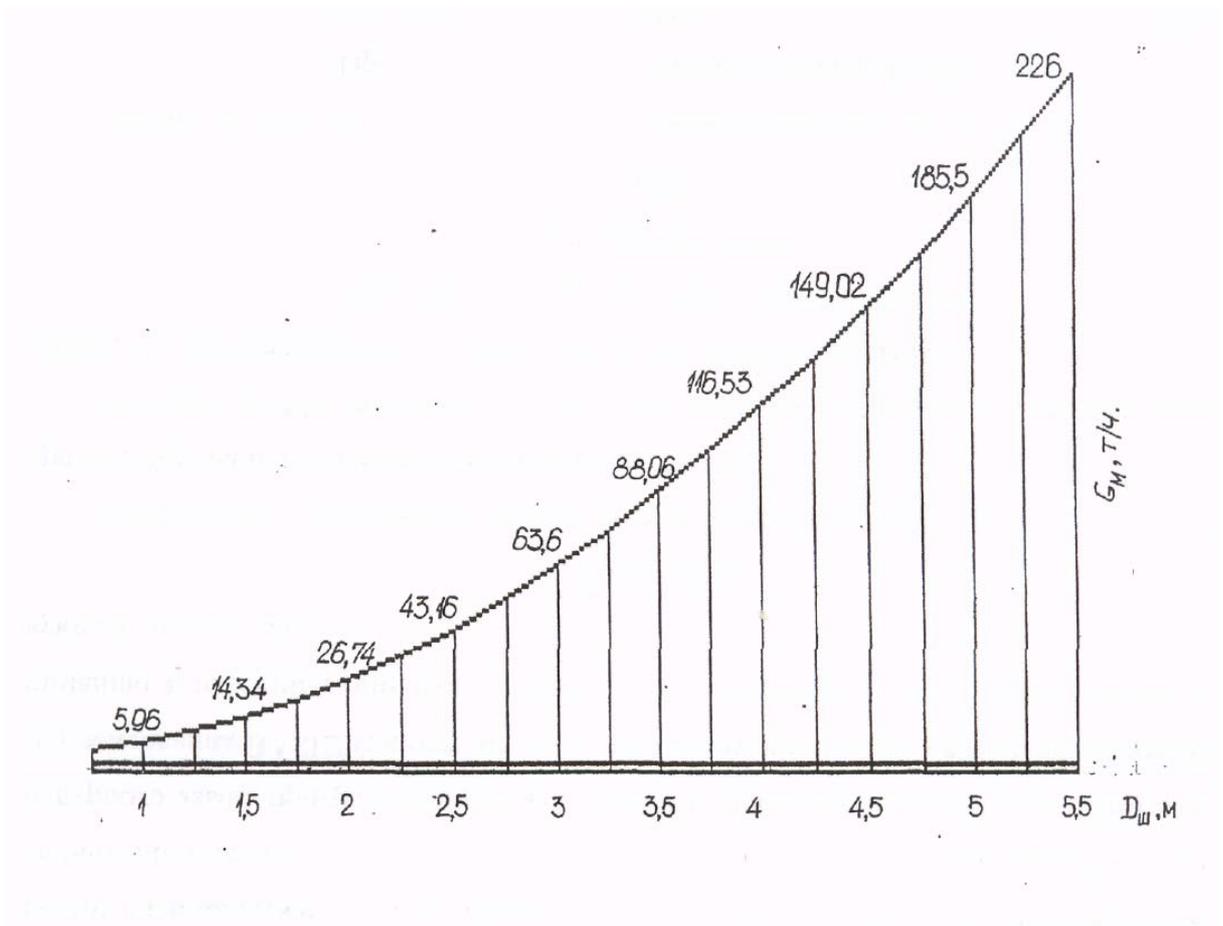


Рис. 21. Зависимость G_M от $D_{ш}$ (вариант 1)

ВТОРОЙ ВАРИАНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0, РАЗРАБОТАННОЙ А.А.
ЧЕРНЫМ

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

X= 5

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

A1= .6 C1= .8 E1= 1

D1= 1.2 B1= 1.4 J1= .1

O1= 2 P1= 1.1 T1= .5

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V1=-.9961504 U1=-18.6956 Q1= 17.54363

W1=-.2961451 M1=-4.847055 F1= 4.143742 G1=-.2337944

H1= .0138441 K1=-2.687617 L1= 1.907627

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ Y(J)

Y(1)= 2

Y(2)= 12.5

Y(3)= 4

Y(4)= 8.5

Y(5)= 6

B(J) ДО АНАЛИЗА

B(1)= 6.6

B(2)= 118.8686

B(3)= 7.120531

B(4)=-90.20929

B(5)=-1083.506

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ

N0= 4

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)

Z(1)= 1.832217

Z(2)= 12.61058

Z(3)= 4.374186

Z(4)= 8.320457

Z(5)= 5.862511

F8=N0-1= 3

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)

В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))

Y(1)-Z(1)= .1677835

(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = 8.389175

Y(2)-Z(2)=-.1105843

(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = -.8846741

Y(3)-Z(3)=-.3741856

(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = -9.354639

Y(4)-Z(4)= .1795435

(Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = 2.112276

Y(5)-Z(5)= .1374888

(Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = 2.291481

ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9= .09

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)

$$T(1) = 49.19349$$

$$T(2) = 26.29003$$

$$T(3) = 6.869397$$

$$T(4) = 1.59306$$

$$T(5) = 1.535336$$

ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ $T_0 = 3.182$

В(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА

$$V(1) = 6.6$$

$$V(2) = 118.8686$$

$$V(3) = 7.120531$$

$$V(4) = 0$$

$$V(5) = 0$$

КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ $K_9 = 3$

$$F_9 = X - 1$$

$$F_9 = 4$$

ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ $F_7 = 9.12$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ $Z(J)$ ПОСЛЕ АНАЛИЗА $V(J)$

$$Z(1) = 2.128195$$

$$Z(2) = 12.32343$$

$$Z(3) = 3.726642$$

$$Z(4) = 8.846254$$

$$Z(5) = 5.975486$$

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ $Y(J) - Z(J)$

В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))$

$$Y(1) - Z(1) = -.1281946$$

$$(Y(1) - Z(1)) * (100 / Y(1)) = -6.409729$$

$$Y(2) - Z(2) = .1765738$$

$$(Y(2) - Z(2)) * (100 / Y(2)) = 1.41259$$

$$Y(3) - Z(3) = .2733576$$

$$(Y(3) - Z(3)) * (100 / Y(3)) = 6.833941$$

$$Y(4) - Z(4) = -.3462543$$

$$(Y(4) - Z(4)) * (100 / Y(4)) = -4.073581$$

$$Y(5) - Z(5) = .0245142$$

$$(Y(5) - Z(5)) * (100 / Y(5)) = .40857$$

РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ $F_6 = .6745265$

АДЕКВАТНО, ТАК КАК $F_6 \leq F_7$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$Z(J) = 6.6 + 118.8686 * I(J) + 7.120531 * K(J) +$$
$$+ 0 * L(J) + 0 * M(J),$$

ГДЕ

$$I(J) = F(J)^{.1} + -.9961504 ;$$

$$K(J) = F(J)^2 + -.18.6956 * F(J)^{.1} + 17.54363$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: $F(J)$ - 1-й ФАКТОР

$$L(J) = F(J)^{1.1} + -.2961451 * F(J)^2 +$$

$$+ -.4.847055 * F(J)^{.1} + 4.143742$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: $F(J)$ - 1-й ФАКТОР

$$M(J) = F(J)^{.5} + -.2337944 * F(J)^{1.1} +$$

$$+ .0138441 * F(J)^2 + -.2.687617 * F(J)^{-.2961451} + 1.907627$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: $F(J)$ - 1-й ФАКТОР

РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

ФАКТОР $F(1) = .5$

$Z(1) = 1.589638$

ФАКТОР $F(2) = .7$

$Z(2) = 2.843461$

ФАКТОР $F(3) = .9$

$Z(3) = 4.771978$

ФАКТОР $F(4) = 1.1$

$Z(4) = 7.334293$

ФАКТОР $F(5) = 1.3$

$Z(5) = 10.50973$

ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ $Z(K5)$

ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ

И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

ФАКТОР $F(1) = F3 + F4$

F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА

X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА

$X = 20$ $F3 = .5$ $F4 = .25$

$F(1) = .75$

$Z(1) = 3.264475$

$F(2) = 1$

$Z(2) = 5.975486$

$F(3) = 1.25$

$Z(3) = 9.65914$

$F(4) = 1.5$

$Z(4) = 14.28632$

$F(5) = 1.75$

$Z(5) = 19.84116$

$F(6) = 2$

$Z(6) = 26.31402$

$F(7) = 2.25$

$Z(7) = 33.69858$

$F(8) = 2.5$

$Z(8) = 41.99048$

$F(9) = 2.75$

$Z(9) = 51.18657$

$F(10) = 3$

$Z(10) = 61.28451$

$F(11) = 3.25$

$Z(11) = 72.28249$

$F(12) = 3.5$

$Z(12) = 84.17909$

$F(13) = 3.75$

$Z(13) = 96.9732$

$F(14) = 4$

$Z(14) = 110.6639$

$F(15) = 4.25$

$Z(15) = 125.2504$

$F(16) = 4.5$

$$Z(16) = 140.7322$$

$$F(17) = 4.75$$

$$Z(17) = 157.1086$$

$$F(18) = 5$$

$$Z(18) = 174.3792$$

$$F(19) = 5.25$$

$$Z(19) = 192.5437$$

$$F(20) = 5.5$$

$$Z(20) = 211.6016$$

ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)

$$\text{MAX } Z(K5) = 211.6016$$

$$\text{MAX } Z(20) = 211.6016$$

$$\text{MIN } Z(K5) = 3.264475$$

$$\text{MIN } Z(1) = 3.264475$$

$$\text{MIN } Z(K5) = K7, \text{ MAX } Z(K5) = K8$$

$$K6(K5) = (Z(K5) + \text{ABS}(K7)) / (\text{ABS}(K7) + \text{ABS}(K8))$$

$$K6(1) = 3.038613E-02$$

$$K6(2) = 4.300334E-02$$

$$K6(3) = 6.014729E-02$$

$$K6(4) = 8.168247E-02$$

$$K6(5) = .107535$$

$$K6(6) = .1376601$$

$$K6(7) = .1720283$$

$$K6(8) = .2106193$$

$$K6(9) = .2534185$$

$$K6(10) = .3004149$$

$$K6(11) = .3516002$$

$$K6(12) = .4069677$$

$$K6(13) = .4665122$$

$$K6(14) = .5302296$$

$$K6(15) = .5981162$$

$$K6(16) = .6701691$$

$$K6(17) = .7463859$$

$$K6(18) = .8267645$$

$$K6(19) = .911303$$

$$K6(20) = 1$$

$$J5 = \text{ABS}(K7) / (\text{ABS}(K7) + \text{ABS}(K8))$$

$$J5 = 1.519307E-02$$

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА

ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА

K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ

K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ

X0= 20 Y0= 180 K0= 30 K3= 150 , ГДЕ

X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X

Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y

K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X

K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y

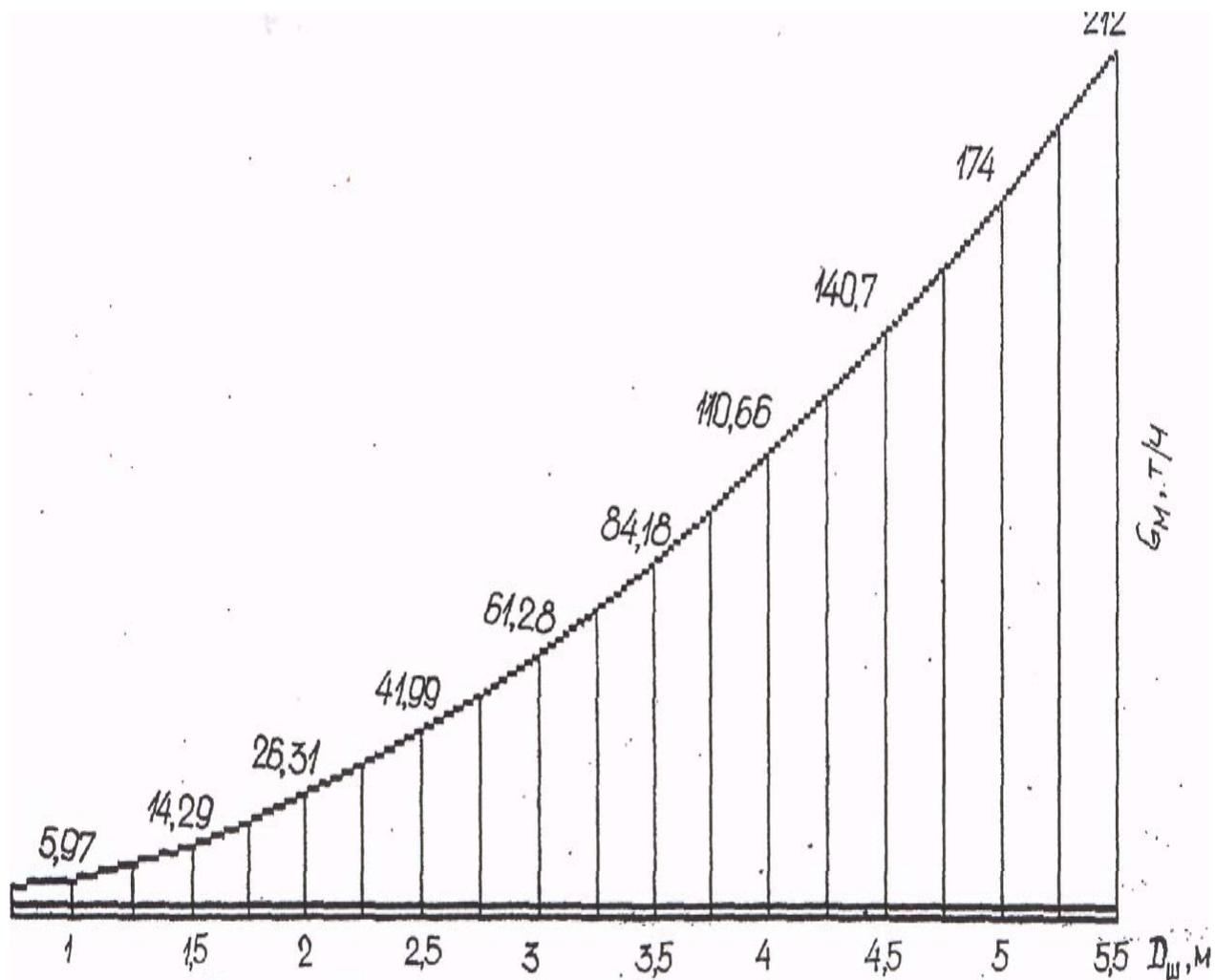


Рис. 22. Зависимость G_m от $D_{ш}$ (вариант 2)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВАГРАНОК НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УЧЕТА ГАЗОДИНАМИКИ В ШАХТЕ

Сравнение практических данных G_m , приведенных выше для проверки точности математической модели и рассчитанных по математической модели при тех же величинах $D_{ш}$, свидетельствует о том, что как в пределах интервала варьирования фактора $D_{ш}$ от $A1$ до $B1$, так при $D_{ш} > B1$ эти данные близки по величине, но при первом варианте моделирования (рис. 21) точность математической модели выше, чем при втором варианте (рис. 22), в связи с чем принят для анализа первый вариант модели.

Математическая модель имеет следующий вид:

$$G_m = 6,6 + 12,75 \cdot (D_{ш} - 1) + 8,036 \cdot (D_{ш}^2 - 2 \cdot D_{ш} + 0,92) .$$

Математическая модель, полученная на основе планирования экспериментов, правильно отражает реальный процесс, но не выявляет физического смысла этого процесса. Поэтому дальнейшие исследования сводились к выявлению влияния газодинамики в шахте на производительность вагранки на основе применения физического моделирования.

По практическим данным наибольшую удельную производительность, определяемую как отношение производительности G_b к объему загружаемой шихтой шахты $V_{ш}$, имеет вагранка с диаметром шахты $D_{ш} = 0,5$ м, то есть

$$\frac{G_b}{V_{ш}} = \frac{1,3}{0,589} = 2,207 \text{ т/(ч} \cdot \text{м}^3\text{)}.$$

Поэтому принимаем вагранку с $D_{ш} = 0,5$ м, $G_b = 1,3$ т/ч за образец для физического моделирования. Вводим новый коэффициент эффективного использования шахты, загружаемой шихтой,

$$k_э = \frac{G_b}{V_{ш} \cdot 2,207} ,$$

который для вагранки с $D_{ш} = 0,5$ м, $G_b = 1,3$ т/ч получается равным 1, а для вагранок с $D_{ш} > 0,5$ м меньше 1. При умножении объема шихты $V_{ш}$ на $k_э$ определяется объем шахты, в котором шихта интенсивно продувается горячими газами,

$$V_{шп} = V_{ш} \cdot k_э = V_{ш} \cdot \frac{G_b}{V_{ш} \cdot 2,207} = \frac{G_b}{2,207} .$$

Поскольку в вагранках с цилиндрической формой шахты наблюдается преобладающее движение горячих газов у стенок шахты, то по величине $V_{шп}$ можно определить усредненную глубину проникновения газов в шихту $S_{ш}$, используя уравнение:

$$V_{шп} = V_{ш} - 0,25 \cdot \pi \cdot (D_{ш} - 2 \cdot S_{ш})^2 \cdot 6 \cdot D_{ш} ,$$

$$\text{или} \quad S_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \left(D_{\text{ш}} - \sqrt{\frac{2 \cdot (V_{\text{ш}} - V_{\text{шп}})}{3 \cdot \pi \cdot D_{\text{ш}}}} \right).$$

В результате расчетов для вагранок с диаметром цилиндрической шахты $D_{\text{ш}}$ 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,4 м и, соответственно, производительностью G_b 1,3; 2; 3; 4; 5; 6; 8,5; 12,5 т/ч получены, соответственно, величины $S_{\text{ш}}$ 0,25; 0,2005; 0,2105; 0,2005; 0,1875; 0,175; 0,165; 0,1755 м. Рассматривая полученные величины $S_{\text{ш}}$, можно сделать вывод, что $S_{\text{ш}}$ – постоянная величина, равная в среднем 0,2 м для вагранок с $D_{\text{ш}}$ от 0,6 до 0,8 м и 0,17 м для вагранок с $D_{\text{ш}} \geq 0,9$ м. Отсюда следует, что для цилиндрических вагранок с $D_{\text{ш}} \geq 0,9$ м можно просто и точно определять достижимую производительность по формуле, учитывающей газодинамику в шахте,

$$\begin{aligned} G_{\text{ф}} &= 2,207 \cdot V_{\text{шп}} = 2,207 \cdot \left[V_{\text{ш}} - 0,25 \cdot \pi \cdot (D_{\text{ш}} - 2 \cdot S_{\text{ш}})^2 \cdot 6 \cdot D_{\text{ш}} \right] = \\ &= 10,4 \cdot D_{\text{ш}} \cdot \left[D_{\text{ш}}^2 - (D_{\text{ш}} - 2 \cdot S_{\text{ш}})^2 \right] = 10,4 \cdot D_{\text{ш}} \cdot \left[D_{\text{ш}}^2 - (D_{\text{ш}} - 0,34)^2 \right] \end{aligned}$$

Рассчитанные по последней формуле величины $G_{\text{ф}}$ представлены графически на рис. 23 в сравнении с рассчитанными по математической модели величинами $G_{\text{м}}$. Во всех рассмотренных случаях для каждого диаметра шахты $D_{\text{ш}}$ величина $G_{\text{ф}}$ незначительно отличается от величины $G_{\text{м}}$, что подтверждает правильность формулы для определения $G_{\text{ф}}$ и достоверность установленной закономерности.

В связи с тем, что вагранка с $D_{\text{ш}} = 0,5$ м и $G_b = 1,3$ т/ч принята за образец при физическом моделировании, на основе анализа размерностей определена константа подобия производительности, которая равна $D_{\text{ш}}^3 / 0,5^3$ при $D_{\text{ш}}$, м. Следовательно, производительность вагранок по теории подобия должна определяться по формуле

$$G_{\text{п}} = (1,3 \cdot D_{\text{ш}}^3) / 0,5^3.$$

Рассчитанные величины $G_{\text{п}}$ в сравнении с величинами $G_{\text{м}}$ и $G_{\text{ф}}$ представлены на рис. 5. Анализируя эти данные, видим, что с увеличением $D_{\text{ш}}$ величины отношений $G_{\text{м}} / G_{\text{п}}$, $G_{\text{ф}} / G_{\text{п}}$ уменьшаются, а это свидетельствует о том, что с увеличением $D_{\text{ш}}$ резервы по повышению производительности вагранки увеличиваются.

При прочих одинаковых условиях большое влияние на повышение производительности вагранки оказывает создание условий для равномерного распределения газов по сечениям шахты. Экспериментально установлено и производственным внедрением на ряде заводов подтверждено, что в этом отношении значительные преимущества имеют вагранки с коническими шахтами типа доменных.

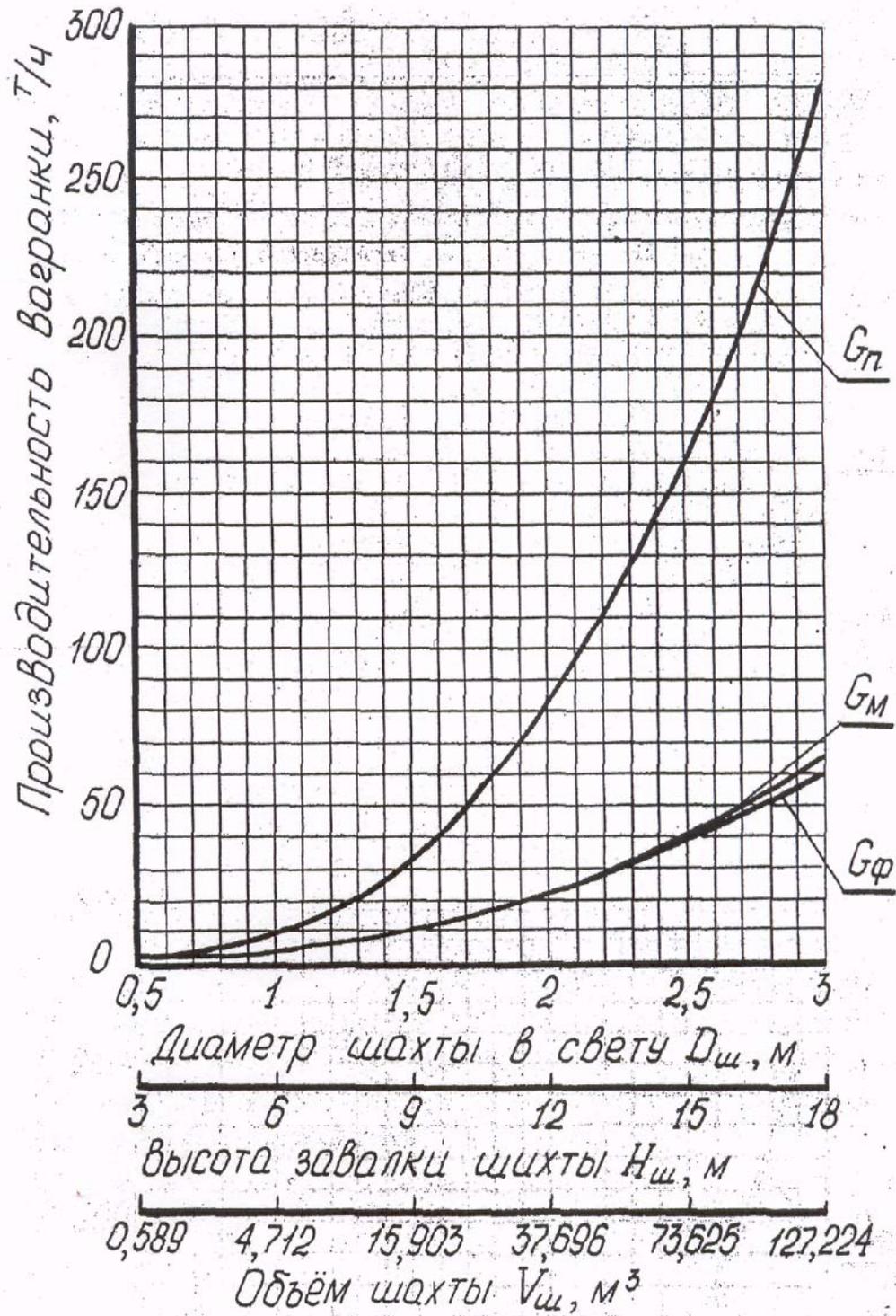


Рис. 23. Зависимость G_M , G_F , G_P от $D_{ш}$

Для этих вагранок при расположении зоны плавления в основании прямого усеченного конуса шахты достижимая производительность G_d определяется по формуле

$$G_d = 2,207 \cdot \left\{ 0,25\pi \cdot H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (D_1^2 + D_2^2 + D_1 \cdot D_2) - (D_1 - 0,34)^2 \right] \right\}$$

где H_1 – высота части шахты, заполняемой рабочими колошами шихты, (высота прямого усеченного конуса шахты), м; D_1 – диаметр шахты в горизонтальных свободных сечениях у загрузочного окна и сужении на переходе стенок горна в заплечики, D_2 – максимальный диаметр шахты в свободном горизонтальном сечении на переходе стенок заплечиков в основании стенок конической шахты, м.

Эффективность вагранок с шахтами доменного типа по сравнению с цилиндрическими вагранками повышается по мере увеличения размеров вагранок. Так, например, вагранка с цилиндрической шахтой при $D_{ш} = 1,7$ м, $H_{ш} = 10,2$ м, $V_{ш} = 23,15$ м³ позволяет достигать производительности $C_{ф} = 18,4$ т/ч, а вагранка с шахтой доменного типа при $D_1 = 1,7$ м, $H_1 > 10,2$ м, $D_2 > 1,7$ м, оптимальном внутреннем профиле и объеме конической шахты, заполняемой шихтой, 23,15 м³ может плавить 30,7 т чугуна в час. При одинаковом объеме шахты, загружаемой шихтой и $D_{ш} = D_1 = 3$ м производительность вагранки с цилиндрической шахтой может достигать 60 т/ч, а вагранки с шахтой доменного типа и оптимальном внутреннем профиле – 143 т/ч.

Изложенное выше применимо для газовых вагранок с учетом замены твердого топлива на газообразное.

Пример 2. Потери металла при плавке в газовой вагранке в зависимости от количества стали в шихте, температуры вдуваемого в горелки воздуха и связанного с ней коэффициента расхода воздуха.

Примером комплексного подхода к моделированию сложных процессов может служить математическая обработка результатов исследования ваграночного процесса при использовании в качестве топлива природного газа, подаче в газовые горелки воздуха, температура которого, изменялась в широких пределах, и шихте, состоящей из чугуна, близкого по составу к эвтектическому, а также среднеуглеродистой стали.

Для достижения высокой температуры получаемого расплавленного металла в газовой вагранке необходимо сжигать газообразное топливо так, чтобы достигалась максимальная температура продуктов сгорания в горящих факелах и в зоне перегрева жидкого металла. Поэтому, прежде всего была выявлена на основе экспериментов зависи-

мость величины коэффициента расхода воздуха α от температуры подаваемого на смешение с горючим газом воздуха T_B . Величина α принималась оптимальной, когда при данной величине T_B достигалась максимальная температура продуктов сгорания. По методике выявления математической модели процесса при проведении однофакторных экспериментов на большом количестве асимметричных уровней независимых переменных [2] была определена следующая математическая модель для принятых условий экспериментов:

$$\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_B .$$

Необходимо было выявить математическую модель, где $Y_{мет}$ – потери (угар) металла в связи с окислением элементов при плавке в газовой вагранке; $Ш_c$ – количество стали в шихте, % от веса металлозавалки, T_B – температура подаваемого в газовые горелки на смешение с горючим газом воздуха, К.

Для выявления математических моделей процесса был применен метод планирования двухфакторных экспериментов на трех уровнях 1-го и 2-го факторов. Экспериментально было установлено, что на показатель процесса $Y_{мет}$ сильно влияют факторы $Ш_c$, T_B , а также величина α , которая изменялась одновременно с T_B в соответствии с приведенной выше зависимостью. Следовательно, фактически проводились трехфакторные эксперименты, но благодаря предварительно установленной зависимости α от T_B математическую модель можно выявить на основе методики моделирования при проведении двухфакторных экспериментов. Номера факторов при планировании экспериментов приняты следующие: $Ш_c$ - первый фактор, T_B – второй фактор, влияющий на изменение третьего фактора α . Совместно факторы T_B и α определяют температурные и физико-химические условия в плавильном агрегате.

Для моделирования использованы следующие данные:

- $Ш_c$, % на трех уровнях
A1 = 0; E1 = 50; B1 = 100;
- T_B , К на трех уровнях
A2 = 293; E2 = 583; B2 = 873;
- $Y_{мет}$, % в соответствии с планом проведения экспериментов 3^2 ($X = 9$);
Y(1) = 7,5; Y(2) = 100; Y(3) = 1,5; Y(4) = 15; Y(5) = 4;
Y(6) = 81; Y(7) = 39; Y(8) = 5; Y(9) = 27,5 (величина α соответственно была 1; 1; 0,9; 0,9; 0,95; 0,95; 1; 0,9; 0,95);
- количество опытов на среднем уровне факторов $N_0 = 4$;
- $Y_{мет}$, % на среднем уровне факторов
G(1) = 27,5; G(2) = 27,5; G(3) = 28; G(4) = 27;
- табличный T-критерий $T_0 = 3,182$;

- табличный F – критерий $F_7 = 8,84$ для 5%-го уровня значимости;
- величины показателей степени в уравнении регрессии $J_1 = I; O_1 = 2; J_2 = I; O_2 = 2$.

Практические данные для проверки точности математической модели следующие:

$Y_{\text{мет}}$, % 6; 52; 2,5; 95; 34,5; 20; 20; 17,5; 14 при $Ш_C$, % соответственно 0; 100; 0; 100; 50; 50; 25; 25; 25, при T_B , К соответственно 438; 728; 728; 438; 438; 728; 293; 438; 583 и величине α соответственно 0,975; 0,925; 0,925; 0,975; 0,975; 0,925; 1; 0,975; 0,95.

ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИ-
РОВАНИЯ ПРИ $X=9$

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0, РАЗРАБОТАННОЙ А.А.
ЧЕРНЫМ

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

$X=9$

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

$A1=0$ $E1=50$ $B1=100$

$J1=1$ $O1=2$

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

$V1=-50$ $U1=-100$ $Q1=833.3342$

$A2=293$ $E2=583$ $B2=873$

$J2=1$ $O2=2$

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

$V2=-583$ $U2=-1166$ $Q2=283822.3$

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ $Y(J)$

$Y(1)=7.5$

$Y(2)=100$

$Y(3)=1.5$

$Y(4)=15$

$Y(5)=4$

$Y(6)=81$

$Y(7)=39$

$Y(8)=5$

$Y(9)=27.5$

В(J) ДО АНАЛИЗА

$B(1)=31.16667$

$B(2)=.61$

$B(3)=4.399991E-03$

$B(4)=-7.183908E-02$

$B(5)=-1.362069E-03$

$B(6)=-1.129605E-04$

$B(7)=-2.853742E-06$

$B(8)=-7.931017E-06$

$B(9)=-2.853737E-08$

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ

$N0=4$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ $Z(J)$ ДО АНАЛИЗА В(J)

$Z(1)=7.499997$

$Z(2)=99.99999$

$Z(3)=1.5$

$Z(4)=15.00001$

$Z(5)=3.999991$

$Z(6)=80.99995$

$Z(7)=39.00002$

$Z(8)=5.000008$

$Z(9)=27.50001$

$F8=N0-1=3$

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ $Y(J)-Z(J)$

В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))$

$Y(1)-Z(1)=2.861023E-06$
 $(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = 3.814697E-05$
 $Y(2)-Z(2)=7.629395E-06$
 $(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = 7.629395E-06$
 $Y(3)-Z(3)=-2.384186E-07$
 $(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = -1.589457E-05$
 $Y(4)-Z(4)=-6.67572E-06$
 $(Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = -4.45048E-05$
 $Y(5)-Z(5)=8.821487E-06$
 $(Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = 2.205372E-04$
 $Y(6)-Z(6)=4.577637E-05$
 $(Y(6)-Z(6)) * (100 / Y(6)) = 5.651403E-05$
 $Y(7)-Z(7)=-2.288818E-05$
 $(Y(7)-Z(7)) * (100 / Y(7)) = -5.868765E-05$
 $Y(8)-Z(8)=-7.629395E-06$
 $(Y(8)-Z(8)) * (100 / Y(8)) = -1.525879E-04$
 $Y(9)-Z(9)=-9.536743E-06$
 $(Y(9)-Z(9)) * (100 / Y(9)) = -3.467907E-05$
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ
 $G(1)=27.5$
 $G(2)=27.5$
 $G(3)=28$
 $G(4)=27$
ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ $U_9= .1666667$
РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ $T(J)$
 $T(1)=229.0273$
 $T(2)=183$
 $T(3)=38.10504$
 $T(4)=125$
 $T(5)=96.75484$
 $T(6)=32.9089$
 $T(7)=33.94108$
 $T(8)=16.26342$
 $T(9)=9.797929$
ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ $T_0= 3.182$
 $V(J)$ ПОСЛЕ АНАЛИЗА
 $V(1)=31.16667$
 $V(2)=.61$
 $V(3)=4.399991E-03$
 $V(4)=-7.183908E-02$
 $V(5)=-1.362069E-03$
 $V(6)=-1.129605E-04$
 $V(7)=-2.853742E-06$
 $V(8)=-7.931017E-06$
 $V(9)=-2.853737E-08$
КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
КОЭФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ $K_9= 9$
 $F_9=X-1$
 $F_9= 8$
ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ $F_7= 8.84$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА В(J)

$$Z(1) = 7.499997$$

$$Z(2) = 99.99999$$

$$Z(3) = 1.5$$

$$Z(4) = 15.00001$$

$$Z(5) = 3.999991$$

$$Z(6) = 80.99995$$

$$Z(7) = 39.00002$$

$$Z(8) = 5.000008$$

$$Z(9) = 27.50001$$

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)

В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))$

$$Y(1)-Z(1) = 2.861023E-06$$

$$(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = 3.814697E-05$$

$$Y(2)-Z(2) = 7.629395E-06$$

$$(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = 7.629395E-06$$

$$Y(3)-Z(3) = -2.384186E-07$$

$$(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = -1.589457E-05$$

$$Y(4)-Z(4) = -6.67572E-06$$

$$(Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = -4.45048E-05$$

$$Y(5)-Z(5) = 8.821487E-06$$

$$(Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = 2.205372E-04$$

$$Y(6)-Z(6) = 4.577637E-05$$

$$(Y(6)-Z(6)) * (100 / Y(6)) = 5.651403E-05$$

$$Y(7)-Z(7) = -2.288818E-05$$

$$(Y(7)-Z(7)) * (100 / Y(7)) = -5.868765E-05$$

$$Y(8)-Z(8) = -7.629395E-06$$

$$(Y(8)-Z(8)) * (100 / Y(8)) = -1.525879E-04$$

$$Y(9)-Z(9) = -9.536743E-06$$

$$(Y(9)-Z(9)) * (100 / Y(9)) = -3.467907E-05$$

РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6= 2.218002E-09

АДЕКВАТНО, ТАК КАК F6<=F7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$Z(J) = 31.16667 + .61 * I(J) + 4.399991E-03 * K(J) + \\ +7.183908E-02 * P(J) + -1.362069E-03 * I(J) * P(J) + \\ + -1.129605E-04 * Q(J) + -2.853742E-06 * I(J) * Q(J) + \\ + -7.931017E-06 * P(J) * K(J) + -2.853737E-08 * K(J) * Q(J),$$

ГДЕ

$$I(J) = F(J)^1 + -50 ;$$

$$K(J) = F(J)^2 + -100 * F(J)^1 + 833.3342$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР

$$P(J) = H(J)^1 + -583 ;$$

$$Q(J) = H(J)^2 + -1166 * H(J)^1 + 283822.3$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР

РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

$$\text{ФАКТОРЫ } F(1) = 0 \quad H(1) = 438$$

$$Z(1) = 5.624992$$

$$\text{ФАКТОРЫ } F(2) = 100 \quad H(2) = 728$$

$$Z(2) = 53.87497$$

$$\text{ФАКТОРЫ } F(3) = 0 \quad H(3) = 728$$

$Z(3) = 2.624994$
 ФАКТОРЫ $F(4) = 100$ $H(4) = 438$
 $Z(4) = 96.37497$
 ФАКТОРЫ $F(5) = 50$ $H(5) = 438$
 $Z(5) = 34.62502$
 ФАКТОРЫ $F(6) = 50$ $H(6) = 728$
 $Z(6) = 17.62501$
 ФАКТОРЫ $F(7) = 25$ $H(7) = 293$
 $Z(7) = 19.56252$
 ФАКТОРЫ $F(8) = 25$ $H(8) = 438$
 $Z(8) = 16.03126$
 ФАКТОРЫ $F(9) = 25$ $H(9) = 583$
 $Z(9) = 12.00001$
 ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ $Z(K5)$
 ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ
 И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ
 ФАКТОР $F(1) = F3 + F4$
 F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА
 ФАКТОР $H(1) = H3 + H4$
 H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА
 X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ
 $X = 10$ $F3 = 10$ $F4 = 0$
 $H3 = 200$ $H4 = 80$
 $F(1) = 10$
 $H(1) = 280$
 $Z(1) = 11.6826$
 $F(2) = 10$
 $H(2) = 360$
 $Z(2) = 10.2063$
 $F(3) = 10$
 $H(3) = 440$
 $Z(3) = 8.769567$
 $F(4) = 10$
 $H(4) = 520$
 $Z(4) = 7.372409$
 $F(5) = 10$
 $H(5) = 600$
 $Z(5) = 6.014825$
 $F(6) = 10$
 $H(6) = 680$
 $Z(6) = 4.696813$
 $F(7) = 10$
 $H(7) = 760$
 $Z(7) = 3.418373$
 $F(8) = 10$
 $H(8) = 840$
 $Z(8) = 2.179506$
 $F(9) = 10$
 $H(9) = 920$

$Z(9) = .9802126$
 $F(10) = 10$
 $H(10) = 1000$
 $Z(10) = -.1795122$
 ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)
 $MAX Z(K5) = 11.6826$
 $MAX Z(1) = 11.6826$
 $MIN Z(K5) = -.1795122$
 $MIN Z(10) = -.1795122$
 $MIN Z(K5) = K7, MAX Z(K5) = K8$
 $K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))$
 $K6(1) = 1$
 $K6(2) = .8755446$
 $K6(3) = .7544255$
 $K6(4) = .6366423$
 $K6(5) = .5221952$
 $K6(6) = .4110841$
 $K6(7) = .3033091$
 $K6(8) = .19887$
 $K6(9) = 9.776715E-02$
 $K6(10) = 0$
 $J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8))$
 $J5 = 1.513324E-02$
 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА
 ЗАВИСИМОСТЬ $K6(K5)$ ОТ ФАКТОРА
 $K6(K5)$ -ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ
 $K5$ -НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ
 ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ
 $X0 = 20$ $Y0 = 180$ $K0 = 60$ $K3 = 160$, ГДЕ
 $X0$ -ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X
 $Y0$ -ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y
 $K0$ -ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X
 $K3$ -ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y

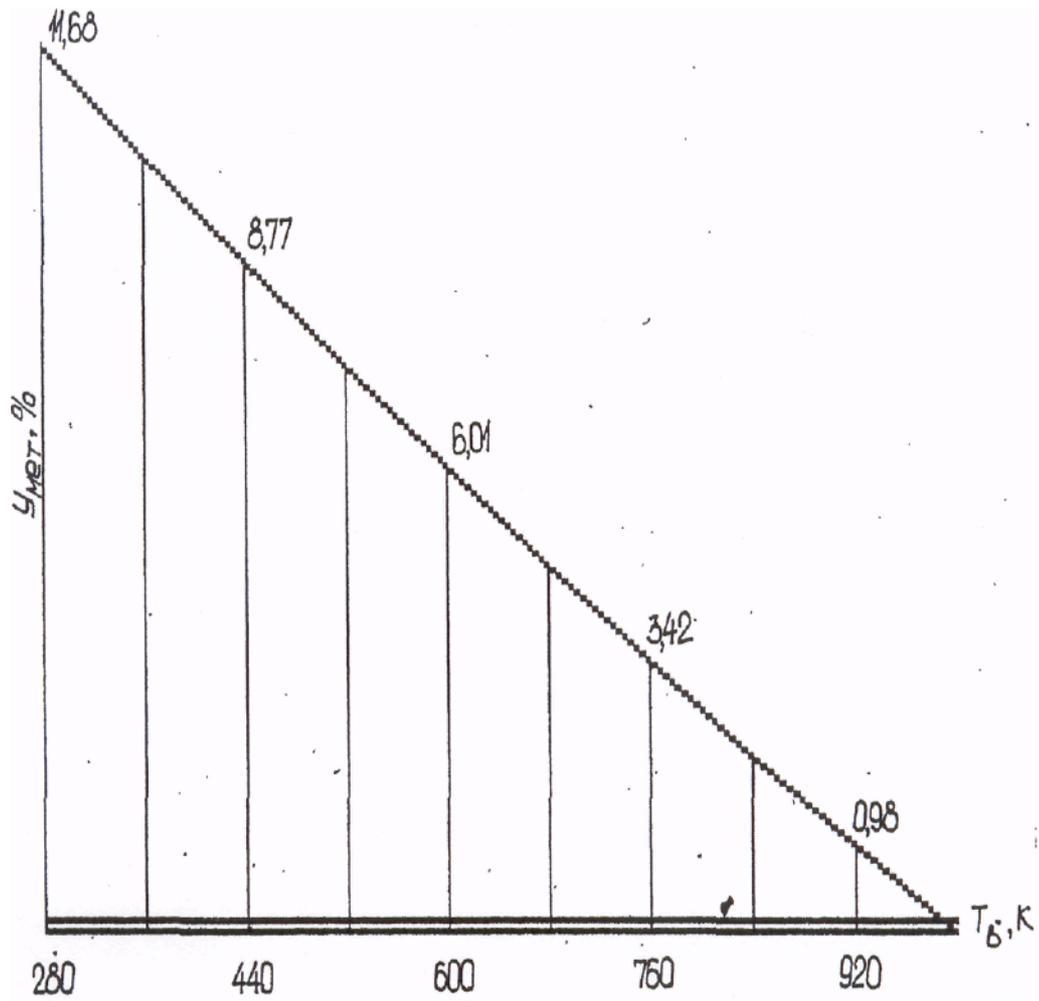


Рис. 24. Зависимость $Y_{мет}$ от T_b при $\Pi_c = 10\%$,
 $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ В ГАЗОВОЙ ВАГРАНКЕ

На основании анализа полученной математической модели (рис. 24) (зависимости $Y_{\text{мет}}$ от $Ш_c$ и T_b , связанной с α) были сделаны выводы о нецелесообразности использования большого количества стали в шихте газовых вагранок, о рациональности применения подогрева подаваемого в газовые горелки воздуха, снижении величины коэффициента расхода воздуха по мере увеличения температуры воздуха, о необходимости добавки в зону перегрева металла раскислителей, в частности углерода, образующегося при разложении углеродов или вдуваемого в виде порошка, а также загружаемого в виде кусков (электродного боя).

Комплексный подход к моделированию сложных процессов позволяет учитывать влияние на показатели процесса многих факторов путем выбора общественных факторов, связанных с другими факторами, изменение которых происходит в зависимости от обобщенных факторов. Так, в рассматриваемом примере математического моделирования зависимость $\alpha = f(T_b)$ позволила учитывать изменение окислительных свойств печной атмосферы, изменение состава и температуры продуктов сгорания в плавильном агрегате. В конечном итоге сложный процесс был сведен к менее сложному, что позволило применить математическое моделирование при ортогональном планировании двухфакторных экспериментов.

Рекомендации по улучшению процесса плавки в газовой вагранке сводятся к следующему.

Эффективность процесса плавки металла, в газовой вагранке может быть высокой при подаче в горелки горячего воздуха и снижении коэффициента расхода воздуха.

При количестве стали в составе шихты 10 % потери металла от окисления можно уменьшить до 0 при T_b 290 К (647°C).

Для увеличения количества стали в составе шихты (больше 10 %) необходимо вводить в продукты сгорания раскислители в виде водорода и сажистого углерода или плавку и перегрев металла производить на углеродосодержащей огнеупорной колоше, причем с повышением T_b и увеличением количества боя графитовых электродов в огнеупорной колоше угар металла при плавке в газовой вагранке должен снижаться.

Обработки результатов экспериментов применительно к физико - химическим процессам массопереноса и высокотемпературного сжигания газообразного топлива

При плавке материалов в печах протекают сложные физико-химические процессы, влияющие на массоперенос, тепловые условия, состав материала. Выявление закономерностей процессов проводится на основе экспериментальных исследований.

При проведении экспериментов накапливаются данные, которые систематизируют в виде таблиц, а затем выражают графически. Но для практики и научного исследования важно выразить связь между величинами в виде уравнений. Для установления уравнения связи необходимо определить вид функции, задающей зависимость показателя процесса от фактора.

График монотонной функции можно выразить уравнением:

$$y = k_1 \cdot x^{k_2} \cdot k_3^x, \quad (69)$$

которое после логарифмирования принимает вид линейного уравнения

$$\lg y = \lg k_1 + k_2 \cdot \lg x + x \cdot \lg k_3, \quad (70)$$

где k_1, k_2, k_3 - коэффициенты, определяемые при решении системы трех уравнений. Эта система образуется в результате подстановки в формулу (70) известных величин y и x , соответствующих двум крайним точкам графической кривой (или рассматриваемого отрезка кривой) и промежуточной точке (рис. 25А, В). Промежуточная точка выбирается, исходя из того, что через нее должна проходить касательная прямая линия, отсекающая на крайних ординатах приблизительно равные по длине отрезки от соответствующих точек кривой.

Выпуклые и вогнутые кривые, не имеющие максимума или минимума, можно выразить с помощью следующих функций:

$$y = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x^{1,5} + k_3 \cdot x^2, \quad (71)$$

$$y = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x^2 + k_3 \cdot x^3, \quad (72)$$

где k_1, k_2, k_3 - коэффициенты, определяемые решением системы трех уравнений, полученных подстановкой в формулы (71), (72) известных величин y и x по методике, изложенной для уравнения (70).

Если плавные выпуклые или вогнутые кривые графиков имеют максимумы или минимумы, то для математического описания кривых в зависимости от их формы применимы следующие формулы:

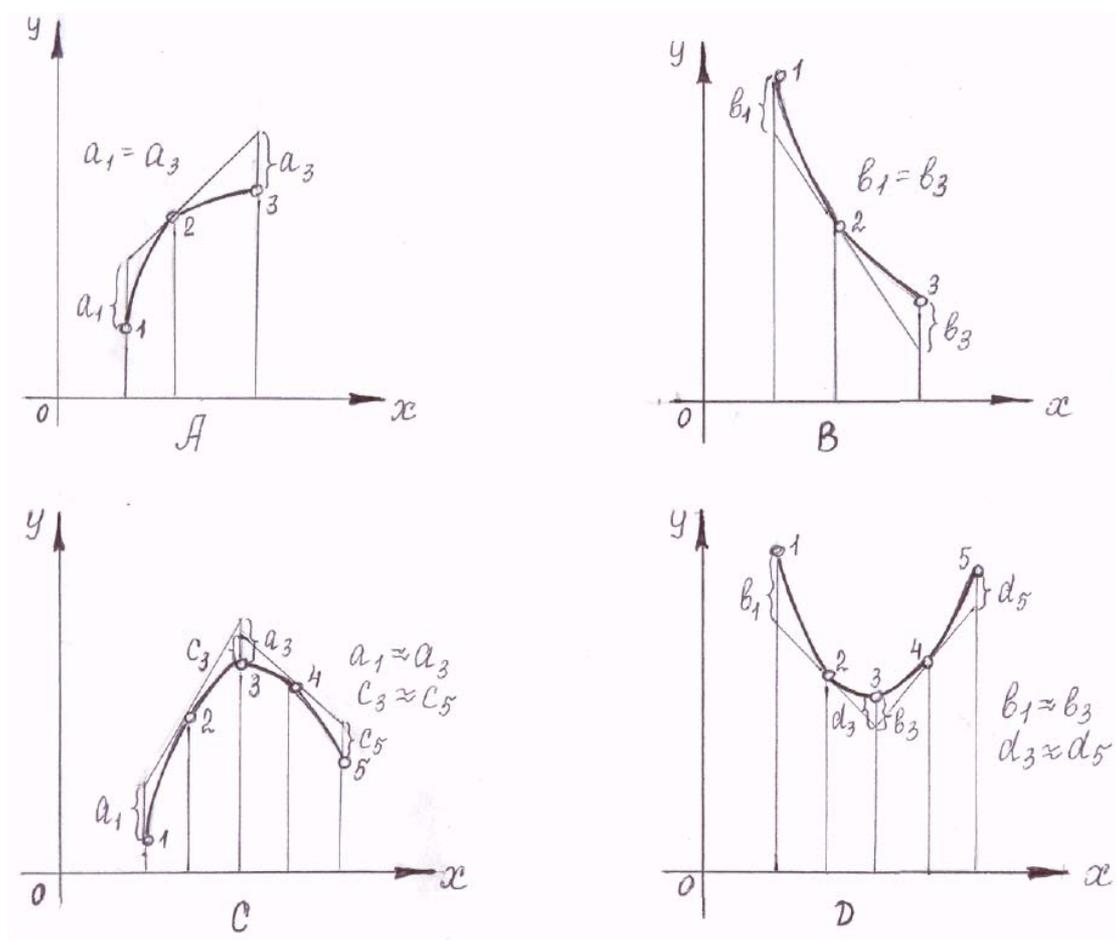


Рис. 25. Схемы зависимости показателя от фактора

$$y = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x^{1,25} + k_3 \cdot x^{1,5} + k_4 \cdot x^{1,75} + k_5 \cdot x^2; \quad (73)$$

$$y = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x^{1,5} + k_3 \cdot x^2 + k_4 \cdot x^{2,5} + k_5 \cdot x^3; \quad (74)$$

$$y = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x^2 + k_3 \cdot x^3 + k_4 \cdot x^4 + k_5 \cdot x^5; \quad (75)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 - коэффициенты, определяемые решением системы пяти уравнений, полученных подстановкой в формулы (73), (74), (75) известных величин y и x , соответствующих двум крайним точкам графической кривой, точке максимума (или минимума), двум промежуточным точкам, через одну из которых проходит касательная прямая линия, отсекающая на ближней к началу координат и на проходящей через максимум (минимум) ординатах приблизительно равные по длине отрезки от соответствующих точек этих ординат, а через другую проходит касательная прямая линия, отсекающая от крайней от на-

чала координат и на проходящей через максимум (минимум) ординатах также приблизительно равные по длине отрезки от соответствующих точек указанных ординат (см. рис.25 С, D).

По предлагаемой методике статистической обработки результатов экспериментов в системе координат наносятся экспериментальные точки, по которым оценивается приблизительный характер изменения показателя в зависимости от фактора. Далее проводится кривая предполагаемой зависимости. Если кривая выпуклая или вогнутая и не имеет максимума или минимума, то ее можно описать с помощью функций (69), (70).

Определив величины коэффициентов k_1, k_2, k_3 в уравнениях (70), (69) и установив предварительную математическую зависимость, выполняем расчеты статистических величин, исходя из принятых показателей и факторов:

$$y = \lg u;$$

$$x = \lg k_1 + k_2 \cdot \lg z + z \cdot \lg k_3;$$

подставляя которые в линейное корреляционное уравнение

$$y = MY + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - MX);$$

получим
$$\lg u = MY + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} [(\lg k_1 + k_2 \cdot \lg z + z \cdot \lg k_3) - MX]; \quad (76)$$

Для решения уравнения (76) выполняем расчеты статистических величин линейной корреляционной связи по формулам:

$$MX = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3)}{n};$$

$$MY = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \lg u_i}{n};$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - MX)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3) - MX]^2}{n-1}};$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - MY)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lg u_i - MY)^2}{n-1}}$$

$$V_x \% = \frac{100\sigma_x}{MX}; \quad V_y \% = \frac{100\sigma_y}{MY};$$

$$\sigma_{mx} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}; \quad \sigma_{my} = \frac{\sigma_y}{\sqrt{n}};$$

$$P_x\% = \frac{100\sigma_x}{MX}; \quad P_y = \frac{100\sigma_{my}}{MY};$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - MX)(y_i - MY)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - MX)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - MY)^2}} =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n [(\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3) - MX] (\lg u_i - MY)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3) - MX]^2 \sum_{i=1}^n (\lg u_i - MY)^2}};$$

$$\sigma_{mr} = \frac{1-r}{\sqrt{n}}; \quad \frac{r}{\sigma_{mr}} \geq 4;$$

где у - варианта, зависящая от рассматриваемого параметра u;
 x- варианта, зависящая от фактора z, влияющего на изменение параметра u;

MX, MY – средние арифметические величины, или величины математического ожидания;

n – число наблюдений (вариант);

σ_x, σ_y - средние квадратические отклонения;

$$\sum_{u=1}^m (x_i - MX)^2 = \sum_{i=1}^n [(\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3) - MX]^2 \sum_{i=1}^n (y_i - MY)^2 = \sum_{i=1}^n (\lg u_i - MY)^2 -$$

суммы квадратов отклонений всех вариантов от средних арифметических величин

V_x, V_y - вариационные коэффициенты, или коэффициенты изменчивости;

σ_{mx}, σ_{my} - средние квадратичные отклонения средних арифметических величин;

$P_x\%, P_y\%$ - показатели точности, которые не должны превышать 5%;

r - коэффициент корреляции;

$$\sum_{i=1}^n [(x_i - MX)(y_i - MY)] = \sum_{i=1}^n [(\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3) - MX] (\lg u_i - MY) -$$

сумма произведений отклонений отдельных вариантов от соответствующих им средних арифметических;

$$\sum_{i=1}^n (x_i - MX)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - MY)^2 = \sum_{i=1}^n [(\lg k_1 + k_2 \lg z_i + z_i \lg k_3) - MX]^2 \sum_{i=1}^n (\lg u_i - MY)^2 \quad (77)$$

произведение суммы квадратов отклонений отдельных вариантов от своих средних арифметических;

σ_{mr} - характеристика точности определения коэффициента корреляции;

$\frac{r}{\sigma_{mr}}$ - отношение коэффициента корреляции к его средней ошибке,

которое должно быть больше или равно 4.

Подставив в уравнение (77) величины MY , MX , σ_y , σ_x , r и выполнив математические действия по упрощению уравнения, получаем статистически достоверное уравнение

$$\lg u = \lg k_{01} + k_{02} \cdot \lg z + z \cdot \lg k_{03};$$

или
$$u = k_{01} \cdot z^{k_{02}} \cdot k_{03}^z; \quad (78)$$

где
$$\lg k_{01} = MY + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (\lg k_1 - MX);$$

$$k_{02} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} k_2;$$

$$\lg k_{03} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \lg k_3.$$

Построенная на основании уравнения (78) кривая будет статистически достоверно отражать закономерность изменения параметров.

Изложенная методика применялась для математической обработки результатов экспериментов при высокотемпературном сжигании газообразного топлива в ваграночном процессе.

В качестве примера в табл.54 представлены результаты экспериментального исследования параметров закрытых факелов при стабильном высоко-температурном сжигании «холодной» газозвушной смеси в тепло-изолированном объеме в зависимости от скорости истечения газозвушной смеси ω_c при $Q_H^p \approx 3525 \times 10^4$ кДж/м³, $T_c \approx T_n \approx 293^\circ\text{K}$, $\alpha = 1$, $d_0 = 0,03$ м.

Таблица 54

ω м/с	T_{ϕ} °К	ΔT_{ϕ} град.	$k_T = \frac{T_{\phi}}{T_c}$	l_B м	$k_B = \frac{l_B}{d_0}$	l_{ϕ} м	$k_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{d_0}$
20	1873	0	6,39	0,118	3,93	0,420	14,0
30	1973	100	6,73	0,121	4,03	0,440	14,7
40	2023	150	6,90	0,123	4,10	0,450	15,0
50	2073	200	7,08	0,124	4,13	0,460	15,3
60	2098	225	7,16	0,125	4,17	0,465	15,5
70	2123	250	7,25	0,126	4,20	0,467	15,6
80	2133	260	7,28	0,126	4,20	0,470	15,7
90	2138	265	7,30	0,126	4,20	0,471	15,7
100	2143	270	7,31	0,127	4,23	0,474	15,8
110	2148	275	7,33	0,127	4,23	0,475	15,8

Из графических построений на основе табл.54 видно, что при постоянстве диаметра канала сопла в выходном сечении ($d_0 = \text{const}$) и прочих одинаковых исходных данных температура в закрытом факеле T_{ϕ} повышается с увеличением скорости истечения газоздушнoй смеси ω_c , причем до $\omega_c = 70 \text{ м/с}$ происходит значительный прирост температуры ΔT_{ϕ} , а затем температура в факеле возрастает незначительно, приближаясь постепенно к теоретической. При этом длина закрытого факела l_{ϕ} , принятая как расстояние от выходного сечения сопла горелки до точки на осевой линии факела, где прекращалось повышение содержания CO_2 в продуктах сгорания, увеличивается по криволинейной зависимости, указывающей на то, что по мере возрастания скорости ω_c ее влияние на длину закрытого факела l_{ϕ} уменьшается. Такая же закономерность наблюдается и при изменении l_B в зависимости от ω_c , где l_B - длина зоны воспламенения, определяемая как расстояние от выходного сечения сопла горелки до точки на осевой линии факела, где начиналось повышение CO_2 в газовом потоке.

При делении T_{ϕ} на T_c и l_{ϕ}, l_B на d_0 получают безразмерные величины:

$$k_T = \frac{T_{\phi}}{T_c} \text{ - температурный коэффициент факела;}$$

$$k_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{d_0} \text{ - коэффициент общей длины факела;}$$

$k_B = \frac{l_B}{d_0}$ - коэффициент длины зоны воспламенения факела.

Выражая криволинейные зависимости, построенные по данным табл.54, уравнениями $u = k_1 \cdot k_2^z \cdot z^{k_3}$, или $\lg u = \lg k_1 + z \cdot \lg k_2 + k_3 \cdot \lg z$, соответствующими уравнениям (69), (70), и подставляя известные величины, находим предварительные математические зависимости:

а)

$$\begin{aligned} & \lg k_T = \lg k_1 + (0,1 \omega_c) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \omega_c); \\ & \lg 6,39 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 20) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 20); \\ & \lg 7,16 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 60) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 60); \\ & \lg 7,33 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 110) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 110); \\ & \lg k_T = 0,7712 - 0,0061(0,1 \omega_c) + 0,1546 \lg(0,1 \omega_c); \end{aligned}$$

б)

$$\begin{aligned} & \lg k_\phi = \lg k_1 + (0,1 \omega_c) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \omega_c); \\ & \lg 14 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 20) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 20); \\ & \lg 15,5 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 60) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 60); \\ & \lg 15,8 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 110) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 110); \\ & \lg k_\phi = 1,1154 - 0,0057(0,1 \omega_c) + 0,14 \lg(0,1 \omega_c); \end{aligned}$$

в)

$$\begin{aligned} & \lg k_B = \lg k_1 + (0,1 \omega_c) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \omega_c); \\ & \lg 3,93 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 20) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 20); \\ & \lg 4,17 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 60) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 60); \\ & \lg 4,23 = \lg k_1 + (0,1 \cdot 110) \lg k_2 + k_3 \lg(0,1 \cdot 110); \\ & \lg k_B = 0,5767 - 0,0029(0,1 \omega_c) + 0,0783 \lg(0,1 \omega_c); \end{aligned}$$

Далее, исходя из следующих принятых параметров и факторов, т.е.

а) $y = \lg k_T$, $x = 0,7 - 0,0061(0,1 \omega_c) + 0,1546 \lg(0,1 \omega_c)$;

б) $y = \lg k_\phi$, $x = 1,1 - 0,0057(0,1 \omega_c) + 0,14 \lg(0,1 \omega_c)$;

в) $y = \lg k_B$, $x = 0,5 - 0,0029(0,1 \omega_c) + 0,0783 \lg(0,1 \omega_c)$;

выполнены расчеты статистических величин, после подстановки которых в линейное корреляционное уравнение (76) получены уравнения связи

$$\begin{aligned} & \lg k_T = 0,7717 - 0,0061(0,1 \omega_c) + 0,1537 \lg(0,1 \omega_c); \\ & \lg k_\phi = 1,1165 - 0,0056(0,1 \omega_c) + 0,1376 \lg(0,1 \omega_c); \\ & \lg k_B = 0,5785 - 0,0027(0,1 \omega_c) + 0,0731 \lg(0,1 \omega_c); \end{aligned}$$

Таблица 55

Экспериментальные данные							Результаты расчетов					
ω_c м/с	K_B	K_Φ	K_T	$\lg K_B$	$\lg K_\Phi$	$\lg K_T$	$\lg K_B$	$\lg K_\Phi$	$\lg K_T$	K_B	K_Φ	K_T
20	3,93	14,0	6,39	0,5944	1,1461	0,8055	0,5951	1,1467	0,8058	3,94	14,0	6,40
30	4,03	14,7	6,73	0,6053	1,1673	0,8280	0,6053	1,1653	0,8267	4,03	14,6	6,71
40	4,10	15,0	6,90	0,6128	1,1761	0,8388	0,6117	1,1769	0,8398	4,09	15,0	6,92
50	4,13	15,3	7,08	0,6160	1,1847	0,8500	0,6161	1,1847	0,8486	4,13	15,3	7,06
60	4,17	15,5	7,16	0,6201	1,1903	0,8549	0,6192	1,1899	0,8547	4,16	15,5	7,16
70	4,20	15,6	7,25	0,6232	1,1931	0,8603	0,6214	1,1935	0,8589	4,18	15,6	7,23
80	4,20	15,7	7,28	0,6232	1,1959	0,8621	0,6229	1,1959	0,8617	4,20	15,7	7,27
90	4,20	15,7	7,30	0,6232	1,1959	0,8633	0,6239	1,1974	0,8635	4,21	15,8	7,30
100	4,23	15,8	7,31	0,6232	1,1987	0,8639	0,6246	1,1981	0,8644	4,21	15,8	7,32
110	4,23	15,8	7,33	0,6232	1,1987	0,8651	0,6249	1,1982	0,8647	4,22	15,8	7,32

Таблица 56

MX	MY	r	σ_r	$\frac{r}{\sigma_r}$	σ_x	σ_y	σ_{mx}	σ_{my}	$P_x\%$	$P_y\%$	$V_x\%$	$V_y\%$
$y = \lg K_T \quad x = 0,7 - 0,0061 (0,1 \cdot \omega_c) + 0,1546 \lg (0,1 \cdot \omega_c)$												
0,7779	0,8492	0,999	0,0006	1680	0,0197	0,0196	0,0062	0,0062	0,8	0,73	2,54	2,31
$y = \lg K_\Phi \quad x = 1,1 - 0,0057 (0,1 \cdot \omega_c) + 0,14 \lg (0,1 \cdot \omega_c)$												
1,1694	1,1847	1	0		0,0173	0,017	0,0055	0,0054	0,47	0,46	1,48	1,43
$y = \lg K_B \quad x = 0,5 - 0,0029 (0,1 \cdot \omega_c) + 0,0783 \lg (0,1 \cdot \omega_c)$												
0,5407	0,6165	1	0		0,0105	0,0098	0,0033	0,0031	0,61	0,5	1,94	1,59
$y = K_\Phi \quad x = K_T$												
7,073	15,31	0,999	0,0008	1248	0,311	0,586	0,098	0,185	1,39	1,21	4,4	3,83
$y = K_B \quad x = K_T$												
7,073	4,142	1	0		0,311	0,098	0,098	0,031	1,39	0,75	4,4	2,36

ИЛИ

$$K_T = 5,912 \cdot 1,014^{-0,1\omega_c} (0,1\omega_c)^{0,1537}; \quad (79)$$

$$K_\Phi = 13,08 \cdot 1,013^{-0,1\omega_c} (0,1\omega_c)^{0,1376}; \quad (80)$$

$$K_B = 3,789 \cdot 1,007^{-0,1\omega_c} (0,1\omega_c)^{0,0731}; \quad (81)$$

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов по формулам (79), (80), (81) показывает, что полученные математические зависимости правильно отражают реальный процесс (табл.55).

Графическое изображение зависимостей K_Φ , K_B от K_T показало, что между этими величинами существует линейная корреляцион-

ная связь, которая на основании расчета статистических величин определялась в виде следующих уравнений:

$$k_{\phi} = 1,98 + 1,88 k_T;$$

$$k_B = 1,92 + 0,314 k_T$$

Результаты расчетов статистических величин линейной корреляционной связи параметров закрытых факелов $y = MY + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - MX)$ систематизированы в табл.56. Так как во всех случаях коэффициент корреляции приблизительно равен единице, то исследуемые величины находятся в функциональной зависимости. А поскольку $r / m_r \geq 4$, то коэффициент корреляции является достоверным и связь между исследуемыми величинами доказана. В связи с тем, что показатели точности P_x, P_y меньше 5%, то достаточная надежность экспериментов обеспечена. Вариационный коэффициент, или коэффициент изменчивости V_x, V_y , во всех случаях меньше 5%.

Предложенную методику математической обработки экспериментальных данных рационально применять в тех случаях, когда многократно меняют величину фактора, получая при этом много величин показателя процесса. Если требуется выявить зависимость показателя процесса от двух и более факторов, то следует выявить математические модели на основе планирования экспериментов.

ЗАДАНИЯ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПРОВЕДЕНИЯ ОДНОФАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Выявление математических моделей при планировании экспериментов на двух уровнях фактора

Задание

Используя программу VL0 ($X=2$, план 2^1), выявить зависимость производительности вагранки (в т/ч) от диаметра шахты в свету (в метрах) при следующих исходных данных: $X=2$; $A1=06$; $B1=1,4$; $Y(1)=2$; $Y(2)=12,5$; $N0=4$; $F8=3$; $U9=0,09$; $T0=3$; $F7=10,13$. Величины показателя степени $J1$ принимать следующими: 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5.

Для проверки точности каждой математической модели выполнить расчеты при $F(1)=0,5$; $F(2)=0,7$; $F(1)=0,8$; $F(2)=0,9$; $F(1)=1$; $F(2)=1,1$; $F(1)=1,2$; $F(2)=1,3$; $F(1)=1,5$; $F(2)=1,7$.

Построить графики для случая $X=20$, $F3=0,5$, $F4=0,25$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1,2$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1,4$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1,6$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1,7$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1,8$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=1,9$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=2$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=2,1$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=2,2$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=2,3$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=2,4$; результаты выполнения программы при $X=2$, $J1=2,5$.

Выявление математической модели при планировании экспериментов на трех уровнях фактора

Задание

Используя программу VN0 ($X=3$, план 3^1), выявить зависимость производительности вагранки (в т/ч) от диаметра шахты в свету (в метрах) при следующих исходных данных: $X=3$; $A1=06$; $E1=1$; $B1=1,4$; $J1=1$; $O1=2$; $Y(1)=2$; $Y(2)=12,5$; $Y(3)=6$; $N0=4$; $F8=3$; $U9=0,09$; $T0=3,182$; $F7=9,55$.

Для проверки точности каждой математической модели выполнить три раза расчеты при

$$F(1)=0,5; F(2)=0,7; F(3)=0,8;$$

$$F(1)=0,9; F(2)=1,1; F(3)=1,2;$$

$$F(1)=1,3; F(2)=1,5; F(3)=1,7.$$

Построить графики для случая $X=20$, $F3=0,5$, $F4=0,25$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=3$, $J1=1$, $O1=2$.

Выявление математической модели при планировании экспериментов на четырех уровнях фактора

Задание

Используя программу VN0 ($X=4$, план 4^1), выявить зависимость производительности вагранки (в т/ч) от диаметра шахты в свету (в метрах) при следующих исходных данных: $X=4$; $A1=06$; $C1=0,8$; $D1=1,2$; $B1=1,4$; $J1=1$; $O1=2$; $P1=3$; $Y(1)=2$; $Y(2)=12,5$; $Y(3)=4$; $Y(4)=8,5$; $N0=4$; $F8=3$; $U9=0,09$; $T0=3,182$; $F7=9,28$.

Для проверки точности каждой математической модели выполнить два раза расчеты при

$$F(1)=0,5; F(2)=0,7; F(3)=0,9; F(4)=1;$$

$$F(1)=1,1; F(2)=1,3; F(3)=1,5; F(4)=1,7$$

Построить графики для случая $X=20$, $F3=0,5$, $F4=0,25$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=4$, $J1=1$, $O1=2$, $P1=3$.

Выявление математической модели при планировании экспериментов на четырех уровнях фактора

Задание

Используя программу VN0 ($X=5$, план 5^1), выявить зависимость производительности вагранки (в т/ч) от диаметра шахты в свету (в метрах) при следующих исходных данных: $X=5$; $A1=06$; $C1=0,8$; $E1=1$; $D1=1,2$; $B1=1,4$; $J1=1$; $Y(1)=2$; $Y(2)=12,5$; $Y(3)=4$; $Y(4)=8,5$; $Y(5)=6$; $N0=4$; $F8=3$; $U9=0,09$; $T0=3,182$; $F7=9,12$. Величины показателей степени принимать следующими:

$$J1=1; O1=1,8; P1=3; T1=4;$$

$$J1=1; O1=1,9; P1=3; T1=4;$$

$$J1=1; O1=2; P1=3; T1=4;$$

$$J1=1; O1=1,2; P1=2; T1=2,2;$$

$$J1=1; O1=1,5; P1=2; T1=2,5;$$

$$J1=0,1; O1=2; P1=1,1; T1=0,5;$$

$$J1=0,1; O1=0,3; P1=0,4; T1=2.$$

Для проверки точности каждой математической модели выполнить расчеты при

$$F(1)=0,5; F(2)=0,7; F(3)=0,9; F(4)=1; F(5)=1,3;$$

Построить графики для случая $X=20, F3=0,5, F4=0,25$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=5, J1=1, O1=1,8, P1=3, T1=4$; результаты выполнения программы при $X=5, J1=1, O1=1, P1=3, T1=4$; результаты выполнения программы при $X=5, J1=1, O1=2, P1=3, T1=4$; результаты выполнения программы при $X=5, J1=1, O1=1,2, P1=2, T1=2,2$; результаты выполнения программы при $X=5, J1=1, O1=1,5, P1=2, T1=2,5$; результаты выполнения программы при $X=5, J1=0,1, O1=2, P1=1,1, T1=0,5$; результаты выполнения программы при $X=5, J1=0,2, O1=0,3, P1=0,4, T1=2$.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПРОВЕДЕНИЯ ДВУХФАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Выявление математической модели при планировании экспериментов на трех уровнях первого фактора и четырех уровнях второго фактора

Задание

По программе VN0 ($X=12$ план 3·4) выявить зависимость угара (потерь) металла $Y_{мет}$ (в процентах) при плавке чугуновой и стальной шихты в газовой вагранке от количества стали в шихте $Ш_c$ (в процентах от веса металлозавалки) и температуры подаваемого в газовые горелки на смешение с природным газом воздуха T_b (в градусах К) при изменении коэффициента расхода воздуха α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$.

Для моделирования использовать следующие данные:

$X=12$; $Ш_c$ в процентах на трех уровнях $A1=0; E1=50; B1=100$;
 T_b в градусах К на четырех уровнях $A2=293; C2=438; D2=728; B2=873$;
 $Y_{мет}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 3·4 ($X=12$) $Y(1)=7,5; Y(2)=100; Y(3)=1,5; Y(4)=15; Y(5)=39; Y(7)=6;$
 $Y(8)=52; Y(9)=2,5; Y(10)=95; Y(11)=34,5; Y(12)=20$;

количество опытов на среднем уровне факторов $N0=4$;

$Y_{мет}$ в процентах на среднем уровне факторов
 $G(1)=27,5; G(2)=27,5; G(3)=28; G(4)=27$;

$F_8=N_0-1=3$; табличный T-критерий $T_0=3,182$, табличный F-критерий $F_7=8,76$ для 5%-го уровня значимости; величины показателей степени в уравнении регрессии $J_1=1$; $O_1=2$; $J_2=1$; $O_2=2$; $P_2=3$.

Для проверки точности математической модели выполнить расчеты при

$F(1)=0$; $H(1)=583$; $F(2)=100$; $H(2)=583$;
 $F(3)=50$; $H(3)=583$; $F(4)=25$; $H(4)=293$;
 $F(5)=25$; $H(5)=438$; $F(6)=25$; $H(6)=583$;
 $F(7)=25$; $H(7)=728$; $F(8)=25$; $H(8)=873$;
 $F(9)=75$; $H(9)=293$; $F(10)=75$; $H(10)=438$;
 $F(11)=75$; $H(11)=583$; $F(12)=75$; $H(12)=728$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=12$, $J_1=1$, $O_1=2$, $J_2=1$, $O_2=2$, $P_2=3$.

Выявление математической модели при планировании экспериментов на трех уровнях первого фактора и пяти уровнях второго фактора

Задание

По программе VN0 ($X=15$ план 3·5) выявить зависимость угара (потерь) металла $Y_{мет}$ от $Ш_c$ и T_b при изменении α по формуле
$$\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b.$$

Для моделирования использовать следующие данные:

$X=15$; $Ш_c$ в процентах на трех уровнях $A_1=0$; $E_1=50$; $B_1=100$;
 T_b в градусах К на пяти уровнях $A_2=293$; $C_2=438$; $E_2=583$; $D_2=728$;
 $B_2=873$; $Y_{мет}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 3·5 ($X=15$) $Y(1)=7,5$; $Y(2)=100$; $Y(3)=1,5$; $Y(4)=15$;
 $Y(5)=4$; $Y(6)=81$; $Y(7)=39$; $Y(8)=5$; $Y(9)=27,5$; $Y(10)=6$; $Y(11)=52$;
 $Y(12)=2,5$; $Y(13)=95$; $Y(14)=34,5$; $Y(15)=20$;
 $N_0=4$;

$Y_{мет}$ в процентах на среднем уровне факторов
 $G(1)=27,5$; $G(2)=27,5$; $G(3)=28$; $G(4)=27$;

$F_8=3$; $T_0=3,182$; $F_7=8,71$; величины показателей степени в уравнении регрессии $J_1=1$; $O_1=2$; $J_2=1$; $O_2=2$; $P_2=3$, $T_2=4$.

Для проверки точности математической модели выполнить расчеты при

$F(1)=25$; $H(1)=583$; $F(2)=100$; $H(2)=583$;
 $F(3)=25$; $H(3)=583$; $F(4)=25$; $H(4)=293$;
 $F(5)=25$; $H(5)=438$; $F(6)=25$; $H(6)=583$;
 $F(7)=75$; $H(7)=728$; $F(8)=25$; $H(8)=873$;
 $F(9)=75$; $H(9)=293$; $F(10)=75$; $H(10)=438$;
 $F(11)=10$; $H(11)=1000$; $F(12)=10$; $H(12)=1200$;

F(13)=20; H(13)=1000; F(14)=20; H(14)=1200;
F(15)=30; H(15)=1200.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при X=15, J1=1, O1=2, J2=1, O2=2, P2=3, T2=4.

Выявление математической модели при планировании экспериментов на четырех уровнях первого фактора и пяти уровнях второго фактора

Задание

По программе VN0 (X=20 план 4·5) выявить зависимость угара (потерь) металла $Y_{\text{мет}}$ от Ш_c и T_b при изменении α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$.

Для моделирования использовать следующие данные:

X=20;

Ш_c в процентах на трех уровнях A1=0; C1=25; D1=75; B1=100;
 T_b в градусах К на пяти уровнях A2=293; C2=438; E2=583; D2=728; B2=873;
 $Y_{\text{мет}}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 4·5 (X=20) Y(1)=7,5; Y(2)=100; Y(3)=1,5; Y(4)=15; Y(5)=4; Y(6)=81; Y(7)=6; Y(8)=52; Y(9)=2,5; Y(10)=95; Y(11)=20; Y(12)=17,5; Y(13)=14; Y(14)=10; Y(15)=2,5; Y(16)=67; Y(17)=61; Y(18)=50,5; Y(19)=34,5; Y(20)=9;

N0=4;

$Y_{\text{мет}}$ в процентах на среднем уровне факторов

G(1)=27,5; G(2)=27,5; G(3)=28; G(4)=27;

F8=3; T0=3,182; F7=8,66;

величины показателей степени в уравнении регрессии J1=1; O1=2; P1=3; J2=1; O2=2; P2=3, T2=4.

Для проверки точности математической модели выполнить расчеты при

F(1)=50;	H(1)=293;	F(2)=50;	H(2)=873;
F(3)=50;	H(3)=583;	F(4)=50;	H(4)=438;
F(5)=50;	H(5)=728;	F(6)=10;	H(6)=900;
F(7)=10;	H(7)=920;	F(8)=10;	H(8)=940;
F(9)=10;	H(9)=960;	F(10)=10;	H(10)=980;
F(11)=10;	H(11)=1000;	F(12)=10;	H(12)=1200;
F(13)=20;	H(13)=900;	F(14)=20;	H(14)=920;
F(15)=20;	H(15)=940;	F(16)=20;	H(16)=960;
F(17)=20;	H(17)=980;	F(18)=20;	H(18)=1000;
F(19)=20;	H(19)=1200;	F(20)=30;	H(20)=1200.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при X=20, J1=1, O1=2, P1=3, J2=1, O2=2, P2=3, T2=4.

Выявление математической модели при планировании экспериментов на двух, трех и пяти уровнях первого и второго факторов

Задание

Выявить зависимость $Y_{\text{мет}}$ от Ш_c и T_b при изменении α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$.

Для моделирования использовать

а) программу VL0, план 2^2 и данные:

$X=4$;

Ш_c в процентах на двух уровнях $A1=0$; $B1=100$;

T_b в градусах K на двух уровнях

$A2=293$; $B2=873$;

$Y_{\text{мет}}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 2^2 ($X=4$) $Y(1)=7,5$; $Y(2)=100$; $Y(3)=1,5$; $Y(4)=15$;
величины показателей степени в уравнении регрессии (три варианта)

$J1=1$; $J2=1$; $J1=1,4$; $J2=1,4$; $J1=1,8$; $J2=1,8$;

б) программу VN0, план 3^2 и данные:

$X=9$;

Ш_c в процентах на трех уровнях $A1=0$; $E1=50$; $B1=100$;

T_b в градусах K на трех уровнях

$A2=293$; $E2=583$; $B2=873$;

$Y_{\text{мет}}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 3^2 ($X=9$) $Y(1)=7,5$; $Y(2)=100$; $Y(3)=1,5$; $Y(4)=15$; $Y(5)=4$;
 $Y(6)=81$; $Y(7)=39$; $Y(8)=5$; $Y(9)=27,5$;
величины показателей степени в уравнении регрессии (три варианта)

$J1=1$; $O1=2$; $J2=1$; $O2=2$;

$J1=0,8$; $O1=1,5$; $J2=0,8$; $O2=1,5$;

$J1=1,2$; $O1=2,4$; $J2=1,2$; $O2=2,4$.

в) программу VN0, план 5^2 и данные:

$X=25$;

Ш_c в процентах на пяти уровнях $A1=0$; $C1=25$; $E1=50$; $D1=75$;
 $B1=100$;

T_b в градусах K на пяти уровнях

$A2=293$; $C1=438$; $E2=583$; $D2=728$; $B2=873$;

$Y_{\text{мет}}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 5^2 ($X=25$) $Y(1)=7,5$; $Y(2)=100$; $Y(3)=1,5$; $Y(4)=15$; $Y(5)=4$;
 $Y(6)=81$; $Y(7)=39$; $Y(8)=5$; $Y(9)=27,5$; $Y(10)=6$; $Y(11)=52$; $Y(12)=2,5$;
 $Y(13)=95$; $Y(14)=34,5$; $Y(15)=20$; $Y(16)=20$; $Y(17)=17,5$; $Y(18)=14$;

$Y(19)=10$; $Y(20)=2,5$; $Y(21)=67$; $Y(22)=61$; $Y(23)=50,5$; $Y(24)=34,5$;
 $Y(25)=9$;

величины показателей степени в уравнении регрессии (три варианта)

$J1=1$; $O1=2$; $P1=3$; $T1=4$; $J2=1$; $O2=2$; $P2=3$; $T2=4$;

$J1=1$; $O1=1,3$; $P1=2$; $T1=2,5$; $J2=1$; $O2=1,3$; $P2=2$; $T2=2,5$

$J1=1$; $O1=1,6$; $P1=2$; $T1=2,8$; $J2=1$; $O2=1,6$; $P2=2$; $T2=2,8$;

во всех случаях

$N0=4$;

$Y_{мет}$ в процентах на среднем уровне факторов

$G(1)=27,5$; $G(2)=27,5$; $G(3)=28$; $G(4)=27$;

$F8=3$; $T0=3,182$;

при $X=4$ $F7=9,28$;

при $X=9$ $F7=8,84$;

при $X=25$ $F7=8,64$.

Выполнить расчеты по математической модели

при $X=4$ пять раз для случаев

$F(1)=0$; $H(1)=538$; $F(2)=100$; $H(2)=583$;

$F(3)=50$; $H(3)=293$; $F(4)=50$; $H(4)=873$;

$F(1)=50$; $H(1)=583$; $F(2)=0$; $H(2)=438$;

$F(3)=100$; $H(3)=728$; $F(4)=0$; $H(4)=728$;

$F(1)=100$; $H(1)=438$; $F(2)=50$; $H(2)=438$;

$F(3)=50$; $H(3)=728$; $F(4)=25$; $H(4)=293$;

$F(1)=25$; $H(1)=438$; $F(2)=25$; $H(2)=583$;

$F(3)=25$; $H(3)=728$; $F(4)=25$; $H(4)=873$;

$F(1)=75$; $H(1)=293$; $F(2)=75$; $H(2)=438$;

$F(3)=75$; $H(3)=583$; $F(4)=75$; $H(4)=728$;

при $X=9$ для случаев

$F(1)=0$; $H(1)=438$; $F(2)=100$; $H(2)=728$;

$F(3)=0$; $H(3)=728$; $F(4)=100$; $H(4)=438$;

$F(5)=50$; $H(5)=438$; $F(6)=50$; $H(6)=728$;

$F(7)=25$; $H(7)=293$; $F(8)=25$; $H(8)=438$;

$F(9)=25$; $H(9)=583$.

Произвести расчеты с использованием циклов и построение графиков во всех случаях при $X=10$; $F3=10$; $F4=0$; $H3=200$; $H4=80$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=4$, $J1=1$, $J2=1$; результаты выполнения программы при $X=4$, $J1=1,4$, $J2=1,4$; результаты выполнения программы при $X=4$, $J1=1,8$, $J2=1,8$; результаты выполнения программы при $X=9$, $J1=1$, $O1=2$, $J2=1$, $O2=2$; результаты выполнения программы при $X=9$, $J1=0,8$, $O1=1,5$, $J2=0,8$, $O2=1,5$; результаты выполнения программы при $X=9$, $J1=1,2$, $O2=2,4$, $J2=1,2$, $O2=2,4$; результаты выполнения программы при $X=25$, $J1=1$, $O1=2$, $P1=3$, $T1=4$, $J2=1$, $O2=2$, $P2=3$, $T2=4$;

результаты выполнения программы при $X=25, J1=1, O1=1,3, P1=2, T1=2,5, J2=1, O2=1,3, P2=2, T2=2,5$; результаты выполнения программы при $X=25, J1=1, O1=1,6, P1=2, T1=2,8, J2=1, O2=1,6, P2=2, T2=2,8$.

Выявление математических моделей при планировании экспериментов на четырех уровнях первого и второго факторов

Задание

Выявить зависимость угара углерода Y_u , кремния Y_k , марганца Y_m , металла $Y_{мет}$ от $Ш_c$ и T_b при изменении α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$.

Для моделирования использовать программу VN0, план 4^2 и данные в двух вариантах:

1 вариант

$X=16$;

$Ш_c$ в процентах на четырех уровнях $A1=0; C1=25; D1=75; B1=100$; T_b в градусах К на четырех уровнях $A2=293; C2=438; D2=728; B2=873$;

в соответствии с планом проведения экспериментов 4^2 ($X=16$)

Y_u в процентах

$Y(1)=17; Y(2)=100; Y(3)=4; Y(4)=24; Y(5)=13; Y(6)=93,5; Y(7)=7; Y(8)=54,5; Y(9)=22; Y(10)=18,5; Y(11)=10,5; Y(12)=6; Y(13)=61; Y(14)=56,5; Y(15)=33,5; Y(16)=16$;

Y_k в процентах

$Y(1)=22; Y(2)=100; Y(3)=3; Y(4)=14,5; Y(5)=18; Y(6)=90; Y(7)=8,5; Y(8)=48; Y(9)=29,5; Y(10)=25,5; Y(11)=14; Y(12)=4,5; Y(13)=70; Y(14)=62; Y(15)=34; Y(16)=9,5$;

Y_m в процентах

$Y(1)=29; Y(2)=100; Y(3)=10; Y(4)=89,5; Y(5)=25,5; Y(6)=96; Y(7)=16,5; Y(8)=91; Y(9)=34; Y(10)=29,5; Y(11)=20; Y(12)=12,5; Y(13)=69,5; Y(14)=66; Y(15)=57,5; Y(16)=46,5$;

$Y_{мет}$ в процентах

$Y(1)=7,5; Y(2)=100; Y(3)=1,5; Y(4)=15; Y(5)=6; Y(6)=95; Y(7)=2,5; Y(8)=52; Y(9)=20; Y(10)=17,5; Y(11)=10; Y(12)=2,5; Y(13)=67; Y(14)=61; Y(15)=34,5; Y(16)=9$;

величины показателей степени в уравнении регрессии $J1=1; O1=2,8; P1=2,2; J2=1; O2=1,8; P2=2,2$;

во всех случаях

$N0=4; F8=3; U9=0,1667; T0=3,182; F7=8,69$;

факторы для расчетов показателей процесса ($Y_y, Y_k, Y_m, Y_{мет}$) по математическим моделям

F(1)=0; H(1)=583; F(2)=100; H(2)=583;
F(3)=50; H(3)=293; F(4)=50; H(4)=873;
F(5)=50; H(5)=583; F(6)=50; H(6)=438;
F(7)=50; H(7)=728; F(8)=25; H(8)=583;
F(9)=75; H(9)=583; F(10)=0; H(10)=486;
F(11)=100; H(11)=486; F(12)=0; H(12)=680;
F(13)=100; H(13)=680; F(14)=33,3; H(14)=293;
F(15)=33,3; H(15)=486; F(16)=66,7; H(16)=837;

для использования циклов и построения графиков во всех случаях

X=10; F3=10; F4=0; H3=200; H4=80.

2 вариант

X=16;

Ш_c в процентах на четырех уровнях

A1=0; C1=33,7; D1=66,7; B1=100;

T_b в градусах К на четырех уровнях A2=293; C2=438; D2=680;
B2=873;

в соответствии с планом проведения экспериментов 4² (X=16)

Y_y в процентах

Y(1)=17; Y(2)=100; Y(3)=4; Y(4)=24; Y(5)=11,5; Y(6)=90; Y(7)=8;
Y(8)=64; Y(9)=25,5; Y(10)=20; Y(11)=14,5; Y(12)=7; Y(13)=51;
Y(14)=44,5; Y(15)=32; Y(16)=13,5;

Y_k в процентах

Y(1)=22; Y(2)=100; Y(3)=3; Y(4)=14,5; Y(5)=17,5; Y(6)=85;
Y(7)=11; Y(8)=56; Y(9)=33; Y(10)=28,5; Y(11)=21; Y(12)=10; Y(13)=60;
Y(14)=51; Y(15)=37; Y(16)=8,5;

Y_m в процентах

Y(1)=29; Y(2)=100; Y(3)=10; Y(4)=89,5; Y(5)=24; Y(6)=96;
Y(7)=18; Y(8)=92; Y(9)=36,5; Y(10)=31; Y(11)=24,5; Y(12)=15;
Y(13)=60,5; Y(14)=55,5; Y(15)=50; Y(16)=35;

Y_{мет} в процентах

Y(1)=7,5; Y(2)=100; Y(3)=1,5; Y(4)=15; Y(5)=5,5; Y(6)=92,5;
Y(7)=3,5; Y(8)=62,5; Y(9)=26; Y(10)=21; Y(11)=14,5; Y(12)=4;
Y(13)=57,5; Y(14)=49; Y(15)=34; Y(16)=7,5;

величины показателей степени в уравнении регрессии

J1=1; O1=2,8; P1=2,2; J2=1; O2=1,8; P2=2,2;

во всех случаях

N0=4; F8=3; U9=0,1667; T0=3,182; F7=8,69;

факторы для расчетов показателей процесса ($Y_y, Y_k, Y_m, Y_{мет}$) по математическим моделям

F(1)=0;	H(1)=438;	F(2)=100;	H(2)=728;
F(3)=0;	H(3)=728;	F(4)=100;	H(4)=438;
F(5)=50;	H(5)=438;	F(6)=50;	H(6)=728;
F(7)=25;	H(7)=293;	F(8)=25;	H(8)=438;
F(9)=25;	H(9)=583;	F(10)=25;	H(10)=728;
F(11)=25;	H(11)=873;	F(12)=75;	H(12)=293;
F(13)=75;	H(13)=438;	F(14)=75;	H(14)=583;
F(15)=75;	H(15)=728;	F(16)=75;	H(16)=837;

для использования циклов и построения графиков во всех случаях

$X=10; F3=10; F4=0; H3=200; H4=80.$

Проанализировать два варианта зависимостей $Y_y=f(Ш_c; T_b); Y_k=f(Ш_c; T_b); Y_m=f(Ш_c; T_b); Y_{мет}=f(Ш_c; T_b)$ при $\alpha=f(T_b)$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=16$ для случая Y_y (1 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая Y_k (1 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая Y_m (1 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая $Y_{мет}$ (1 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая Y_y (2 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая Y_k (2 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая Y_m (2 вариант); результаты выполнения программы при $X=16$ для случая $Y_{мет}$ (2 вариант).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕХ-, ЧЕТЫРЕХ-, ПЯТИФАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Выявление математической модели при планировании трехфакторных экспериментов на двух и трех уровнях первого, второго и третьего факторов

Задание

Выявить зависимость $Y_{мет}$ от $Ш_c, T_b, \Gamma_d$ при изменении α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$, где Γ_d – количество дополнительно подаваемого природного газа на подсвечивание продуктов сгорания в процентах от расхода природного газа на сжигание.

Для моделирования использовать

а) программу VL0, план 2^3 и данные:

$X=8;$

Π_c в процентах на двух уровнях $A1=0; B1=100;$
 T_B в градусах К на двух уровнях $A2=293; B2=873;$
 Γ_d в процентах на двух уровнях $A3=0; B3=10;$
 $U_{мет}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 2^3 ($X=8$) $Y(1)=7,5; Y(2)=100; Y(3)=1,5; Y(4)=15; Y(5)=1,8;$
 $Y(6)=50; Y(7)=0,7; Y(8)=7;$

величины показателей степени в уравнении регрессии (два варианта)

$J1=1; J2=1; J3=1; J1=1,4; J2=1,4; J3=1,4;$

во всех случаях

$N0=6; F8=5; U9=0,0036; T0=2,571; F7=4,88;$

факторы для расчетов показателя процесса $U_{мет}$ по двум вариантам математических моделей

$F(1)=0; H(1)=283; L(1)=5;$
 $F(2)=100; H(2)=283; L(2)=5;$
 $F(3)=50; H(3)=293; L(3)=5;$
 $F(4)=50; H(4)=873; L(4)=5;$
 $F(5)=50; H(5)=583; L(5)=0;$
 $F(6)=50; H(6)=583; L(6)=10;$
 $F(7)=50; H(7)=293; L(7)=5;$
 $F(8)=100; H(8)=293; L(8)=5;$

б) программу VN0, план 3^3 и данные:

$X=27;$

Π_c в процентах на трех уровнях $A1=0; E1=50; B1=100;$
 T_B в градусах К на трех уровнях $A2=293; E2=583; B2=873;$
 Γ_d в процентах на трех уровнях $A3=0; E3=5; B3=10;$
 $U_{мет}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 3^3 ($X=27$) $Y(1)=7,5; Y(2)=100; Y(3)=1,5; Y(4)=15; Y(5)=1,8;$
 $Y(6)=50; Y(7)=0,7; Y(8)=7; Y(9)=2; Y(10)=55; Y(11)=22; Y(12)=3,5;$
 $Y(13)=27,5; Y(14)=9; Y(15)=2,7; Y(16)=70; Y(17)=1; Y(18)=10; Y(19)=4;$
 $Y(20)=81; Y(21)=1,3; Y(22)=43; Y(23)=39; Y(24)=5; Y(25)=12;$
 $Y(26)=2,4; Y(27)=17;$

величины показателей степени в уравнении регрессии

$J1=1; J2=1; J3=1; O1=2; O2=2; O3=2;$

$N0=6; F8=5; U9=0,0036; T0=2,571; F7=4,5.$

Произвести расчеты с использованием циклов и построение графиков во всех случаях при $X=10; F3=10; F4=0; H3=200; H4=80; L3=10;$
 $L4=0;$

при $X=10; F3=10; F4=0; H3=200; H4=80; L3=0; L4=0;$

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=8, J1=1, J2=1, J3=1;$ результаты выполнения программы при $X=8, J1=1,4, J2=1,4, J3=1,4;$ результаты выполнения программы при $X=27, J1=1, O1=2, J2=1, O2=2, J3=1, O3=2.$

**Выявление математической модели при планировании
четырёхфакторных экспериментов на уровнях первого,
второго, третьего и четвертого факторов**

Задание

Для случая плавки в газовой вагранке с холостой огнеупорной колошей (насадкой) выявить зависимость $Y_{мет}$ от $Ш_c$, T_b , C_r , D_r при изменении α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$, где C_r – количество боя углеродосодержащих электродов в холостой огнеупорной колоше в процентах по объему, D_r – преобладающий размер куска углеродосодержащей составляющей холостой огнеупорной колоши в мм.

Для моделирования использовать программу VL0, план 2^4 и данные:

$$X=16;$$

$$Ш_c \text{ в процентах на двух уровнях } A1=0; B1=60;$$

$$T_b \text{ в градусах К на двух уровнях } A2=293; B2=873;$$

$$C_r \text{ в процентах по объему на двух уровнях } A3=20; B3=60;$$

$$D_r \text{ в мм на двух уровнях } A4=120; B4=240;$$

$Y_{мет}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 2^4 ($X=16$) $Y(1)=10; Y(2)=30; Y(3)=5; Y(4)=15; Y(5)=5; Y(6)=16; Y(7)=2; Y(8)=7; Y(9)=12; Y(10)=38; Y(11)=7; Y(12)=20; Y(13)=8; Y(14)=19; Y(15)=3; Y(16)=9;$

величины показателей степени в уравнении регрессии (четыре варианта)

$$J1=1; \quad J2=1; \quad J3=1; \quad J4=1;$$

$$J1=1,2; \quad J2=1,2; \quad J3=1,2; \quad J4=1,2;$$

$$J1=1,4; \quad J2=1,4; \quad J3=1,4; \quad J4=1,4;$$

$$J1=1,1; \quad J2=1,1; \quad J3=1,1; \quad J4=1,1;$$

во всех случаях

$$N0=4; F8=3; U9=0,1667; T0=3,182; F7=8,69;$$

факторы для расчетов показателя процесса $Y_{мет}$ по математическим моделям

$$F(1)=0; \quad H(1)=583; \quad L(1)=0; \quad K(1)=50;$$

$$F(2)=100; \quad H(2)=583; \quad L(2)=10; \quad K(2)=60;$$

$$F(3)=50; \quad H(3)=293; \quad L(3)=20; \quad K(3)=70;$$

$$F(4)=50; \quad H(4)=873; \quad L(4)=30; \quad K(4)=80;$$

$$F(5)=50; \quad H(5)=583; \quad L(5)=40; \quad K(5)=90;$$

$$F(6)=50; \quad H(6)=438; \quad L(6)=50; \quad K(6)=100;$$

$$F(7)=50; \quad H(7)=728; \quad L(7)=60; \quad K(7)=110;$$

$$F(8)=25; \quad H(8)=583; \quad L(8)=70; \quad K(8)=120;$$

$F(9)=75$; $H(9)=583$; $L(9)=80$; $K(9)=130$;
 $F(10)=0$; $H(10)=486$; $L(10)=90$; $K(10)=140$;
 $F(11)=100$; $H(11)=486$; $L(11)=100$; $K(11)=180$;
 $F(12)=0$; $H(12)=680$; $L(12)=100$; $K(12)=200$;
 $F(13)=100$; $H(13)=680$; $L(13)=50$; $K(13)=220$;
 $F(14)=33,3$; $H(14)=293$; $L(14)=33,3$; $K(14)=240$;
 $F(15)=33,3$; $H(15)=486$; $L(15)=33,3$; $K(15)=260$;
 $F(16)=66,7$; $H(16)=873$; $L(16)=100$; $K(16)=300$.

Произвести расчеты с использованием циклов и построение графиков в каждом случае при $X=10$; $F3=10$; $F4=0$; $H3=200$; $Y4=80$; $L3=33,3$; $L4=0$; $K3=180$; $K4=0$.

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=16$, $J1=1$, $J2=1$, $J3=1$, $J4=1$; результаты выполнения программы при $X=16$, $J1=1,2$, $J2=1,2$, $J3=1,2$, $J4=1,2$; результаты выполнения программы при $X=16$, $J1=1,4$, $J2=1,4$, $J3=1,4$, $J4=1,4$; результаты выполнения программы при $X=16$, $J1=1,1$, $J2=1,1$, $J3=1,1$, $J4=1,1$.

Выявление математической модели при планировании пятифакторных экспериментов на двух уровнях первого, второго, третьего, четвертого и пятого фактора

Задание

Выявить зависимость $Y_{\text{мет}}$ от $Ш_c$, T_b , C_r , D_r , $M_{\text{ш}}$ при изменении α по формуле $\alpha = 1,05 - 0,000172 \cdot T_b$, где $M_{\text{ш}}$ – преобладающий размер куска металлической шихты в мм.

Для моделирования использовать программу VL0, план 2^5 и данные:

$X=32$;

$Ш_c$ в процентах на двух уровнях $A1=0$; $B1=60$;

T_b в градусах К на двух уровнях $A2=293$; $B2=873$;

C_r в процентах по объему на двух уровнях $A3=20$; $B3=60$;

D_r в мм на двух уровнях $A4=120$; $B4=240$;

$M_{\text{ш}}$ в мм на двух уровнях $A5=75$; $B5=150$;

$Y_{\text{мет}}$ в процентах в соответствии с планом проведения экспериментов 2^5 ($X=32$) $Y(1)=10$; $Y(2)=30$; $Y(3)=5$; $Y(4)=15$; $Y(5)=5$; $Y(6)=16$; $Y(7)=2$; $Y(8)=7$; $Y(9)=12$; $Y(10)=38$; $Y(11)=7$; $Y(12)=20$; $Y(13)=8$; $Y(14)=19$; $Y(15)=3$; $Y(16)=9$; $Y(17)=14$; $Y(18)=36$; $Y(19)=9$; $Y(20)=21$; $Y(21)=8$; $Y(22)=23$; $Y(23)=3$; $Y(24)=11$; $Y(25)=16$; $Y(26)=42$; $Y(27)=9,5$; $Y(28)=28$; $Y(29)=14$; $Y(30)=24$; $Y(31)=4$; $Y(32)=12$;

величины показателей степени в уравнении регрессии (четыре варианта)

$J_1=1;$ $J_2=1;$ $J_3=1;$ $J_4=1;$ $J_5=1;$
 $J_1=1,2;$ $J_2=1,2;$ $J_3=1,2;$ $J_4=1,2;$ $J_5=1,2;$
 $J_1=1,4;$ $J_2=1,4;$ $J_3=1,4;$ $J_4=1,4;$ $J_5=1,4$

во всех случаях

$N_0=4;$ $F_8=3;$ $U_9=0,1667;$ $T_0=3,182;$ $F_7=8,62;$

факторы для расчетов показателя процесса $Y_{мет}$ по математическим моделям

$F(1)=0;$ $H(1)=583;$ $L(1)=0;$ $K(1)=50;$ $M(1)=75;$
 $F(2)=100;$ $H(2)=583;$ $L(2)=10;$ $K(2)=60;$ $M(2)=75;$
 $F(3)=50;$ $H(3)=293;$ $L(3)=20;$ $K(3)=70;$ $M(3)=75$
 $F(4)=50;$ $H(4)=873;$ $L(4)=30;$ $K(4)=80;$ $M(4)=75;$
 $F(5)=50;$ $H(5)=583;$ $L(5)=40;$ $K(5)=90;$ $M(5)=150;$
 $F(6)=50;$ $H(6)=438;$ $L(6)=50;$ $K(6)=100;$ $M(6)=200;$
 $F(7)=50;$ $H(7)=728;$ $L(7)=60;$ $K(7)=110;$ $M(7)=250;$
 $F(8)=25;$ $H(8)=583;$ $L(8)=70;$ $K(8)=120;$ $M(8)=300;$
 $F(9)=75;$ $H(9)=583;$ $L(9)=80;$ $K(9)=130;$ $M(9)=80;$
 $F(10)=0;$ $H(10)=486;$ $L(10)=90;$ $K(10)=140;$ $M(10)=90;$
 $F(11)=100;$ $H(11)=486;$ $L(11)=100;$ $K(11)=180;$ $M(11)=100;$
 $F(12)=0;$ $H(12)=680;$ $L(12)=100;$ $K(12)=200;$ $M(12)=125;$
 $F(13)=100;$ $H(13)=680;$ $L(13)=50;$ $K(13)=220;$ $M(13)=150;$
 $F(14)=33,3;$ $H(14)=293;$ $L(14)=33,3;$ $K(14)=240;$ $M(14)=200;$
 $F(15)=33,3;$ $H(15)=486;$ $L(15)=33,3;$ $K(15)=260;$ $M(15)=250;$
 $F(16)=66,7;$ $H(16)=873;$ $L(16)=100;$ $K(16)=300;$ $M(16)=300;$
 $F(17)=0;$ $H(17)=438;$ $L(17)=0;$ $K(17)=300;$ $M(17)=300;$
 $F(18)=100;$ $H(18)=728;$ $L(18)=10;$ $K(18)=260;$ $M(18)=250;$
 $F(19)=0;$ $H(19)=728;$ $L(19)=20;$ $K(19)=240;$ $M(19)=200;$
 $F(20)=100;$ $H(20)=438;$ $L(20)=30;$ $K(20)=220;$ $M(20)=150;$
 $F(21)=50;$ $H(21)=438;$ $L(21)=40;$ $K(21)=200;$ $M(21)=125;$
 $F(22)=50;$ $H(22)=728;$ $L(22)=50;$ $K(22)=180;$ $M(22)=100;$
 $F(23)=25;$ $H(23)=293;$ $L(23)=60;$ $K(23)=140;$ $M(23)=90;$
 $F(24)=25;$ $H(24)=438;$ $L(24)=70;$ $K(24)=130;$ $M(24)=80;$
 $F(25)=25;$ $H(25)=583;$ $L(25)=80;$ $K(25)=120;$ $M(25)=300;$
 $F(26)=25;$ $H(26)=728;$ $L(26)=90;$ $K(26)=110;$ $M(26)=250;$
 $F(27)=25;$ $H(27)=873;$ $L(27)=100;$ $K(27)=100;$ $M(27)=200;$
 $F(28)=75;$ $H(28)=293;$ $L(28)=100;$ $K(28)=90;$ $M(28)=150;$
 $F(29)=75;$ $H(29)=438;$ $L(29)=50;$ $K(29)=80;$ $M(29)=75;$
 $F(30)=75;$ $H(30)=583;$ $L(30)=33,3;$ $K(30)=70;$ $M(30)=75;$
 $F(31)=75;$ $H(31)=728;$ $L(31)=33,3;$ $K(31)=60;$ $M(31)=75;$
 $F(32)=75;$ $H(32)=873;$ $L(32)=100;$ $K(32)=50;$ $M(32)=75.$

Произвести расчеты с использованием циклов и построение графиков в каждом случае при $X=10;$ $F_3=10;$ $F_4=0;$ $H_3=200;$ $H_4=80;$ $L_3=33,3;$ $L_4=0;$ $K_4=0;$ $M_3=100;$ $M_4=0.$

Представить в виде распечаток следующее: результаты выполнения программы при $X=32$; $J1=1$; $J2=1$; $J3=1$; $J4=1$; $J5=1$; результаты выполнения программы при $X=32$; $J1=1,2$; $J2=1,2$; $J3=1,2$; $J4=1,2$; $J5=1,2$; результаты выполнения программы при $X=32$; $J1=1,4$; $J2=1,4$; $J3=1,4$; $J4=1,4$; $J5=1,4$.

ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С
ДОБАВЛЕНИЕМ ПОДПРОГРАММ СИСТЕМНОГО ПРЕДСТАВЛЕ-
НИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

ПРОГРАММА NW5 НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК ДЛЯ СЛУЧАЕВ
ПЛАНИРОВАНИЯ 5^1 (X=5), 5^2 (X=25)

```
5 PRINT "ПРОГРАММА NW5,РАЗРАБОТКА А.А.ЧЕРНОГО"
6 CLS
7 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW5"
8 PRINT "ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ,ИМЯ КОТОРОГО НАДО ВВЕСТИ,"
9 PRINT "НАПРИМЕР, ВВЕСТИ ИМЯ ФАЙЛА NW51"
10 INPUT "ВВОД ИМЕНИ ФАЙЛА ", FAS$
14 OPEN "O", #1, FAS$
17 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW5 ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ "; FAS$
40 PRINT " РАЗРАБОТКИ ДЛЯ X=5,X=25"
41 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW5, РАЗРАБОТАННОЙ А.А.
ЧЕРНЫМ"
42 DIM F(50), H(50), L(50), Y(27), I(50), K(50), M(50), P(50)
44 DIM Q(50), U(50), V(50), O(27), B(27), Z(50), G(20), T(27)
46 DIM K6(50), K7(50), K8(50), J7(50), J8(50), J9(50)
47 DIM Z1(50)
51 PRINT "ВВОД X-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
52 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
60 INPUT X: PRINT #1, "X="; X
61 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
62 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
90 IF X = 5 GOTO 270
100 IF X = 25 GOTO 270
270 PRINT "ВВОД A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,P1,T1"
280 INPUT A1, C1, E1, D1, B1, J1, O1, P1, T1
290 PRINT #1, "A1="; A1; " C1="; C1; " E1="; E1
293 PRINT #1, "D1="; D1; " B1="; B1; " J1="; J1
295 PRINT #1, "O1="; O1; " P1="; P1; " T1="; T1: A = A1: B = B1
300 C = C1: D = D1: E = E1: N = J1: R = O1: S = P1: W = T1: GOSUB 3860
310 V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0: I1 = I0: M1 = M0: F1 = F0: G1 = G0: H1 = H0
320 K1 = K0: L1 = L0: PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
323 PRINT #1, "I1="; I1; " M1="; M1; " F1="; F1; " G1="; G1
325 PRINT #1, "H1="; H1; " K1="; K1; " L1="; L1
330 IF X = 25 GOTO 460
340 IF X = 5 GOTO 610
460 PRINT "ВВОД A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2"
470 INPUT A2, C2, E2, D2, B2, J2, O2, P2, T2
480 PRINT #1, "A2="; A2; " C2="; C2; " E2="; E2; " D2="; D2
483 PRINT #1, "B2="; B2; " J2="; J2; " O2="; O2
485 PRINT #1, "P2="; P2; " T2="; T2: A = A2: B = B2
490 C = C2: D = D2: E = E2: N = J2: R = O2: S = P2: W = T2: GOSUB 3860
500 V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0: I2 = I0: M2 = M0: F2 = F0: G2 = G0: H2 = H0
510 K2 = K0: L2 = L0: PRINT #1, "V2="; V2; "U2="; U2; "Q2="; Q2
513 PRINT #1, "I2="; I2; " M2="; M2; " F2="; F2; " G2="; G2
515 PRINT #1, "H2="; H2; " K2="; K2; " L2="; L2
540 IF X = 25 GOTO 900
589 REM ПЛАНЫ
610 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = C1: F(4) = D1: F(5) = E1: GOTO 1130
900 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
910 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
920 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
930 F(10) = A1: H(10) = C2: F(11) = B1: H(11) = D2: F(12) = A1: H(12) = D2
```

```

940 F(13) = B1: H(13) = C2: F(14) = E1: H(14) = C2: F(15) = E1: H(15) = D2
950 F(16) = C1: H(16) = A2: F(17) = C1: H(17) = C2: F(18) = C1: H(18) = E2
960 F(19) = C1: H(19) = D2: F(20) = C1: H(20) = B2: F(21) = D1: H(21) = A2
970 F(22) = D1: H(22) = C2: F(23) = D1: H(23) = E2: F(24) = D1: H(24) = D2
980 F(25) = D1: H(25) = B2: GOTO 1130
1130 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
1135 PRINT "IF I0=7 GOTO 1160-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1140 INPUT I0: IF I0 = 6 GOTO 40
1150 IF I0 = 7 GOTO 1160
1160 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЛАНУ Y(J) "
1161 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ Y(J)"
1165 FOR J = 1 TO X
1166 PRINT "Y("; J; ")": INPUT Y(J)
1170 PRINT #1, "Y("; J; ")="; Y(J): NEXT J
1180 PRINT "IF I0=1 GOTO 1160-ПОВТОРЕНИЕ ВВОДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ"
1185 PRINT "IF I0=2 GOTO 1230-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1190 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 1 GOTO 1160
1200 IF I0 = 2 GOTO 1230
1230 IF X = 5 GOTO 1330
1290 IF X = 25 GOTO 1390
1330 GOSUB 4290: GOTO 1410
1390 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOTO 1410
1410 S = 0: O(1) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Y(J): O(1) = O(1) + 1: NEXT J
1420 B(1) = S / O(1): S = 0: O(2) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Y(J)
1430 O(2) = O(2) + I(J) ^ 2: NEXT J: B(2) = S / O(2): S = 0: O(3) = 0
1440 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Y(J): O(3) = O(3) + K(J) ^ 2: NEXT J
1450 B(3) = S / O(3)
1470 IF X = 5 GOTO 2000
1480 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Y(J)
1490 O(4) = O(4) + P(J) ^ 2: NEXT J: B(4) = S / O(4): S = 0: O(5) = 0
1500 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Y(J): O(5) = O(5) + (I(J) * P(J)) ^ 2
1510 NEXT J: B(5) = S / O(5): S = 0: O(6) = 0: FOR J = 1 TO X
1520 S = S + Q(J) * Y(J): O(6) = O(6) + Q(J) ^ 2: NEXT J: B(6) = S / O(6)
1530 S = 0: O(7) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * Y(J)
1540 O(7) = O(7) + (I(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(7) = S / O(7): S = 0
1550 O(8) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * K(J) * Y(J)
1560 O(8) = O(8) + (P(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(8) = S / O(8): S = 0: O(9) = 0
1570 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Q(J) * Y(J): O(9) = O(9) + (K(J) * Q(J)) ^ 2
1580 NEXT J: B(9) = S / O(9)
1600 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J): O(10) = O(10) + U(J) ^ 2
1610 NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0: O(11) = 0: FOR J = 1 TO X
1620 S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(11) = O(11) + (I(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
1630 B(11) = S / O(11): S = 0: O(12) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * U(J) * Y(J)
1640 O(12) = O(12) + (K(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(12) = S / O(12)
1670 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + V(J) * Y(J)
1680 O(13) = O(13) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0
1690 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J): O(14) = O(14) + (I(J) * V(J)) ^ 2
1700 NEXT J: B(14) = S / O(14): S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X
1710 S = S + K(J) * V(J) * Y(J): O(15) = O(15) + (K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1720 B(15) = S / O(15)
1730 S = 0: O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(16) = O(16) + L(J) ^ 2
1740 NEXT J: B(16) = S / O(16): S = 0: O(17) = 0: FOR J = 1 TO X
1750 S = S + P(J) * L(J) * Y(J): O(17) = O(17) + (P(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1760 B(17) = S / O(17): S = 0: O(18) = 0: FOR J = 1 TO X
1770 S = S + Q(J) * L(J) * Y(J): O(18) = O(18) + (Q(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1780 B(18) = S / O(18): S = 0: O(19) = 0: FOR J = 1 TO X
1790 S = S + L(J) * U(J) * Y(J): O(19) = O(19) + (L(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J

1800 B(19) = S / O(19): S = 0: O(20) = 0: FOR J = 1 TO X
1810 S = S + L(J) * V(J) * Y(J): O(20) = O(20) + (L(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J

```

```

1820 B(20) = S / O(20)
1830 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
1840 O(21) = O(21) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21): S = 0: O(22) = 0
1850 FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * M(J) * Y(J): O(22) = O(22) + (P(J) * M(J)) ^ 2
1860 NEXT J: B(22) = S / O(22): S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X
1870 S = S + Q(J) * M(J) * Y(J): O(23) = O(23) + (Q(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J
1880 B(23) = S / O(23): S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * M(J) * Y(J)
1890 O(24) = O(24) + (U(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24): S = 0
1900 O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * V(J) * Y(J)
1910 O(25) = O(25) + (M(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
1920 IF X = 25 GOTO 2390
2000 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(4) = O(4) + L(J) ^ 2
2010 NEXT J: B(4) = S / O(4)
2020 S = 0: O(5) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
2030 O(5) = O(5) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(5) = S / O(5): GOTO 2390
2390 PRINT #1, "B(J) ДО АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2395 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J)
2397 NEXT J: PRINT
2400 PRINT "ВВОД N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2407 INPUT N0
2408 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2410 PRINT #1, "N0="; N0
2430 IF X = 5 GOTO 2530
2490 IF X = 25 GOTO 2590
2530 GOSUB 4420: GOTO 2610
2590 GOSUB 4690: GOTO 2610
2610 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)"
2620 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
2630 PRINT "ВВОД F8=N0-1": INPUT F8
2633 PRINT #1, "F8=N0-1="; F8
2635 PRINT "F8="; F8
2640 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
2641 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
2650 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ") - Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
2651 PRINT #1, "(Y("; J; ") - Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
2655 NEXT J
2660 PRINT "IF I0=3 ГОТО 2720-ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ "
2663 PRINT "          НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2666 PRINT "IF I0=4 ГОТО 2770-ВВОД ДИСПЕРСИИ ОПЫТОВ"
2670 PRINT "IF I0=5 ГОТО 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
2672 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2673 PRINT "IF I0=6 ГОТО 40-НАЧАЛО"
2677 PRINT "IF I0=20 ГОТО 6830-КОНЕЦ"
2678 PRINT "IF I0=25 ГОТО 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2679 PRINT "IF I0=27 ГОТО 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2681 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
2684 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2689 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 3 GOTO 2720
2690 IF I0 = 4 GOTO 2770
2700 IF I0 = 5 GOTO 3240
2710 IF I0 = 6 GOTO 40
2715 IF I0 = 20 GOTO 6830
2717 IF I0 = 25 GOTO 4880
2718 IF I0 = 27 GOTO 7000
2720 PRINT "ВВОД G(J)-РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2721 PRINT "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2722 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2723 PRINT #1, "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2724 FOR J = 1 TO N0: PRINT "G("; J; ")": INPUT G(J)
2730 PRINT #1, "G("; J; ")="; G(J): NEXT J: S = 0: FOR J = 1 TO N0: S = S + G(J)

```

```

2740 NEXT J: S0 = S / N0: PRINT "S0="; S0: S = 0: FOR J = 1 TO N0
2750 S = S + (G(J) - S0) ^ 2: NEXT J: U9 = S / F8
2751 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2760 GOTO 2780
2770 PRINT "ВВОД U9-ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ": INPUT U9
2771 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2780 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)": FOR J = 1 TO X
2790 T(J) = ABS(B(J) / SQR(U9 / O(J))): PRINT #1, "T("; J; ")="; T(J): NEXT J
2800 PRINT "          ДЛЯ УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ 5% "
2801 PRINT "          ПРИ F8  2  ; 3  ; 4; 5  ;6"
2802 PRINT "СООТВЕТСТВЕННО T0 4.303 ;3.182 ;2.776 ;2.571 ;2.447"
2803 PRINT "F8=N0-1="; N0; "-1="; F8
2804 PRINT "ВВОД T0-ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ"
2805 INPUT T0
2806 PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ T0="; T0
2810 PRINT #1, "B(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2820 IF T(J) < T0 GOTO 2840
2830 IF T(J) >= T0 GOTO 2850
2840 B(J) = 0
2850 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J): NEXT J
2860 K9 = 0: FOR J = 1 TO X: IF B(J) = 0 GOTO 2871
2870 K9 = K9 + 1
2871 NEXT J
2872 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ"
2873 PRINT #1, "          КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9="; K9
2881 PRINT #1, "F9=X-1": F9 = X - 1
2882 PRINT #1, "F9="; F9: CLS
2883 PRINT "! ! ЗНАЧЕНИЯ F-КРИТЕРИЯ F7 ДЛЯ 5%-ГО УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ"
2884 PRINT "! !-----"
2885 PRINT "!F8!          F9          "
2886 PRINT "! !-----"
2887 PRINT "! ! 2 ! 3 ! 4 ! 8 ! 11 ! 14 "
2888 PRINT "!-----"
2889 PRINT "! 2! 19.0 ! 19.16 ! 19.25 ! 19.37 ! 19.4 ! 19.42 "
2890 PRINT "! 3! 9.55 ! 9.28 ! 9.12 ! 8.84 ! 8.76 ! 8.71 "
2891 PRINT "! 4! 6.94 ! 6.59 ! 6.39 ! 6.04 ! 5.93 ! 5.87 "
2892 PRINT "! 5! 5.79 ! 5.41 ! 5.19 ! 4.82 ! 4.7 ! 4.64 "
2893 PRINT "! 6! 5.14 ! 4.76 ! 4.53 ! 4.15 ! 4.03 ! 3.96 "
2894 PRINT "!===== "
2895 PRINT "! F8 \ F9 ! 15...16 ! 19...20 ! 24 ! 26...30 !"
2896 PRINT "!-----"
2897 PRINT "! 2 !    19.43 ! 19.44 ! 19.45 ! 19.46 !"
2898 PRINT "! 3 !    8.69 ! 8.66 ! 8.64 ! 8.62 !"
2899 PRINT "! 4 !    5.84 ! 5.8 ! 5.77 ! 5.74 !"
2900 PRINT "! 5 !    4.6 ! 4.56 ! 4.53 ! 4.5 !"
2901 PRINT "! 6 !    3.92 ! 3.87 ! 3.84 ! 3.81 !"
2902 PRINT "!-----"
2907 PRINT "F8="; F8; "F9="; F9
2908 PRINT "ВВОД F7-ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ"
2909 INPUT F7: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7="; F7
2930 IF X = 5 GOTO 3030
2990 IF X = 25 GOTO 3090
3030 GOSUB 4420: GOTO 3110
3090 GOSUB 4690: GOTO 3110
3110 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ";
3115 PRINT #1, " Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА B(J)"
3120 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
3121 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
3122 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
3123 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ") - Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)

```

```

3124 PRINT #1, "(Y("; J; ") - Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
3125 NEXT J
3130 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + (Z(J) - Y(J)) ^ 2: NEXT J
3140 F6 = S / (F9 * U9)
3145 PRINT #1, "РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6="; F6
3150 IF F6 <= F7 GOTO 3152
3151 IF F6 > F7 GOTO 3153
3152 PRINT "АДЕКВАТНО": PRINT #1, "АДЕКВАТНО,ТАК КАК F6<=F7": GOTO 3154
3153 PRINT "НЕАДЕКВАТНО": PRINT #1, "НЕАДЕКВАТНО,ТАК КАК F6>F7": GOTO 3190
3154 PRINT #1, "СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ"
3155 PRINT #1, "ДЛЯ АНАЛИЗОВ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ"
3156 PRINT #1, "ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
3157 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + ABS(Z(J)): NEXT J
3158 Z1 = 0: FOR J = 1 TO X: Z1(J) = Z(J) / (S / X): NEXT J
3159 PRINT #1, "ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
3160 PRINT #1, "Z1(J)=Z(J)/(S/X),ГДЕ S-СУММА"
3161 PRINT #1, "АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ,S="; S
3162 PRINT #1, "S/X-СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА,S/X="; S / X
3168 IF X = 5 GOTO 3178

3169 IF X = 25 GOTO 3179
3178 GOSUB 11580: GOTO 3190
3179 GOSUB 11640: GOTO 3190
3190 PRINT "IF I0=7 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
3193 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3194 PRINT "IF I0=8 GOTO 40-НАЧАЛО"
3197 PRINT "IF I0=17 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3198 PRINT "IF I0=22 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3200 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3203 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3207 PRINT "IF I0=9 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3210 IF I0 = 7 GOTO 3240
3220 IF I0 = 8 GOTO 40
3227 IF I0 = 17 GOTO 4880
3228 IF I0 = 22 GOTO 7000
3230 IF I0 = 9 GOTO 6830
3240 PRINT "ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3241 PRINT "F(S),H(S)-1, 2-Й ФАКТОРЫ,"
3243 PRINT "ГДЕ S=X="; X; "-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ"
3245 PRINT #1, "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3270 IF X = 5 GOTO 3350
3330 IF X = 25 GOTO 3420
3350 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; ") "
3360 INPUT F(S): PRINT #1, "ФАКТОР F("; S; ")="; F(S)
3380 IF X = 5 GOTO 3410
3410 GOSUB 4290: GOSUB 4420: GOTO 3412
3412 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3420 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: Z(S) = 0
3430 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; ")": INPUT F(S), H(S)
3432 PRINT #1, " ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S); "H("; S; ")="; H(S)
3490 IF X = 25 GOTO 3550
3550 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690: GOTO 3552
3552 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3610 PRINT "IF I0=10 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И ";
3611 PRINT "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3612 PRINT "IF I0=11 GOTO 4880 - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3615 PRINT "IF I0=14 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3616 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3617 PRINT "          ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3620 PRINT "IF I0=12 GOTO 6830-КОНЕЦ"

```

```

3625 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3630 IF I0 = 10 GOTO 3240
3640 IF I0 = 11 GOTO 4880
3650 IF I0 = 12 GOTO 6830
3653 IF I0 = 14 GOTO 7000
3860 N0 = (A ^ N + B ^ N + C ^ N + D ^ N + E ^ N) / 5
3870 R0 = (A ^ R + B ^ R + C ^ R + D ^ R + E ^ R) / 5

3880 S0 = (A ^ S + B ^ S + C ^ S + D ^ S + E ^ S) / 5
3890 W0 = (A ^ W + B ^ W + C ^ W + D ^ W + E ^ W) / 5
3900 L2 = 2 * N: N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + C ^ L2 + D ^ L2 + E ^ L2) / 5
3910 K2 = 2 * R: R3 = (A ^ K2 + B ^ K2 + C ^ K2 + D ^ K2 + E ^ K2) / 5
3920 M2 = 2 * S: S3 = (A ^ M2 + B ^ M2 + C ^ M2 + D ^ M2 + E ^ M2) / 5
3930 N4 = N + R: N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + C ^ N4 + D ^ N4 + E ^ N4) / 5
3940 N6 = N + S: N7 = (A ^ N6 + B ^ N6 + C ^ N6 + D ^ N6 + E ^ N6) / 5
3950 N8 = N + W: N9 = (A ^ N8 + B ^ N8 + C ^ N8 + D ^ N8 + E ^ N8) / 5
3960 R4 = R + S: R5 = (A ^ R4 + B ^ R4 + C ^ R4 + D ^ R4 + E ^ R4) / 5
3970 R6 = R + W: R7 = (A ^ R6 + B ^ R6 + C ^ R6 + D ^ R6 + E ^ R6) / 5
3980 S4 = S + W: S5 = (A ^ S4 + B ^ S4 + C ^ S4 + D ^ S4 + E ^ S4) / 5
3990 V0 = -N0: U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
4000 P0 = (N0 * S0 - N7) / (N3 - N0 ^ 2): Z1 = R0 * S0 - R5 + P0 * (N0 * R0 - N5)
4010 Z2 = U0 * (N0 * S0 - N7) + U0 * P0 * (N0 ^ 2 - N3)
4020 Z3 = R3 - R0 ^ 2 + 2 * U0 * (N5 - N0 * R0)
4030 I0 = (Z1 + Z2) / (Z3 + (N3 - N0 ^ 2) * U0 ^ 2): M0 = I0 * U0 + P0
4040 F0 = -(S0 + I0 * R0 + M0 * N0): Z4 = R0 + U0 * N0
4050 Z5 = Z4 * N0 - N5 - U0 * N3: Z6 = R3 + U0 * N5 - Z4 * R0 - Z5 * U0
4060 Z7 = Z4 * S0 + Z5 * P0 - R5 - U0 * N7: Z0 = (N0 * W0 - N9) / (N3 - N0 ^ 2)
4070 Z8 = Z5 * Z0 + Z4 * W0 - R7 - U0 * N9: Z9 = S3 + I0 * R5 + M0 * N7
4080 T7 = R5 + I0 * R3 + M0 * N5: T8 = N7 + I0 * N5 + M0 * N3
4090 T9 = S0 + I0 * R0 + M0 * N0: G3 = S5 + I0 * R7 + M0 * N9
4100 G4 = T9 * N0 - T8: G5 = Z9 - T9 * S0 - G4 * P0
4110 G6 = T9 * R0 - T7 + G4 * U0: G7 = G4 * Z0 + T9 * W0 - G3
4120 G0 = (Z6 * G7 + Z8 * G6) / (Z6 * G5 - Z7 * G6): H0 = (G0 * Z7 + Z8) / Z6
4130 K0 = G0 * P0 + H0 * U0 + Z0: L0 = -(W0 + G0 * S0 + H0 * R0 + K0 * N0)
4140 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
4290 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1
4300 K(J) = F(J) ^ O1 + U1 * F(J) ^ J1 + Q1
4310 L(J) = F(J) ^ P1 + I1 * F(J) ^ O1 + M1 * F(J) ^ J1 + F1
4320 M(J) = F(J) ^ T1 + G1 * F(J) ^ P1 + H1 * F(J) ^ O1 + K1 * F(J) ^ J1 + L1
4330 NEXT J: RETURN
4340 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2
4350 Q(J) = H(J) ^ O2 + U2 * H(J) ^ J2 + Q2
4360 U(J) = H(J) ^ P2 + I2 * H(J) ^ O2 + M2 * H(J) ^ J2 + F2
4370 V(J) = H(J) ^ T2 + G2 * H(J) ^ P2 + H2 * H(J) ^ O2 + K2 * H(J) ^ J2 + L2
4380 NEXT J: RETURN
4420 FOR J = 1 TO X
4430 Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * L(J) + B(5) * M(J)
4440 NEXT J: RETURN
4690 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4700 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4710 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4720 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J) + B(15) * K(J) * V(J)
4730 N7 = B(16) * L(J) + B(17) * P(J) * L(J) + B(18) * Q(J) * L(J) + B(19) * L(J) * U(J)
4740 R3 = B(20) * L(J) * V(J) + B(21) * M(J) + B(22) * P(J) * M(J)
4750 R4 = B(23) * Q(J) * M(J) + B(24) * U(J) * M(J) + B(25) * M(J) * V(J)
4760 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R3 + R4: NEXT J: RETURN
4880 PRINT #1, "МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
4902 IF X = 5 GOTO 6100
4907 IF X = 25 GOTO 6480
6100 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+";

```

```

6110 PRINT #1, "+"; B(4); "*"L(J)+"; B(5); "*"M(J),"
6120 IF X = 5 GOTO 6600
6480 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*"I(J)+"; B(3); "*"K(J)+
6490 PRINT #1, "+"; B(4); "*"P(J)+"; B(5); "*"I(J)*P(J)+
6500 PRINT #1, "+"; B(6); "*"Q(J)+"; B(7); "*"I(J)*Q(J)+
6510 PRINT #1, "+"; B(8); "*"P(J)*Q(J)+"; B(9); "*"K(J)*Q(J)+
6520 PRINT #1, "+"; B(10); "*"U(J)+"; B(11); "*"I(J)*U(J)+
6530 PRINT #1, "+"; B(12); "*"K(J)*U(J)+"; B(13); "*"V(J)+
6540 PRINT #1, "+"; B(14); "*"I(J)*V(J)+"; B(15); "*"I(J)*V(J)+
6550 PRINT #1, "+"; B(16); "*"L(J)+"; B(17); "*"P(J)*L(J)+
6560 PRINT #1, "+"; B(18); "*"Q(J)*L(J)+"; B(19); "*"L(J)*U(J)+
6570 PRINT #1, "+"; B(20); "*"L(J)*V(J)+"; B(21); "*"M(J)+
6580 PRINT #1, "+"; B(22); "*"P(J)*M(J)+"; B(23); "*"Q(J)*M(J)+
6590 PRINT #1, "+"; B(24); "*"U(J)*M(J)+"; B(25); "*"M(J)*V(J),"
6600 PRINT #1, "ГДЕ"
6610 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1; ";"
6620 PRINT #1, "K(J)=F(J)^"; O1; "+"; U1; "*"F(J)^"; J1; "+"; Q1
6621 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6650 PRINT #1, "L(J)=F(J)^"; P1; "+"; I1; "*"F(J)^"; O1; "+"
6660 PRINT #1, "+"; M1; "F(J)^"; J1; "+"; F1
6661 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6680 PRINT #1, "M(J)=F(J)^"; T1; "+"; G1; "*"F(J)^"; P1; "+"
6690 PRINT #1, "+"; H1; "*"F(J)^"; O1; "+"; K1; "*"F(J)^"; I1; "+"; L1
6691 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6700 IF X = 5 GOTO 6790
6710 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2; ";"
6720 PRINT #1, "Q(J)=H(J)^"; O2; "+"; U2; "*"H(J)^"; J2; "+"; Q2; ";"
6730 PRINT #1, "U(J)=H(J)^"; P2; "+"; I2; "*"H(J)^"; O2; "+"
6740 PRINT #1, "+"; M2; "*"H(J)^"; J2; "+"; F2
6741 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6760 PRINT #1, "V(J)=H(J)^"; T2; "+"; G2; "*"H(J)^"; P2; "+"
6770 PRINT #1, "+"; H2; "*"H(J)^"; O2; "+"; K2; "*"H(J)^"; J2; "+"
6780 PRINT #1, "+"; L2
6781 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6790 PRINT "IF I0=18 GOTO 2660-ПЕРЕХОДЫ"
6792 PRINT "IF I0=19 GOTO 3190-ПЕРЕХОДЫ "
6793 PRINT "IF I0=35 GOTO 1160-ВВОД НОВЫХ Y(J)"
6795 PRINT "IF I0=44 GOTO 6830-КОНЕЦ"
6796 PRINT "IF I0=50 GOTO 40-НАЧАЛО"
6797 PRINT "IF I0=51 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
6798 PRINT "          РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
6799 PRINT "IF I0=52 GOTO 7000-"
6800 PRINT "          ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
6802 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
6803 PRINT "          И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
6805 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
6810 IF I0 = 18 GOTO 2660
6820 IF I0 = 19 GOTO 3190
6823 IF I0 = 35 GOTO 1160
6825 IF I0 = 44 GOTO 6830
6827 IF I0 = 50 GOTO 40
6828 IF I0 = 51 GOTO 3240
6829 IF I0 = 52 GOTO 7000
6830 CLOSE #1
6832 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ СМОТРИ В ";
6835 PRINT "ФАЙЛЕ "; FAS$
6840 END
7000 PRINT #1, "ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
7004 PRINT #1, " ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
7005 PRINT #1, " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ"

```

```

7006 PRINT #1, "И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
7010 PRINT "ВВОД I0=61 GOTO 7195"
7040 PRINT "IF I0=64 GOTO 40-НАЧАЛО"

7050 PRINT "IF I0=65 GOTO 6830-КОНЕЦ"
7060 INPUT I0
7070 IF I0 = 61 GOTO 7195
7100 IF I0 = 64 GOTO 40
7110 IF I0 = 65 GOTO 6830
7195 PRINT "ВВОД I0=75 ПРИ X = 5; TO = 81 ПРИ X = 25"
7200 INPUT I0
7203 IF I0 = 75 GOTO 7210
7204 IF I0 = 81 GOTO 7360
7210 F3 = 0: F4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7213 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7215 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7220 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7225 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7226 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7227 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7230 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4"
7240 INPUT X, F3, F4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7250 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7255 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7310 GOSUB 4290: GOSUB 4420
7320 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7325 NEXT K5: GOTO 8001
7360 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7361 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7365 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7370 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7371 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7380 PRINT #1, "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7381 PRINT "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7390 PRINT #1, "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7391 PRINT "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7392 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7393 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7400 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4"
7410 INPUT X, F3, F4, H3, H4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7420 PRINT #1, "H3="; H3; "H4="; H4
7430 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7435 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7440 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7500 IF I0 = 81 GOTO 7560
7560 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690
7570 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7575 NEXT K5: GOTO 8001
8001 PRINT #1, "ВЫЯВЛЕНИЕ МАХ Z(K5) И MIN Z(K5)": K8 = 0: K8 = Z(1)
8002 PRINT "ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
8004 INPUT I0
8010 FOR K5 = 1 TO X
8020 IF Z(K5) >= K8 THEN K8 = Z(K5)
8040 NEXT K5: PRINT #1, "МАХ Z(K5)="; K8
8041 FOR K5 = 1 TO X
8042 IF Z(K5) = K8 THEN PRINT #1, "МАХ Z("; K5; ")="; Z(K5)
8044 NEXT K5
8050 K7 = 0: K7 = Z(1)
8060 FOR K5 = 1 TO X
8070 IF Z(K5) <= K7 THEN K7 = Z(K5)

```

```

8090 NEXT K5: PRINT #1, "MIN Z(K5)="; K7
8091 FOR K5 = 1 TO X
8092 IF Z(K5) = K7 THEN PRINT #1, "MIN Z("; K5; ")="; Z(K5)
8094 NEXT K5: K6 = 0: PRINT #1, "MIN Z(K5)=K7, MAX Z(K5)=K8"
8095 PRINT #1, "K6(K5)=(Z(K5)+ABS(K7))/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8096 FOR K5 = 1 TO X: K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8097 PRINT #1, "K6("; K5; ")="; K6(K5): NEXT K5
8098 J5 = 0: J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8099 PRINT #1, "J5=ABS(K7)/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8111 PRINT #1, "J5="; J5
8112 PRINT "IF I0=70 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ ";
8113 PRINT " ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) ";
8114 PRINT " И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
8115 PRINT "IF I0=80 GOTO 9000-ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
8120 INPUT I0
8125 IF I0 = 70 GOTO 7000
8130 IF I0 = 80 GOTO 9000
9000 PRINT "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3
9001 K0 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K4 = X: K7 = 0: K8 = 0: X0 = 0: Y0 = 0
9010 PRINT #1, "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
9015 PRINT #1, "ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА"
9020 PRINT #1, "K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
9025 PRINT #1, "K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ"
9030 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ "
9035 PRINT "ВВОД: X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО X0=20)"
9036 PRINT " Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО Y0=180)"
9037 PRINT " K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9038 PRINT " K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9045 INPUT X0, Y0, K0, K3
9046 PRINT #1, "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3; ", ГДЕ"
9047 PRINT #1, " X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X "
9048 PRINT #1, " Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y "
9049 PRINT #1, " K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9050 PRINT #1, " K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9054 KEY OFF: CLS
9055 COLOR 0, 0: SCREEN 2
9056 FOR K5 = 1 TO K4: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9057 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5)): NEXT K5
9059 J6 = 0: J6 = X - 1: J7 = 0: J8 = 0: J9 = 0: K7 = 0: K8 = 0: J9 = K3 * J5
9060 FOR K5 = 1 TO J6: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9061 J7(K5) = (K5 + 1) * K0: J8(K5) = K3 * K6(K5 + 1)
9062 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(J7(K5) - X0, Y0)
9063 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - J9)-(J7(K5) - X0, Y0 - J9)
9065 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))-(J7(K5) - X0, Y0 - J8(K5)): NEXT K5
9071 A$ = ""
9072 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 9072
9073 SCREEN 0: CLS : COLOR 2, 0
9074 PRINT "ВВОД I0=75 GOTO 9000-ПОВТОРЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА"

9075 PRINT "ВВОД I0=85 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ"
9076 PRINT " ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
9078 PRINT " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
9079 PRINT " И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
9080 PRINT "ВВОД I0=95 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT
9081 INPUT I0
9083 IF I0 = 75 GOTO 9000
9090 IF I0 = 85 GOTO 7000
9095 IF I0 = 95 GOTO 6830
11580 PRINT #1, "1.1."; "A1="; A1; "Z(1)="; Z(1); "Z1(1)="; Z1(1)
11590 PRINT #1, "1.2."; "C1="; C1; "Z(3)="; Z(3); "Z1(3)="; Z1(3)

```

```

11600 PRINT #1, "1.3."; "E1="; E1; "Z(5)="; Z(5); "Z1(5)="; Z1(5)
11610 PRINT #1, "1.4."; "D1="; D1; "Z(4)="; Z(4); "Z1(4)="; Z1(4)
11620 PRINT #1, "1.5."; "B1="; B1; "Z(2)="; Z(2); "Z1(2)="; Z1(2)
11630 RETURN
11640 PRINT #1, "1.1."; "A2="; A2; "A1="; A1; "Z(1)="; Z(1); "Z1(1)="; Z1(1)
11650 PRINT #1, "1.2."; "A2="; A2; "C1="; C1; "Z(16)="; Z(16); "Z1(16)="; Z1(16)
11660 PRINT #1, "1.3."; "A2="; A2; "E1="; E1; "Z(7)="; Z(7); "Z1(7)="; Z1(7)
11670 PRINT #1, "1.4."; "A2="; A2; "D1="; D1; "Z(21)="; Z(21); "Z1(21)="; Z1(21)
11680 PRINT #1, "1.5."; "A2="; A2; "B1="; B1; "Z(2)="; Z(2); "Z1(2)="; Z1(2)
11690 PRINT #1, "2.1."; "C2="; C2; "A1="; A1; "Z(10)="; Z(10); "Z1(10)="; Z1(10)
11700 PRINT #1, "2.2."; "C2="; C2; "C1="; C1; "Z(17)="; Z(17); "Z1(17)="; Z1(17)
11710 PRINT #1, "2.3."; "C2="; C2; "E1="; E1; "Z(14)="; Z(14); "Z1(14)="; Z1(14)
11720 PRINT #1, "2.4."; "C2="; C2; "D1="; D1; "Z(22)="; Z(22); "Z1(22)="; Z1(22)
11730 PRINT #1, "2.5."; "C2="; C2; "B1="; B1; "Z(13)="; Z(13); "Z1(13)="; Z1(13)
11740 PRINT #1, "3.1."; "E2="; E2; "A1="; A1; "Z(5)="; Z(5); "Z1(5)="; Z1(5)
11750 PRINT #1, "3.2."; "E2="; E2; "C1="; C1; "Z(18)="; Z(18); "Z1(18)="; Z1(18)
11760 PRINT #1, "3.3."; "E2="; E2; "E1="; E1; "Z(9)="; Z(9); "Z1(9)="; Z1(9)
11770 PRINT #1, "3.4."; "E2="; E2; "D1="; D1; "Z(23)="; Z(23); "Z1(23)="; Z1(23)
11780 PRINT #1, "3.5."; "E2="; E2; "B1="; B1; "Z(6)="; Z(6); "Z1(6)="; Z1(6)
11790 PRINT #1, "4.1."; "D2="; D2; "A1="; A1; "Z(12)="; Z(12); "Z1(12)="; Z1(12)
11800 PRINT #1, "4.2."; "D2="; D2; "C1="; C1; "Z(19)="; Z(19); "Z1(19)="; Z1(19)
11810 PRINT #1, "4.3."; "D2="; D2; "E1="; E1; "Z(15)="; Z(15); "Z1(15)="; Z1(15)
11820 PRINT #1, "4.4."; "D2="; D2; "D1="; D1; "Z(24)="; Z(24); "Z1(24)="; Z1(24)
11830 PRINT #1, "4.5."; "D2="; D2; "B1="; B1; "Z(11)="; Z(11); "Z1(11)="; Z1(11)
11840 PRINT #1, "5.1."; "B2="; B2; "A1="; A1; "Z(3)="; Z(3); "Z1(3)="; Z1(3)
11850 PRINT #1, "5.2."; "B2="; B2; "C1="; C1; "Z(20)="; Z(20); "Z1(20)="; Z1(20)
11860 PRINT #1, "5.3."; "B2="; B2; "E1="; E1; "Z(8)="; Z(8); "Z1(8)="; Z1(8)
11870 PRINT #1, "5.4."; "B2="; B2; "D1="; D1; "Z(25)="; Z(25); "Z1(25)="; Z1(25)
11880 PRINT #1, "5.5."; "B2="; B2; "B1="; B1; "Z(4)="; Z(4); "Z1(4)="; Z1(4)
11890 PRINT #1, "6.1."; "A1="; A1; "A2="; A2; "Z(1)="; Z(1); "Z1(1)="; Z1(1)
11900 PRINT #1, "6.2."; "A1="; A1; "C2="; C2; "Z(10)="; Z(10); "Z1(10)="; Z1(10)
11910 PRINT #1, "6.3."; "A1="; A1; "E2="; E2; "Z(5)="; Z(5); "Z1(5)="; Z1(5)
11920 PRINT #1, "6.4."; "A1="; A1; "D2="; D2; "Z(12)="; Z(12); "Z1(12)="; Z1(12)
11930 PRINT #1, "6.5."; "A1="; A1; "B2="; B2; "Z(3)="; Z(3); "Z1(3)="; Z1(3)
11940 PRINT #1, "7.1."; "C1="; C1; "A2="; A2; "Z(16)="; Z(16); "Z1(16)="; Z1(16)
11950 PRINT #1, "7.2."; "C1="; C1; "C2="; C2; "Z(17)="; Z(17); "Z1(17)="; Z1(17)
11960 PRINT #1, "7.3."; "C1="; C1; "E2="; E2; "Z(18)="; Z(18); "Z1(18)="; Z1(18)
11970 PRINT #1, "7.4."; "C1="; C1; "D2="; D2; "Z(19)="; Z(19); "Z1(19)="; Z1(19)
11980 PRINT #1, "7.5."; "C1="; C1; "B2="; B2; "Z(20)="; Z(20); "Z1(20)="; Z1(20)
11990 PRINT #1, "8.1."; "E1="; E1; "A2="; A2; "Z(7)="; Z(7); "Z1(7)="; Z1(7)
12000 PRINT #1, "8.2."; "E1="; E1; "C2="; C2; "Z(14)="; Z(14); "Z1(14)="; Z1(14)
12010 PRINT #1, "8.3."; "E1="; E1; "E2="; E2; "Z(9)="; Z(9); "Z1(9)="; Z1(9)
12020 PRINT #1, "8.4."; "E1="; E1; "D2="; D2; "Z(15)="; Z(15); "Z1(15)="; Z1(15)
12030 PRINT #1, "8.5."; "E1="; E1; "B2="; B2; "Z(8)="; Z(8); "Z1(8)="; Z1(8)
12040 PRINT #1, "9.1."; "D1="; D1; "A2="; A2; "Z(21)="; Z(21); "Z1(21)="; Z1(21)
12050 PRINT #1, "9.2."; "D1="; D1; "C2="; C2; "Z(22)="; Z(22); "Z1(22)="; Z1(22)
12060 PRINT #1, "9.3."; "D1="; D1; "E2="; E2; "Z(23)="; Z(23); "Z1(23)="; Z1(23)
12070 PRINT #1, "9.4."; "D1="; D1; "D2="; D2; "Z(24)="; Z(24); "Z1(24)="; Z1(24)
12080 PRINT #1, "9.5."; "D1="; D1; "B2="; B2; "Z(25)="; Z(25); "Z1(25)="; Z1(25)
12090 PRINT #1, "10.1."; "B1="; B1; "A2="; A2; "Z(2)="; Z(2); "Z1(2)="; Z1(2)
12100 PRINT #1, "10.2."; "B1="; B1; "C2="; C2; "Z(13)="; Z(13); "Z1(13)="; Z1(13)
12110 PRINT #1, "10.3."; "B1="; B1; "E2="; E2; "Z(6)="; Z(6); "Z1(6)="; Z1(6)
12120 PRINT #1, "10.4."; "B1="; B1; "D2="; D2; "Z(11)="; Z(11); "Z1(11)="; Z1(11)
12130 PRINT #1, "10.5."; "B1="; B1; "B2="; B2; "Z(4)="; Z(4); "Z1(4)="; Z1(4)
12140 RETURN

```

ПРОГРАММА NW5 НА ЯЗЫКЕ ТУРБО ПАСКАЛЬ
(три модуля tpg3, _X=5_, _X=25_, «система» после «адекватно»)

```
program tpg3_1;
{Математическое моделирование}
uses tpg3_3, tpg3_2;
label 1,2,3,4,5;
procedure VV_DAN;
begin
  case X of
  5: begin
    VVOD51;
    GB3860(A1,B1,C1,D1,E1,J1,O1,P1,T1,V1,U1,
    Q1,I1,M1,F1,G1,H1,K1,L1);
    writeln('Коэффициенты ортогонализации');
    writeln(F0,'Коэффициенты ортогонализации');
    writeln('V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
    writeln('I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
    writeln('G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
    writeln('L1=',L1);
    writeln(F0,'V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
    writeln(F0,'I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
    writeln(F0,'G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
    writeln(F0,'L1=',L1);
  end;
  25:begin
    VVOD51;
    GB3860(A1,B1,C1,D1,E1,J1,O1,P1,T1,V1,U1,
    Q1,I1,M1,F1,G1,H1,K1,L1);
    writeln('Коэффициенты ортогонализации');
    writeln(F0,'Коэффициенты ортогонализации');
    writeln('V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
    writeln('I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
    writeln('G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
    writeln('L1=',L1);
    writeln(F0,'V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
    writeln(F0,'I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
    writeln(F0,'G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
    writeln(F0,'L1=',L1);
    VVOD52;
    GB3860(A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2,V2,U2,
    Q2,I2,M2,F2,G2,H2,K2,L2);
    writeln('Коэффициенты ортогонализации');
    writeln(F0,'Коэффициенты ортогонализации');
    writeln('V2=',V2,' U2=',U2,' Q2=',Q2);
    writeln('I2=',I2,' M2=',M2,' F2=',F2);
    writeln('G2=',G2,' H2=',H2,' K2=',K2);
    writeln('L2=',L2);
    writeln(F0,'V2=',V2,' U2=',U2,' Q2=',Q2);
    writeln(F0,'I2=',I2,' M2=',M2,' F2=',F2);
    writeln(F0,'G2=',G2,' H2=',H2,' K2=',K2);
    writeln(F0,'L2=',L2);
  end;
end; {case}
end; {VV_DAN}
procedure OUT_Z_B;
begin
  writeln('Расчетные показатели Z(J) до анализа B(J)');
```

```

writeln(F0,'Расчетные показатели Z(J) до анализа B(J)');
writeln(F0,'
writeln(F0,'
writeln(F0,'
writeln(F0,'
for J:=1 to X do
begin
writeln(F0,'
write(F0,'
writeln(F0,(Y[J]-Z[J]):10,'
write('
writeln((Y[J]-Z[J]):10,'
end;
writeln(F0,'
end;
}
=====
                    Основная программа
=====
}
begin
1: for J:=1 to 25 do writeln;
writeln(' Программа на языке Турбо-Паскаль состоит из трех');
writeln(' файлов tpg3_1,tpg3_2,tpg3_3(nw5_1,nw5_2,nw5-3). Математическое');
writeln(' моделирование на основе планирования экспериментов. ');
writeln(' Переложение с языка Бейсик программы GGN3. ');
writeln(' Разработка Черного А.А. ');
writeln(' Автор Chernyy Anatoly Alekseevch');
writeln('Введите имя файла для вывода resultant (без расширения)');
readln(NAME);
Assign(F0, (NAME+'.dat'));
Rewrite(F0);
writeln(F0,'Выполнение программы математического моделирования');
writeln(F0,' tpg3_1(nw5_1). (Программа на языке Турбо-Паскаль. ');
writeln(F0,' Автор Chernyy Anatoly Alekseevch');
writeln(' _X=5_, _X=25_ ');
J:=0;X:=0;F3:=0;F4:=0;H3:=0;H4:=0;
L3:=0;L4:=0;K3:=0;K4:=0;K5:=0;
K7:=0;K8:=0;K0:=0;X0:=0;Y0:=0;J5:=0;
J6:=0;J9:=0;S:=0;
writeln('Если X=0, то выход из программы');
write('X=');readln(X);
writeln(F0,'X=',X);
for J:=1 to X do
begin
F[J]:=0; H[J]:=0; L[J]:=0; Z[J]:=0; KK5[J]:=0;
KK6[J]:=0; KK7[J]:=0; J7[J]:=0; J8[J]:=0;
JJ9[J]:=0;
end;
VV_DAN;
if X=0 then goto 2;
PR_MOD;
3:writeln('-----<Меню 1>-----');
writeln('Если I0=6, то переход в начало');
writeln('Если I0=7, то продолжение и');
writeln('ввод величин показателей Y(J)');
write('I0='); readln(I0);
if I0=6 then goto 1;
writeln('Ввод величин показателей Y(J)');
writeln(F0,'Показатели Y(J)');
for J:=1 to X do
begin

```

```

write('Y(',J,')=');
readln(Y[J]);
writeln(F0,'Y(',J,')=',Y[J]);
end;
case X of
5: GB4290;
25:begin
GB4290; GB4340;
end;
end; {case}
GB1410;
case X of
5: begin GB2000; GB2020; end;
25:begin GB1480; GB1600; GB1670; GB1730; GB1830; end;
end;
writeln('B(J) до анализа');
writeln(F0,'B(J) до анализа');
for J:=1 to X do
begin
writeln('B(',J,')=',B[J]);
writeln(F0,'B(',J,')=',B[J]);
end;
case X of
5: GB4420;
25:GB4690;
else goto 2;
end;
OUT_Z_B;
4:writeln('-----<Меню 2>-----');
writeln('Если I0=3, то ввод результатов опытов');
writeln('на среднем уровне факторов');
writeln('Если I0=4, то ввод дисперсии опытов');
writeln('Если I0=5, то проверка точности и расчеты по модели');
writeln('Если I0=6, то переход в начало программы');
writeln('Если I0=20, то переход в конец программы');
writeln('Если I0=25, то вывод математической модели');
writeln('Если I0=27, то вычисление показателей Z(K5)');
writeln('с использованием циклов');
writeln('Если I0=30, то переход к меню 1');
write('Ввод I0=');
readln(I0);
if I0=6 then goto 1;
if I0=20 then goto 2;
if I0=30 then goto 3;
if I0=25 then begin GB4880; goto 2; end;
if I0=27 then begin GB7000; goto 2; end;
if (I0=3)or(I0=4) then
begin
writeln('Ввод N0-количество опытов на среднем уровне факторов');
readln(N0);
writeln(F0,'Количество опытов на среднем уровне факторов N0=',N0);
writeln('Ввод F8=N0-1');
readln(F8);
writeln(F0,'F8=N0-1=',F8);
end;
if I0=3 then
begin
writeln('Ввод G(J)-результаты опытов');
writeln('на среднем уровне факторов');
writeln(F0,'G(J)-результаты опытов');

```

```

writeln(F0,'на среднем уровне факторов');
for J:=1 to N0 do
begin
write('G(',J,')=');
readln(G[J]);
writeln(F0,'G(',J,')=',G[J]);
end;
SS:=0;
for J:=1 to N0 do SS:=SS+G[J];
S0:=SS/N0;
writeln('S0=',S0); SS:=0;
for J:=1 to N0 do SS:=SS+(G[J]-S0)*(G[J]-S0);
U9:=SS/F8;
writeln('Дисперсия опытов U9=',U9);
writeln(F0,'Дисперсия опытов U9=',U9);
end;
if I0=4 then
begin
writeln('Ввод U9-дисперсия опытов');
readln(U9);
writeln(F0,'Дисперсия опытов U9=',U9);
end;
if not(I0=5) then
begin
writeln('Расчетные величины T(J)');
writeln(F0,'Расчетные величины T(J)');
for J:=1 to X do
begin
T[J]:=abs(B[J]/sqrt(U9/O[J]));
writeln('T(',J,')=',T[J]);
writeln(F0,'T(',J,')=',T[J]);
end;
writeln('


|                          |       |       |       |       |       |  |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Для уровня значимости 5% |       |       |       |       |       |  |
| F8                       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |  |
| T0                       | 4,303 | 3,182 | 2,776 | 2,571 | 2,447 |  |


');
writeln('F8=N0-1=',N0,-1=',F8:1);
writeln('Ввод T0-табличного T-критерия');
readln(T0);
writeln(F0,'Табличный T-критерий T0=',T0:5:3);
writeln('B(J) после анализа');
writeln(F0,'B(J) после анализа');
for J:=1 to X do
begin
if T[J]<T0 then B[J]:=0;
writeln('B(',J,')=',B[J]);
writeln(F0,'B(',J,')=',B[J]);
end;
K9:=0;
for J:=1 to X do
begin
if B[J]=0 then K9:=K9+1;
end;
writeln('Количество статистически значимых');
writeln('коэффициентов регрессии');
writeln('K9=',K9);
writeln('F9=X-1');

```

```

F9:=X-1;
writeln('F9=',F9);
writeln(F0,'Количество статистически значимых');
writeln(F0,'коэффициентов регрессии');
writeln(F0,'K9=',K9);
writeln(F0,'F9=X-1');
F9:=X-1;
writeln(F0,'F9=',F9);
tablF9;
writeln('F8=',F8:2,' F9=',F9:2);
writeln('Ввод F7-табличного F-критерия');
readln(F7);
writeln(F0,'Табличный F-критерий F7=',F7);
case X of
  5: GB4420;
  25:GB4690;
  else goto 2;
end;
writeln('Расчетные величины показателя');
writeln('Z(J) после анализа B(J)');
writeln(F0,'Расчетные величины показателя');
writeln(F0,'Z(J) после анализа B(J)');
for J:=1 to X do
  begin
    writeln('Z(',J,')=',Z[J]);
    writeln(F0,'Z(',J,')=',Z[J]);
  end;
SS:=0;
for J:=1 to X do
  SS:=SS+(Z[J]-Y[J])*(Z[J]-Y[J]);
  F6:=SS/(F9*U9);
  writeln('Расчетная величина F-критерия F6=',F6);
  writeln(F0,'Расчетная величина F-критерия F6=',F6);
  if F6<=F7 then
    begin
      writeln('Адекватно, так как F6<=F7');
      writeln(F0,'Адекватно, так как F6<=F7');
    end;
  if F6>F7 then
    begin
      writeln('Неадекватно, так как F6>F7');
      writeln(F0,'Неадекватно, так как F6>F7');
    end;
if X=25 then
  begin
    writeln(F0,'X=25. System, 1.1 - 10.5, finish 10.5. ');
    writeln(F0,'1.1.', 'A2=',A2,'A1=',A1,'Z(1)=' ,Z[1]);
    writeln(F0,'1.2.', 'A2=',A2,'C1=',C1,'Z(16)=' ,Z[16]);
    writeln(F0,'1.3.', 'A2=',A2,'E1=',E1,'Z(7)=' ,Z[7]);
    writeln(F0,'1.4.', 'A2=',A2,'D1=',D1,'Z(21)=' ,Z[21]);
    writeln(F0,'1.5.', 'A2=',A2,'B1=',B1,'Z(2)=' ,Z[2]);
    writeln(F0,'2.1.', 'C2=',C2,'A1=',A1,'Z(10)=' ,Z[10]);
    writeln(F0,'2.2.', 'C2=',C2,'C1=',C1,'Z(17)=' ,Z[17]);
    writeln(F0,'2.3.', 'C2=',C2,'E1=',E1,'Z(14)=' ,Z[14]);
    writeln(F0,'2.4.', 'C2=',C2,'D1=',D1,'Z(22)=' ,Z[22]);
    writeln(F0,'2.5.', 'C2=',C2,'B1=',B1,'Z(13)=' ,Z[13]);
    writeln(F0,'3.1.', 'E2=',E2,'A1=',A1,'Z(5)=' ,Z[5]);
    writeln(F0,'3.2.', 'E2=',E2,'C1=',C1,'Z(18)=' ,Z[18]);
    writeln(F0,'3.3.', 'E2=',E2,'E1=',E1,'Z(9)=' ,Z[9]);
    writeln(F0,'3.4.', 'E2=',E2,'D1=',D1,'Z(23)=' ,Z[23]);
  end;

```

```

writeln(F0,'3.5.','E2=',E2,'B1=',B1,'Z(6)='Z[6]);
writeln(F0,'4.1.','D2=',D2,'A1=',A1,'Z(12)='Z[12]);
writeln(F0,'4.2.','D2=',D2,'C1=',C1,'Z(19)='Z[19]);
writeln(F0,'4.3.','D2=',D2,'E1=',E1,'Z(15)='Z[15]);
writeln(F0,'4.4.','D2=',D2,'D1=',D1,'Z(24)='Z[24]);
writeln(F0,'4.5.','D2=',D2,'B1=',B1,'Z(11)='Z[11]);
writeln(F0,'5.1.','B2=',B2,'A1=',A1,'Z(3)='Z[3]);
writeln(F0,'5.2.','B2=',B2,'C1=',C1,'Z(20)='Z[20]);
writeln(F0,'5.3.','B2=',B2,'E1=',E1,'Z(8)='Z[8]);
writeln(F0,'5.4.','B2=',B2,'D1=',D1,'Z(25)='Z[25]);
writeln(F0,'5.5.','B2=',B2,'B1=',B1,'Z(4)='Z[4]);
writeln(F0,'6.1.','A1=',A1,'A2=',A2,'Z(1)='Z[1]);
writeln(F0,'6.2.','A1=',A1,'C2=',C2,'Z(10)='Z[10]);
writeln(F0,'6.3.','A1=',A1,'E2=',E2,'Z(5)='Z[5]);
writeln(F0,'6.4.','A1=',A1,'D2=',D2,'Z(12)='Z[12]);
writeln(F0,'6.5.','A1=',A1,'B2=',B2,'Z(3)='Z[3]);
writeln(F0,'7.1.','C1=',C1,'A2=',A2,'Z(16)='Z[16]);
writeln(F0,'7.2.','C1=',C1,'C2=',C2,'Z(17)='Z[17]);
writeln(F0,'7.3.','C1=',C1,'E2=',E2,'Z(18)='Z[18]);
writeln(F0,'7.4.','C1=',C1,'D2=',D2,'Z(19)='Z[19]);
writeln(F0,'7.5.','C1=',C1,'B2=',B2,'Z(20)='Z[20]);
writeln(F0,'8.1.','E1=',E1,'A2=',A2,'Z(7)='Z[7]);
writeln(F0,'8.2.','E1=',E1,'C2=',C2,'Z(14)='Z[14]);
writeln(F0,'8.3.','E1=',E1,'E2=',E2,'Z(9)='Z[9]);
writeln(F0,'8.4.','E1=',E1,'D2=',D2,'Z(15)='Z[15]);
writeln(F0,'8.5.','E1=',E1,'B2=',B2,'Z(8)='Z[8]);
writeln(F0,'9.1.','D1=',D1,'A2=',A2,'Z(21)='Z[21]);
writeln(F0,'9.2.','D1=',D1,'C2=',C2,'Z(22)='Z[22]);
writeln(F0,'9.3.','D1=',D1,'E2=',E2,'Z(23)='Z[23]);
writeln(F0,'9.4.','D1=',D1,'D2=',D2,'Z(24)='Z[24]);
writeln(F0,'9.5.','D1=',D1,'B2=',B2,'Z(25)='Z[25]);
writeln(F0,'10.1.','B1=',B1,'A2=',A2,'Z(2)='Z[2]);
writeln(F0,'10.2.','B1=',B1,'C2=',C2,'Z(13)='Z[13]);
writeln(F0,'10.3.','B1=',B1,'E2=',E2,'Z(6)='Z[6]);
writeln(F0,'10.4.','B1=',B1,'D2=',D2,'Z(11)='Z[11]);
writeln(F0,'10.5.','B1=',B1,'B2=',B2,'Z(4)='Z[4]);
end;
if X=5 then
begin
writeln(F0,'X=5. System, 1.1 - 1.5, finish 1.5. ');
writeln(F0,'1.1.','A1=',A1,'Z(1)='Z[1]);
writeln(F0,'1.2.','C1=',C1,'Z(3)='Z[3]);
writeln(F0,'1.3.','E1=',E1,'Z(5)='Z[5]);
writeln(F0,'1.4.','D1=',D1,'Z(4)='Z[4]);
writeln(F0,'1.5.','B1=',B1,'Z(2)='Z[2]);
end;
case X of
5: OUT_F_H_L(73);
25:OUT_F_H_L(74);
end;
5:writeln('-----<Меню 3-----');
writeln('Если I0=7, то проверка точности');
writeln('и расчеты по модели');
writeln('Если I0=8, то переход в начало');
writeln('Если I0=17, то математическая модель');
writeln('Если I0=22, то вычисления');
writeln('показателей Z(K5) с использованием');
writeln('циклов');
writeln('Если I0=9, то выход из программы');
writeln('Если I0=25, то переход к меню 1');

```

```

writeln('Если I0=27, то переход к меню 2');
write('Ввод I0=');
readln(I0);
if I0=8 then goto 1;
if I0=9 then goto 2;
if I0=25 then goto 3;
if I0=27 then goto 4;
if I0=17 then begin GB4880; goto 2; end;
if I0=22 then begin GB7000; goto 2; end;
writeln('Проверка точности и расчеты по модели');
writeln('F(S), H(S), L(S) - 1,2,3 факторы');
writeln('где S=X=',X,'-количество опытов по плану');
writeln('расчеты по модели');
writeln(F0,'Проверка точности и расчеты по модели');
writeln(F0,'F(S), H(S), L(S) - 1,2,3 факторы');
writeln(F0,'где S=X=',X,'-количество опытов по плану');
writeln(F0,'расчеты по модели');
if (X=5) then
begin
for S:=1 to X do
begin
F[S]:=0; Z[S]:=0;
writeln('Ввод F(',S,')');
readln(F[S]);
case X of
5: begin
GB4290; GB4420;
end;
else goto 2;
end; {case}
writeln('Z(',S,')=',Z[S]);
end; {for}
OUT_F_H_L(73);
end; {if}
if (X=16) then
begin
for S:=1 to X do
begin
F[S]:=0; Z[S]:=0; H[S]:=0;
writeln('Ввод F(',S,')', H(',S,')');
readln(F[S],H[S]);
case X of
25:begin
GB4290; GB4340; GB4690;
end;
else goto 2;
end; {case}
writeln('Z(',S,')=',Z[S]);
end; {for}
OUT_F_H_L(74);
end; {if}
2:writeln('-----<Меню 4-----');
writeln('Если I0=10, то проверка точности');
writeln('и расчеты по модели');
writeln('Если I0=14, то вычисления ');
writeln('показателей Z(K5) с использованием');
writeln('циклов');
writeln('Если I0=35, то переход к меню 1');
writeln('Если I0=18, то переход к меню 2');
writeln('Если I0=19, то переход к меню 3');

```

```

writeln('Если I0=50, то переход в начало программы');
writeln('Если I0=44, то выход из программы');
write('Ввод I0=');
readln(I0);
if I0=11 then goto 1;
if I0=18 then goto 4;
if (I0=19)or(I0=10) then goto 5;
if I0=35 then goto 3;
if I0=14 then
begin
  GB7000;
  goto 2;
end;
writeln('Конец работы');
close(F0);
end. {Конец программы}

unit TPG3_2;
Interface
type artp=array[1..50] of real;
var
  J6,K5,S,J,I0,X,N0,K9,K4,F8,F9:integer;
  G1,T1,A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,A2,E2,B2,J2,O2,A3:real;
  H1,K1,L1,F1,M1,I1,P1,E3,B3,J3,O3,V1,U1,Q1,V2,U2,Q2:real;
  P2,F2,I2,H2,M2,N3,N4,N5,N6,N7,R3,R4,R0,R5,R6:real;
  S0,J5,S1,V3,U3,Q3,U9,F7,SO,F6:real;
  J9,L3,SS,L4,H4,H3,F3,F4,C2,D2,T2:real;
  T0,G2,K2,L2,K7,K8,X0,Y0,K0,K3:real;
  J7,J8,JJ9,KK5,KK6,KK7,KK8,F,H,V,L,Y,I,K,M,P,Q,U,O,B,Z,G,T:artp;
  NAME:string[8];
  F0: Text;
procedure GB3860(A,B,C,D,E,N,R,S,W:real;
var V0,U0,Q0,I0,M0,F0,G0,H0,K0,L0:real); function ste(Q,A:real):real;
procedure GB1410; procedure GB1480; procedure GB1600;
procedure GB1670; procedure GB1730; procedure GB1830;
procedure GB2000; procedure GB2020;
procedure GB4290;
procedure GB4340;
procedure GB4420;
procedure GB4690;
Implementation
function ste(Q,A:real):real;
{Функция возведения в степень}
begin
  if A<0 then
    begin
      A:=abs(A);
      if Q=0 then Q:=1E-5;
      ste:=1/exp(A*ln(Q));
    end
  else
    begin
      if Q=0 then Q:=1E-5;
      if A=0 then ste:=1
        else ste:=exp(A*ln(Q));
    end;
end; {ste}
procedure GB1410;
begin
  SS:=0; O[1]:=0;

```

```

for J:=1 to X do
  begin
    SS:=SS+Y[J]; O[1]:=O[1]+1;
  end;
B[1]:=SS/O[1];
SS:=0; O[2]:=0;
for J:=1 to X do
  begin
    SS:=SS+I[J]*Y[J]; O[2]:=O[2]+I[J]*I[J];
  end;
B[2]:=SS/O[2];
SS:=0; O[3]:=0;
for J:=1 to X do
  begin
    SS:=SS+K[J]*Y[J]; O[3]:=O[3]+K[J]*K[J];
  end;
B[3]:=SS/O[3];
end; {GB1410}
procedure GB1480;
begin
  SS:=0; O[4]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+P[J]*Y[J];
      O[4]:=O[4]+P[J]*P[J];
    end;
  B[4]:=SS/O[4]; SS:=0; O[5]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+I[J]*P[J]*Y[J];
      O[5]:=O[5]+(I[J]*P[J])*(I[J]*P[J]);
    end;
  B[5]:=SS/O[5]; SS:=0; O[6]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+Q[J]*Y[J];
      O[6]:=O[6]+Q[J]*Q[J];
    end;
  B[6]:=SS/O[6]; SS:=0; O[7]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+I[J]*Q[J]*Y[J];
      O[7]:=O[7]+(I[J]*Q[J])*(I[J]*Q[J]);
    end;
  B[7]:=SS/O[7]; SS:=0; O[8]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+P[J]*K[J]*Y[J];
      O[8]:=O[8]+(P[J]*K[J])*(P[J]*K[J]);
    end;
  B[8]:=SS/O[8]; SS:=0; O[9]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+K[J]*Q[J]*Y[J];
      O[9]:=O[9]+(K[J]*Q[J])*(K[J]*Q[J]);
    end;
  B[9]:=SS/O[9];
end; {GB1480}
procedure GB1600;
begin

```

```

SS:=0; O[10]:=0;
for J:=1 to X do
  begin
    SS:=SS+U[J]*Y[J];
    O[10]:=O[10]+U[J]*U[J];
  end;
B[10]:=SS/O[10]; SS:=0; O[11]:=0;
for J:=1 to X do
  begin
    SS:=SS+I[J]*U[J]*Y[J];
    O[11]:=O[11]+(I[J]*U[J])*(I[J]*U[J]);
  end;
B[11]:=SS/O[11]; SS:=0; O[12]:=0;
for J:=1 to X do
  begin
    SS:=SS+K[J]*U[J]*Y[J];
    O[12]:=O[12]+K[J]*U[J]*K[J]*U[J];
  end;
B[12]:=SS/O[12];
end; {GB1600}
procedure GB1670;
begin
  SS:=0; O[13]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+V[J]*Y[J];
      O[13]:=O[13]+V[J]*V[J];
    end;
  B[13]:=SS/O[13]; SS:=0; O[14]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+I[J]*V[J]*Y[J];
      O[14]:=O[14]+I[J]*V[J]*I[J]*V[J];
    end;
  B[14]:=SS/O[14]; SS:=0; O[15]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+K[J]*V[J]*Y[J];
      O[15]:=O[15]+K[J]*V[J]*K[J]*V[J];
    end;
  B[15]:=SS/O[15];
end; {GB1670}
procedure GB1730;
begin
  SS:=0; O[16]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+L[J]*Y[J];
      O[16]:=O[16]+L[J]*L[J];
    end;
  B[16]:=SS/O[16]; SS:=0; O[17]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+P[J]*L[J]*Y[J];
      O[17]:=O[17]+(P[J]*L[J])*(P[J]*L[J]);
    end;
  B[17]:=SS/O[17]; SS:=0; O[18]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+Q[J]*L[J]*Y[J];

```

```

    O[18]:=O[18]+(Q[J]*L[J])*(Q[J]*L[J]);
end;
B[18]:=SS/O[18]; SS:=0; O[19]:=0;
for J:=1 to X do
begin
    SS:=SS+L[J]*U[J]*Y[J];
    O[19]:=O[19]+(L[J]*U[J])*(L[J]*U[J]);
end;
B[19]:=SS/O[19]; SS:=0; O[20]:=0;
for J:=1 to X do
begin
    SS:=SS+L[J]*V[J]*Y[J];
    O[20]:=O[20]+(L[J]*V[J])*(L[J]*V[J]);
end;
B[20]:=SS/O[20];
end; {GB1730}
procedure GB1830;
begin
    SS:=0; O[21]:=0;
    for J:=1 to X do
    begin
        SS:=SS+M[J]*Y[J];
        O[21]:=O[21]+M[J]*M[J];
    end;
    B[21]:=SS/O[21]; SS:=0; O[22]:=0;
    for J:=1 to X do
    begin
        SS:=SS+P[J]*M[J]*Y[J];
        O[22]:=O[22]+(P[J]*M[J])*(P[J]*M[J]);
    end;
    B[22]:=SS/O[22]; SS:=0; O[23]:=0;
    for J:=1 to X do
    begin
        SS:=SS+Q[J]*M[J]*Y[J];
        O[23]:=O[23]+(Q[J]*M[J])*(Q[J]*M[J]);
    end;
    B[23]:=SS/O[23]; SS:=0; O[24]:=0;
    for J:=1 to X do
    begin
        SS:=SS+U[J]*M[J]*Y[J];
        O[24]:=O[24]+(U[J]*M[J])*(U[J]*M[J]);
    end;
    B[24]:=SS/O[24]; SS:=0; O[25]:=0;
    for J:=1 to X do
    begin
        SS:=SS+M[J]*V[J]*Y[J];
        O[25]:=O[25]+(M[J]*V[J])*(M[J]*V[J]);
    end;
    B[25]:=SS/O[25];
end; {GB1830}
procedure GB2000;
begin
    SS:=0; O[4]:=0;
    for J:=1 to X do
    begin
        SS:=SS+L[J]*Y[J];
        O[4]:=O[4]+L[J]*L[J];
    end;
    B[4]:=SS/O[4];
end; {GB2000}

```

```

procedure GB2020;
begin
  SS:=0; O[5]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+M[J]*Y[J];
      O[5]:=O[5]+M[J]*M[J];
    end;
  B[5]:=SS/O[5];
end; {GB2020}
procedure GB3860(A,B,C,D,E,N,R,S,W:real;
var V0,U0,Q0,I0,M0,F0,G0,H0,K0,L0:real);
var
  N0,R0,S0,W0,L2,N3,K2,R3,M2,S3,N4,N5:real;
  N6,N7,N8,N9,R4,R5,R6,R7,S4,S5,P0:real;
  Z1,Z2,Z3,Z4,Z5,Z6,Z7,Z0,Z8,Z9,T7:real;
  T8,T9,G3,G4,G5,G6,G7:real;
begin
  N0:=(ste(A,N)+ste(B,N)+ste(C,N)+ste(D,N)+ste(E,N))/5;
  R0:=(ste(A,R)+ste(B,R)+ste(C,R)+ste(D,R)+ste(E,R))/5;
  S0:=(ste(A,S)+ste(B,S)+ste(C,S)+ste(D,S)+ste(E,S))/5;
  W0:=(ste(A,W)+ste(B,W)+ste(C,W)+ste(D,W)+ste(E,W))/5;
  L2:=2*N;
  N3:=(ste(A,L2)+ste(B,L2)+ste(C,L2)+ste(D,L2)+ste(E,L2))/5;
  K2:=2*R;
  R3:=(ste(A,K2)+ste(B,K2)+ste(C,K2)+ste(D,K2)+ste(E,K2))/5;
  M2:=2*S;
  S3:=(ste(A,M2)+ste(B,M2)+ste(C,M2)+ste(D,M2)+ste(E,M2))/5;
  N4:=N+R;
  N5:=(ste(A,N4)+ste(B,N4)+ste(C,N4)+ste(D,N4)+ste(E,N4))/5;
  N6:=N+S;
  N7:=(ste(A,N6)+ste(B,N6)+ste(C,N6)+ste(D,N6)+ste(E,N6))/5;
  N8:=N+W;
  N9:=(ste(A,N8)+ste(B,N8)+ste(C,N8)+ste(D,N8)+ste(E,N8))/5;
  R4:=R+S;
  R5:=(ste(A,R4)+ste(B,R4)+ste(C,R4)+ste(D,R4)+ste(E,R4))/5;
  R6:=R+W;
  R7:=(ste(A,R6)+ste(B,R6)+ste(C,R6)+ste(D,R6)+ste(E,R6))/5;
  S4:=S+W;
  S5:=(ste(A,S4)+ste(B,S4)+ste(C,S4)+ste(D,S4)+ste(E,S4))/5;
  V0:=-N0;
  U0:=(N0*R0-N5)/(N3-N0*N0);
  Q0:=-R0+U0*N0;
  P0:=(N0*S0-N7)/(N3-N0*N0);
  Z1:=R0*S0-R5+P0*(N0*R0-N5);
  Z2:=U0*(N0*S0-N7)+U0*P0*(N0*N0-N3);
  Z3:=R3-R0*R0+2*U0*(N5-N0*R0);
  I0:=(Z1+Z2)/(Z3+(N3-N0*N0)*U0*U0);
  M0:=I0*U0+P0;
  F0:=-S0+I0*R0+M0*N0;
  Z4:=R0+U0*N0;
  Z5:=Z4*N0-N5-U0*N3;
  Z6:=R3+U0*N5-Z4*R0-Z5*U0;
  Z7:=Z4*S0+Z5*P0-R5-U0*N7;
  Z0:=(N0*W0-N9)/(N3-N0*N0);
  Z8:=Z5*Z0+Z4*W0-R7-U0*N9;
  Z9:=S3+I0*R5+M0*N7;
  T7:=R5+I0*R3+M0*N5;
  T8:=N7+I0*N5+M0*N3;
  T9:=S0+I0*R0+M0*N0;

```

```

G3:=S5+I0*R7+M0*N9;
G4:=T9*N0-T8;
G5:=Z9-T9*S0-G4*P0;
G6:=T9*R0-T7+G4*U0;
G7:=G4*Z0+T9*W0-G3;
G0:=(Z6*G7+Z8*G6)/(Z6*G5-Z7*G6);
H0:=(G0*Z7+Z8)/Z6;
K0:=G0*P0+H0*U0+Z0;
L0:=(W0+G0*S0+H0*R0+K0*N0);
end; {GB3860}
procedure GB4290;
begin
for J:=1 to X do
begin
I[J]:=ste(F[J],J1)+V1;
K[J]:=ste(F[J],O1)+U1*ste(F[J],J1)+Q1;
L[J]:=ste(F[J],P1)+I1*ste(F[J],O1)+M1*ste(F[J],J1)+F1;
M[J]:=ste(F[J],T1)+G1*ste(F[J],P1)+H1*ste(F[J],O1)
+K1*ste(F[J],J1)+L1;
end;
end; {GB4290}
procedure GB4340;
begin
for J:=1 to X do
begin
P[J]:=ste(H[J],J2)+V2;
Q[J]:=ste(H[J],O2)+U2*ste(H[J],J2)+Q2;
U[J]:=ste(H[J],P2)+I2*ste(H[J],O2)+M2*ste(H[J],J2)+F2;
V[J]:=ste(H[J],T2)+G2*ste(H[J],P2)+H2*ste(H[J],O2)
+K2*ste(H[J],J2)+L2;
end;
end; {GB4340}
procedure GB4420;
begin
for J:=1 to X do
Z[J]:=B[1]+B[2]*I[J]+B[3]*K[J]+B[4]*L[J]+B[5]*M[J];
end; {GB4420}
procedure GB4690;
begin
for J:=1 to X do
begin
N3:=B[1]+B[2]*I[J]+B[3]*K[J]+B[4]*P[J];
N4:=B[5]*I[J]*P[J]+B[6]*Q[J]+B[7]*I[J]*Q[J]+B[8]*P[J]*K[J];
N5:=B[9]*K[J]*Q[J]+B[10]*U[J]+B[11]*I[J]*U[J];
N6:=B[12]*K[J]*U[J]+B[13]*V[J]+B[14]*I[J]*V[J]+B[15]*K[J]*V[J];
N7:=B[16]*L[J]+B[17]*P[J]*L[J]+B[18]*Q[J]*L[J]+B[19]*L[J]*U[J];
R3:=B[20]*L[J]*V[J]+B[21]*M[J]+B[22]*P[J]*M[J];
R4:=B[23]*Q[J]*M[J]+B[24]*U[J]*M[J]+B[25]*M[J]*V[J];
Z[J]:=N3+N4+N5+N6+N7+R3+R4;
end;
end; {GB4690}
end.

unit TPG3_3;
Interface
uses tpg3_2;
var
grMode: Integer;
procedure PR_MOD; procedure GB4880;
procedure GB7000;

```

```

procedure VVOD51; procedure VVOD52;
procedure tablF9; procedure OUT_F_H_L(PR:integer);
Implementation
procedure VVOD51;
begin
  writeln('Ввод A1 C1 E1 D1 B1 J1 O1 P1 T1');
  readln(A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,P1,T1);
  writeln(F0,'A1=',A1,' C1=',C1,' E1=',E1);
  writeln(F0,'D1=',D1,' B1=',B1,' J1=',J1);
  writeln(F0,'O1=',O1,' P1=',P1,' T1=',T1);
end;{VVOD51}
procedure VVOD52;
begin
  writeln('Ввод A2 C2 E2 D2 B2 J2 O2 P2 T2');
  readln(A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2);
  writeln(F0,'A2=',A2,' C2=',C2,' E2=',E2);
  writeln(F0,'D2=',D2,' B2=',B2,' J2=',J2);
  writeln(F0,'O2=',O2,' P2=',P2,' T2=',T2);
end;{VVOD52}
procedure PR_MOD;
begin
  case X of
5: begin
  F[1]:=A1; F[2]:=B1; F[3]:=C1; F[4]:=D1; F[5]:=E1;
  end
25:begin
  F[1]:=A1; H[1]:=A2; F[2]:=B1; H[2]:=A2; F[3]:=A1;
  H[3]:=B2; F[4]:=B1; H[4]:=B2; F[5]:=A1; H[5]:=E2;
  F[6]:=B1; H[6]:=E2; F[7]:=E1; H[7]:=A2; F[8]:=E1;
  H[8]:=B2; F[9]:=E1; H[9]:=E2; F[10]:=A1; H[10]:=C2;
  F[11]:=B1; H[11]:=D2; F[12]:=A1; H[12]:=D2; F[13]:=B1;
  H[13]:=C2; F[14]:=E1; H[14]:=C2; F[15]:=E1; H[15]:=D2;
  F[16]:=C1; H[16]:=A2; F[17]:=C1; H[17]:=C2; F[18]:=C1;
  H[18]:=E2; F[19]:=C1; H[19]:=D2; F[20]:=C1; H[20]:=B2;
  F[21]:=D1; H[21]:=A2; F[22]:=D1; H[22]:=C2; F[23]:=D1;
  H[23]:=E2; F[24]:=D1; H[24]:=D2; F[25]:=D1; H[25]:=B2;
  end;
end;
end;
procedure GB4880;
begin
  writeln(F0,'Математическая модель');
  if X=5 then
  begin
  writeln(F0,'Z(J)=';B[1]:10,'+',B[2]:10,'*I(J)+';B[3]:10,'*K(J)+';
  writeln(F0,'+',B[4]:10,'*L(J)+';B[5]:10,'*M(J),');
  end;
  if X=25 then
  begin
  writeln(F0,'Z(J)=';B[1]:10,'+',B[2]:10,'*I(J)+';B[3]:10,'*K(J)+';
  writeln(F0,'+',B[4]:10,'*P(J)+';B[5]:10,'*I(J)*P(J)+';
  writeln(F0,'+',B[6]:10,'*Q(J)+';B[7]:10,'*I(J)*Q(J)+';
  writeln(F0,'+',B[8]:10,'*P(J)*Q(J)+';B[9]:10,'*K(J)*Q(J)+';
  writeln(F0,'+',B[10]:10,'*U(J)+';B[11]:10,'*I(J)*U(J)+';
  writeln(F0,'+',B[12]:10,'*K(J)*U(J)+';B[13]:10,'*V(J)+';
  writeln(F0,'+',B[14]:10,'*I(J)*V(J)+';B[15]:10,'*I(J)*V(J)+';
  writeln(F0,'+',B[16]:10,'*L(J)+';B[17]:10,'*P(J)*L(J)+';
  writeln(F0,'+',B[18]:10,'*Q(J)*L(J)+';B[19]:10,'*L(J)*U(J)+';
  writeln(F0,'+',B[20]:10,'*L(J)*V(J)+';B[21]:10,'*M(J)+';
  writeln(F0,'+',B[22]:10,'*P(J)*M(J)+';B[23]:10,'*Q(J)*M(J)');
  end;
  end;
end;

```

```

writeln(F0,'+',B[24]:10,'*U(J)*M(J)'+',B[25]:10,'*M(J)*V(J),');
end;
if (X=5)or(X=25) then
begin
writeln(F0,'ГДЕ');
writeln(F0,'I(J)=F(J)^(J1:10,+',V1:10,',');
writeln(F0,'K(J)=F(J)^(O1:10,+',U1:10,'*F(J)^(J1:10,+',Q1:10);
end;
if (X=5)or(X=25) then
begin
writeln(F0,'L(J)=F(J)^(P1:10,+',I1:10,'*F(J)^(O1:10,+',');
writeln(F0,'+',M1:10,'F(J)^(J1:10,+',F1:10);
end;
if (X=5)or(X=25) then
begin
writeln(F0,'M(J)=F(J)^(T1:10,+',G1:10,'*F(J)^(P1:10,+',');
writeln(F0,'+',H1:10,'*F(J)^(O1:10,+',K1:10,'*F(J)^(I1:10,+',L1:10);
end;
if (X=25) then
begin
writeln(F0,'P(J)=H(J)^(J2:10,+',V2:10,',');
writeln(F0,'Q(J)=H(J)^(O2:10,+',U2:10,'*H(J)^(J2:10,+',Q2:10,',');
writeln(F0,'U(J)=H(J)^(P2:10,+',I2:10,'*H(J)^(O2:10,+',');
writeln(F0,'+',M2:10,'*H(J)^(J2:10,+',F2:10);
end;
if (X=25) then
begin
writeln(F0,'V(J)=H(J)^(T2:10,+',G2:10,'*H(J)^(P2:10,+',');
writeln(F0,'+',H2:10,'*H(J)^(O2:10,+',K2:10,'*H(J)^(J2:10,+',');
writeln(F0,'+',L2:10);
end;
end;{GB4880}
procedure GB7000;
label 1;
begin
repeat
writeln('vvod X');
readln(X);
writeln('X=',X);
writeln(F0,'X=',X);
if (X=5) then I0:=61;
if (X=25) then I0:=62;
if I0=61 then
begin
case X of
5: I0:=75;
end;
F3:=0; F4:=0; K5:=0;
writeln('Фактор F(1)=F3+F4');
for J:=1 to X do
begin
F[J]:=0; Z[J]:=0;
end;
writeln('F4-шаг приращения фактора');
writeln('X-количество значений фактора');
writeln('Ввод принятых величин X F3 F4');
readln(X,F3,F4);
writeln(F0,'F4-шаг приращения фактора');
writeln(F0,'X-количество значений фактора');
writeln(F0,'X=',X,' F3=',F3,' F4=',F4);

```

```

for K5:=1 to X do
begin
  F[K5]:=F3+K5*F4;
  writeln('F(',K5,')=',F[K5]);
end; {for}
case I0 of
  75:begin
    GB4290; GB4420;
    end;
end; {case}
for K5:=1 to X do
  writeln('Z(',K5,')=',Z[K5]);
OUT_F_H_L(73);
end; {if}
if I0=62 then
begin
  case X of
    25:I0:=81;
    end;
F3:=0; F4:=0; H3:=0;
H4:=0; K5:=0;
writeln('Фактор F(1)=F3+F4');
writeln(F0,'Фактор F(1)=F3+F4');
for J:=1 to X do
  begin
    F[J]:=0; H[J]:=0; Z[J]:=0;
    end;
writeln('F4-шаг приращения 1-го фактора');
writeln('Фактор H(1)=H3+H4');
writeln('H4-шаг приращения 2-го фактора');
writeln('X-количество значений 1,2-го фактора');
writeln('Ввод принятых величин X F3 F4 H3 H4');
writeln(F0,'F4-шаг приращения 1-го фактора');
writeln(F0,'Фактор H(1)=H3+H4');
writeln(F0,'H4-шаг приращения 2-го фактора');
writeln(F0,'X-количество значений 1,2-го фактора');
readln(X,F3,F4,H3,H4);
writeln(F0,'X=',X,' F3=',F3,' F4=',F4);
writeln(F0,'H3=',H3,' H4=',H4);
for K5:=1 to X do
  begin
    F[K5]:=F3+K5*F4;
    writeln('F(',K5,')=',F[K5]);
    H[K5]:=H3+K5*H4;
    writeln('H(',K5,')=',H[K5]);
    case I0 of
      81:begin
        GB4290; GB4340; GB4690;
        end;
    end; {case}
    writeln('Z(',K5,')=',Z[K5]);
  end; {for}
  for K5:=1 to X do
    writeln('Z(',K5,')=',Z[K5]);
  OUT_F_H_L(74);
end; {if}
writeln('Выявление MAX Z(K5) и MIN Z(K5)');
writeln(F0,'Выявление MAX Z(K5) и MIN Z(K5)');
K8:=0; K8:=Z[1];
for K5:=1 to X do

```



```

write(' F8 |-----|');
writeln('-----|');
write(' | 2 | 3 | 4 | 8 | 11 | 14 |');
writeln('15-16 | 19-20 | 24 | 26-30 |');
write(' |-----|');
writeln('-----|');
write(' | 2 | 19.0 | 19.16 | 19.25 | 19.37 | 19.4 | 19.42 |');
writeln('19.43 | 19.44 | 19.45 | 19.46 |');
write(' |-----|');
writeln('-----|');
write(' | 3 | 9.55 | 9.28 | 9.12 | 8.84 | 8.76 | 8.71 |');
writeln('8.69 | 8.66 | 8.64 | 8.62 |');
write(' |-----|');
writeln('-----|');
write(' | 4 | 6.94 | 6.59 | 6.39 | 6.04 | 5.93 | 5.87 |');
writeln('5.84 | 5.8 | 5.77 | 5.74 |');
write(' |-----|');
writeln('-----|');
write(' | 5 | 5.79 | 5.41 | 5.19 | 4.82 | 4.7 | 4.64 |');
writeln('4.6 | 4.56 | 4.53 | 4.5 |');
write(' |-----|');
writeln('-----|');
write(' | 6 | 5.14 | 4.76 | 4.53 | 4.15 | 4.03 | 3.96 |');
writeln('3.92 | 3.87 | 3.84 | 3.81 |');
write(' |-----|');
writeln('-----|');
end;
procedure OUT_F_H_L(PR:integer);
begin
if PR=73 then
begin
writeln(F0,'-----|');
writeln(F0,' | Значение |');
writeln(F0,' J |-----|');
writeln(F0,' | F(J) | Z(J) |');
end;
if PR=74 then
begin
writeln(F0,'-----|');
writeln(F0,' | Значение |');
writeln(F0,' J |-----|');
writeln(F0,' | F(J) | H(J) | Z(J) |');
end;
if PR=73 then
begin
for J:=1 to X do
begin
writeln(F0,' |-----|');
writeln(F0,' | J:2, | F[J]:10, | Z[J]:10, |');
end;
writeln(F0,'-----|');
end;
if PR=74 then
begin
for J:=1 to X do
begin
write(F0,' |-----|');
writeln(F0,'-----|');
write(F0,' | J:2, | F[J]:10, | H[J]:10);
writeln(F0,' | Z[J]:10, |');
end;
end;

```

```
end;  
writeln(F0,'|-----|');  
end;  
write(F0,'|-----|');  
writeln(F0,'|-----|');  
end;  
end;  
end.
```

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему исходное уравнение для выявления математической модели выбрано в виде ряда (многочлена), почему оно называется уравнением регрессии, а его коэффициенты – коэффициентами регрессии?
2. В каких случаях факторы, влияющие на показатель процесса, считаются существенными, как производится выбор интервалов варьирования факторов?
3. Зачем выполняется регрессионный анализ?
4. Почему показатели степени факторов надо принимать буквенными?
5. В каких случаях матрица становится ортогональной, зачем надо делать матрицу ортогональной, от чего зависит количество коэффициентов ортогональности?
6. На основе чего и как выявляются коэффициенты ортогональности?
7. Можно ли определять коэффициенты регрессии независимо друг от друга, если матрица не будет ортогональной?
8. Почему рационально выполнять параллельные опыты на среднем уровне факторов, сколько надо проводить таких опытов, как определяется дисперсия опытов?
9. В чем преимущества независимого определения коэффициентов регрессии?
10. Почему дисперсия в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга, и как это делается?
11. Как определяют расчетные t-критерии, с чем их сравнивают, в каких случаях коэффициенты регрессии – значимые, а в каких – незначимые?
12. Зачем сравнивают введенные величины показателей с рассчитанными (по разностям и в процентах)?
13. О чем свидетельствует незначимость коэффициентов регрессии?
14. Как определяется адекватность и точность математической модели?
15. Как выявляются уравнения регрессии двухфакторного, трехфакторного, многофакторного процесса?
16. Почему совпадает количество опытов в плане и количество членов в уравнении регрессии?
17. Почему для каждого фактора отдельно выявляются коэффициенты ортогонализации?
18. Почему надо выполнять расчеты на ЭВМ с такой точностью, какую может обеспечить вычислительная машина?

19. В каких случаях рационально применять язык программирования Бейсик?
20. Каков алгоритм математического моделирования, почему надо до рассмотрения компьютерных программ изучить язык программирования Бейсик, можно ли не зная операторов языка Бейсик рассматривать и анализировать программы на этом языке?
21. Из каких частей состоят программы математического моделирования?
22. Почему расчеты по математическим моделям надо выполнять, используя общую программу математического моделирования?
23. Как выполняются расчеты по математическим моделям и графические построения?
24. Каковы преимущества представления результатов расчетов в абсолютных и относительных величинах, как выявляются максимальные и минимальные величины?
25. Почему выполнение программ надо заносить в файлы?
26. Можно ли оптимизировать, прогнозировать процессы, изобретать на основе моделирования?
27. Как выявляются факторы, существенно влияющие на показатели процесса, как можно уменьшить количество факторов, что дает применение комплексных факторов?
28. Почему надо изменять масштабы при графических построениях и что при этом достигается?
29. В каких случаях следует применять разные методы моделирования?
30. Какова эффективность моделирования, в чем заключаются преимущества изложенных выше методик математического моделирования?
31. Зачем в компьютерных программах предусмотрены различные переходы и можно ли их применять, если использовать не язык Бейсик, а другие языки программирования?
32. Что дает применение в компьютерных программах управляющей величины X ?
33. Чем отличается аппроксимация от математического моделирования, в каких случаях надо применять многократно аппроксимацию?
34. Какие части компьютерных программ относятся к аппроксимации, выявлению математической модели, выполнению расчетов по математической модели, поиску максимальных и минимальных величин показателей, графическому построению зависимости показателя от фактора?
35. Почему по программе строятся графики и как это выполняется?

36. Можно ли многократно изменять масштабы графических построений и если можно, то зачем это надо делать?
37. Почему для выбора показателей степени фактора в исходном уравнении надо несколько раз использовать часть компьютерной программы, которая предусматривает аппроксимацию и в каких случаях после рассмотрения результатов аппроксимации можно переходить к математическому моделированию?
38. Что дает использование аппроксимации в комплексных компьютерных программах, как проверяется точность полученных результатов аппроксимации, а затем и математических моделей?
39. Почему использование файлов упрощает компьютерные программы на языке Бейсик, как выполняется анализ результатов выполнения программ при рассмотрении файлов, можно ли из файлов исключить ненужные сведения и добавлять необходимые для разъяснения полученных данных?
40. Как достигается универсальность компьютерных программ?
41. Почему математическое моделирование позволяет выполнять фундаментальные научные исследования, какие результаты моделирования рационально вносить в научные отчеты и использовать при разработке изобретений?

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

1. Выявить зависимость производительности вагранки G_m от диаметра шахты в зоне плавления $D_{ш}$ по программе VN0 при тех же данных, которые использованы в первом варианте моделирования, кроме показателей степени в уравнении регрессии, которые принять следующими:

- а) $J1 = 1; O1 = 1,2; P1 = 2; T1 = 2,2;$
- б) $J1 = 1; O1 = 1,5; P1 = 2; T1 = 2,5;$
- в) $J1 = 1; O1 = 1,8; P1 = 3; T1 = 4;$
- г) $J1 = 1; O1 = 1,9; P1 = 3; T1 = 4;$
- д) $J1 = 0,1; O1 = 0,3; P1 = 0,4; T1 = 2.$

Сравнить полученные результаты моделирования, расчеты по математическим моделям. Определить влияние принятых величин показателей степени в уравнении регрессии на точность математической модели.

2. По программе VL0 произвести математическое моделирование, выявить зависимость потерь металла при плавке в газовой вагранке $U_{мет}$ от количества стали в шихте $Ш_c$, температуры вдуваемого в горелки воздуха T_b и связанного с ней коэффициента расхода воздуха α при следующих данных для моделирования:

$X = 4; A1 = 0; B1 = 100; A2 = 293; B2 = 873; N0 = 4; F8 = 3;$
 $U9 = 0,1667; T0 = 3,182; f7 = 9,28.$ Показатели степени в уравнении регрессии принять:

- а) $J1 = 1; J2 = 1;$
- б) $J1 = 1,4; J2 = 1,4;$
- в) $J1 = 1,8; J2 = 1,8.$

Выполнить расчет показателей процесса и построение графиков при $X = 10; F3 = 10; F4 = 0; H3 = 200; H4 = 80.$ Сравнить результаты расчетов с теми, которые получены при планировании 3^2 и моделировании этого процесса по программе VN0, когда $X = 9.$

3. Применив планирование 5^2 ($X = 25$) и программу VN0, найти зависимости $U_{мет}$ от $Ш_c$ и T_b , связанной с α , при следующих исходных данных для моделирования: $X = 25; A1 = 0; C1 = 25; E1 = 50;$
 $D1 = 75; B1 = 100; A2 = 293; C2 = 438; E2 = 583; D2 = 728; B2 = 873; N0 = 4;$
 $U9 = 0,1667; T0 = 3,182; F7 = 8,64; J1 = 1; O1 = 2; P1 = 3; T1 = 4; J2 = 1;$
 $O2 = 2; P2 = 3; T2 = 4:$ изменение $U_{мет}$ от $Y(1)$ до $Y(25)$ по плану 5^2 в порядке 7,5; 100; 1,5; 15; 4; 81; 39; 5; 6; 52; 2,5; 95; 34,5; 20; 20; 17,5; 14; 10; 2,5; 67; 61; 50,5; 34,5; 9.

Произвести расчеты и построение графика при $X = 10; F3 = 10;$
 $F4 = 0; H3 = 200; H4 = 80.$ Проанализировать математическую модель,

результаты расчетов и график, сделать выводы и разработать рекомендации по уменьшению потерь металла при плавке в газовой вагранке.

На основе планирования экспериментов, математического моделирования и анализа результатов расчетов по математическим моделям разработать:

а) новый сплав, обладающий требуемыми повышенными свойствами;

б) более эффективный процесс плавки материала;

в) экологически чистую технологию производства отливок;

г) оптимальный состав формовочной или стержневой смеси;

д) усовершенствованную конструкцию устройства для использования в литейном производстве.

5. Продолжить примеры возможного применения планирования экспериментов и математического моделирования в литейном производстве.

6. Из программы VN0 выделить отдельные программы для случаев планирования 4^1 ($X = 4$), 5^1 ($X = 5$), 3^2 ($X = 9$), 3^3 ($X = 27$).

7. Изучить литературные источники [1-10] и сравнить изложенные в них методические разработки по планированию экспериментов и математическому моделированию с разработками по этим вопросам других авторов, перечислить преимущества, которые могут быть достигнуты при применении новых методических разработок.

8. Кратко изложить особенности инженерного творчества, выполнения научных исследований, обработки результатов экспериментов при планировании математического моделирования.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие известны по литературным источникам методы математического моделирования, их недостатки?
2. Как устранены недостатки существующих методов математического моделирования в изложенной выше разработке?
3. Что такое математическая модель, зачем надо ее выявлять и как ее анализировать?
4. Как производится выбор показателей процесса, существенных факторов, планов проведения экспериментов, как выполняются эксперименты для математического моделирования?
5. Почему для выявления математических моделей выбраны уравнения в виде рядов (многочленов), как называются эти уравнения и коэффициенты при каждом члене многочлена?
6. Как объяснить применение при математическом моделировании понятия регрессии?
7. Соответствует ли количество коэффициентов регрессии в уравнении регрессии количеству уровней фактора (для однофакторного процесса)?
8. В каких случаях матрицы определения коэффициентов регрессии становятся ортогональными и зачем надо добиваться ортогональности матриц?
9. Сколько надо определить коэффициентов ортогонализации, если принять два, три, четыре, пять уровней фактора (для однофакторного процесса)?
10. Почему нерационально применять больше пяти уровней фактора?
11. Равно ли количество членов многочлена и коэффициентов регрессии количеству опытов по плану проведения экспериментов (при полном факторном эксперименте)?
12. Почему показатели степени фактора в уравнении регрессии приняты буквенными?
13. Можно ли изменять величины показателей степени фактора при выявлении математических моделей и если можно, то в каких случаях, сколько раз, какие величины показателей степени рационально принимать первоначально и в последующем, что является критерием правильности выбора показателей степени фактора?
14. Как определяются коэффициенты регрессии при ортогональности матрицы?
15. Какие преимущества достигаются при определении коэффициентов регрессии независимо друг от друга?
16. По какому критерию выявляется статистическая значимость коэффициентов регрессии?

17. Как выявляется дисперсия опытов, почему лучше проводить серию параллельных одинаковых опытов на среднем уровне факторов, как определить средние уровни факторов, сколько надо выполнять одинаковых опытов на среднем уровне факторов?

18. По какой формуле выполняется расчет дисперсии опытов?

19. Почему дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга, является ли это следствием ортогональности матриц?

20. По какому критерию проверяется адекватность математической модели?

21. Как оценивается фактическая точность математической модели?

22. Можно ли использовать для выявления математической модели комплексные факторы и факторы в виде зависимости одного фактора от другого или ряда других факторов, каковы особенности анализа математической модели при комплексных факторах?

23. Как выявляются уравнения регрессии при влиянии на показатель двух и трех факторов?

24. Почему рационально применять различные методы моделирования (моделирование на основе теории подобия, теории размерностей, математическое моделирование) и как следует выполнять в этом случае анализ результатов моделирования?

25. Что является критерием истины и как подтвердить истинность данных, рассчитанных по математическим моделям?

26. Какие особенности моделирования многофакторного процесса?

27. Каков алгоритм математического моделирования для программирования применительно к использованию ЭВМ?

28. В чем заключаются преимущества языка программирования Бейсик, какие операторы языка Бейсик использованы в разработанных программах?

29. Можно ли совершенствовать, оптимизировать, прогнозировать, автоматизировать процессы, разрабатывать изобретения на основе математических моделей?

30. Как достигается экономичность исследовательской работы при последующем математическом моделировании?

31. В чем заключается фундаментальность исследований и какое значение имеет математическое моделирование при выполнении таких исследований?

32. Необходимо ли применять математическое моделирование при выполнении научно-исследовательских, диссертационных работ, каковы могут быть направления дальнейшего совершенствования методики математического моделирования?

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Черный А.А. Математическое моделирование применительно к литейному производству: Учеб. Пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – 121 с.
2. Черный А.А. Планирование экспериментов и математическое моделирование процессов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1977. – 80 с.
3. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений/ Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1965. – 512 с.
4. Математическое моделирование литейных процессов: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Подразделение оперативной полиграфии Пензенского ЦНТИ, 1992. – 36 с.
5. Моделирование сложных процессов по результатам экспериментов: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1990. – 37 с.
6. Математическое моделирование процессов литейного производства и применение ЭВМ для их расчетов: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1990. – 36 с.
7. Разработка новых сплавов с использованием ЭВМ: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1990. – 28 с.
8. Черный А.А. Методика и программы математического моделирования: Учеб. пособие. – Пензе: Подразделение оперативной полиграфии Пензенского ЦНТИ, 1994. – 38 с.
9. Черный А.А. Практика планирования экспериментов и математического моделирования процессов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1984. – 103 с.
10. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов/ Ф.С. Новик, А.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: техника, 1980. – 304 с.
11. Математическое моделирование в литейном производстве: рабочая программа и метод. указ. к практическим работам. / Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 20 с.
12. Вычислительная техника в инженерных расчетах: рабочая программа и метод.указ. к лабораторным, практическим и курсовым работам. / Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 39 с.
13. Задания по математическому моделированию в литейном производстве: метод.указ./ Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 27 с.

14. Принципы инженерного творчества: рабочая программа и метод.указ. к практическим работам./ Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 16 с.

15.Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на двух уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 36 с.

16. Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на трех уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. –80 с.

17. Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на четырех уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 92 с.

18. Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на пяти уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 40 с.

19. Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на трех, четырех, пяти уровнях факторов и при неодинаковом количестве уровней первого и второго факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 56 с.

20. Черный А.А. Применение математического моделирования для прогнозирования свойств сплавов // Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем: сборник статей I Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. – Пенза: Пензенский государственный университет, АНОО «Приволжский Дом знаний», 2007. – С. 135-139.

21. Черный А.А. Компьютерные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям: учебн. Пособие. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2006.-197с.

22. Черный А.А. Системный анализ результатов расчетов по математическим моделям: учебн.пособие/А.А. Черный.-Пенза: Изд-во пенз.гос.ун-та, 2008.-192с.

23. Черный А.А. Компьютерные дополненные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям: учебное пособие/А.А. Черный.-Пенза: Информационно-издательский центр ПензГУ, 2008-356с.

24. Черный А.А. Математическое моделирование в литейном производстве: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007. – 192 с.

25. Черный А.А. математическое моделирование при неодинаковом количестве уровней факторов на языках Бейсик и Турбо Паскаль: учебн.пособие – Пенза: пензенский государственный университет, 2010.-124с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ.....	5
ВЫЯВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ, АДЕКВАТНОСТИ И ТОЧНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	92
АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	97
ОПЕРАТОРЫ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ БЕЙСИК	98
ПЛАНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭВМ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	115
ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VL0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 2^1 (X=2), 2^2 (X=4), 2^3 (X=8), 2^4 (X=16), 2^5 (X=32).....	124
ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VN0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 3^1 (X=3), 4^1 (X=4), 5^1 (X=5), 3^2 (X=9), $3 \cdot 4$ (X=12), $3 \cdot 5$ (X=15), 4^2 (X=16), $4 \cdot 5$ (X=20), 5^2 (X=25), 3^3 (X=27).....	139
ПРИМЕРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ.....	160
Пример 1. Выявление зависимости производительности вагранки от диаметра шахты в зоне плавления.....	160
ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	161
ВТОРОЙ ВАРИАНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ	167
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВАГРАНОК НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УЧЕТА ГАЗОДИНАМИКИ В ШАХТЕ	173

Пример 2. Потери металла при плавке в газовой вагранке в зависимости от количества стали в шихте, температуры вдуваемого в горелки воздуха и связанного с ней коэффициента расхода воздуха.....	176
ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ $X=9$	179
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ В ГАЗОВОЙ ВАГРАНКЕ.....	180
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ МАССОПЕРЕНОСА И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СЖИГАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА.....	188
ЗАДАНИЯ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	195
ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПОДПРОГРАММ СИСТЕМНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ.....	210
ПРОГРАММА NW5 НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК (планы 5^1 , 5^2 , $X=5$, $X=25$).....	210
ПРОГРАММА НА ЯЗЫКЕ ТУРБО ПАСКАЛЬ (три модуля, планы 5^1 , 5^2 , $X=5$, $X=25$).....	220
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	239
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ.....	242
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....	244
ЛИТЕРАТУРА.....	246

Анатолий Алексеевич Черный

ЭФФЕКТИВНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Учебное пособие

Пензенский государственный университет.
440026, Пенза, Красная, 40.