

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра м и к р о э л е к т р о н и к и

В.В. НЕЛАЕВ, В.Р. СТЕМПИЦКИЙ

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГО-  
ТОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для курсов лекций и лабораторных работ по дисциплинам

**"Расчет и проектирование элементов интегральных схем  
и полупроводниковых приборов",**

**"Основы САПР в микроэлектронике",**

**"Моделирование технологических процессов микроэлектроники"**

для студентов специальности 41 01 02 "Микроэлектроника"

Минск 2002

УДК 621.382 (075)  
ББК 32.859 я 7 Н49

Рецензент Малышев В. С, главный технолог УП НИКТП «Белмикросистемы» ПО «Интеграл», преподаватель кафедры дифференциальных уравнений механико-математического факультета Белорусского государственного университета

Нелаев В.В.

Н 49 Статистический анализ и оптимизация технологических параметров изготовления интегральных микросхем: Учебно-метод. пособие для курсов лекций и лабораторных работ по дисциплинам "Расчет и проектирование элементов интегральных схем и полупроводниковых приборов", "Основы САПР в микроэлектронике", "Моделирование технологических процессов микроэлектроники" для студентов специальности 41 01 02 "Микроэлектроника" / В.В. Нелаев, В.Р.Стемпицкий.- Мн.: БГУИР, 2002. - 40 с: ил.

~ ISBN 985-444-348-5

Приведено описание компьютерной учебной программы для многофакторного статистического проектирования технологии изготовления интегральных микросхем (ИМС) с учетом влияния флуктуации технологических параметров на характеристики проектируемой схемы, основанное на использовании метода поверхности откликов в процедуре аппроксимации результатов технологического процесса. Представлена соответствующая инструкция пользования программой.

УДК 621.382 (075)  
ББК 32.859 я 7

ISBN 985-444-348-5

© В.В. Нелаев, В.Р. Стемпицкий, 2002  
© БГУИР, 2002

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Методы многофакторного статистического проектирования и оптимизации технологии ИМС
2. Метод поверхности откликов для статистической обработки результатов компьютерных и натуральных экспериментов
3. Примеры статистического моделирования и оптимизации технологии ИМС с использованием RSM и MRSМ приближений
  - 3.1 Статистический анализ результатов моделирования технологии НМQ полученных с использованием программ SUPREMIИ и SY-PRUS
  - 3.2 Статистический анализ результатов натуральных экспериментов по формированию пМОП и рМОП транзисторов
  - 3.3. Статистический анализ результатов натуральных экспериментов по формированию фосфорно-силикатной пленки
4. Порядок выполнения компьютерной лабораторной работы

Контрольные вопросы

Литература

## ВВЕДЕНИЕ

Выход годных изделий как основная характеристика качества производства интегральных микросхем в значительной степени зависит от точности компьютерного проектирования технологии и статистического контроля производства [1]. Важным и необходимым этапом в современном производственном цикле изготовления ИМС является статистический анализ результатов проектирования технологии/прибора/схемы и оптимизация технологии с целью повышения выхода годных изделий и технологичности маршрута. При этом важен учет влияния случайных флуктуации технологических параметров на результаты моделирования, и в первую очередь на профили распределения легирующих примесей, геометрию формируемой структуры и в конечном счете на характеристики отдельных приборов и схемы в целом.

Традиционные методы статистического проектирования ИМС основаны на предположении, что пары идентичных приборов на одной пластине имеют идентичные характеристики и параметры. Это свойство согласования характеристик приборов является фундаментально важным для всех интегральных схем, и особенно для аналоговых. Таким образом, при проектировании ИМС статистическое моделирование должно не только обеспечивать реальные оценки статистики параметров отдельных приборов, но также и предсказывать рассогласование характеристик приборов в зависимости от их размеров и топологии ИМС.

Статистическое в цикле Монте-Карло проектирование приборов обычно осуществляется посредством использования стандартных средств моделирования, как, например, программы HSPICE. Однако результаты такого подхода могут вводить в заблуждение, поскольку в этих расчетах каждый прибор рассматривается независимо и не учитываются корреляции характеристик приборов в зависимости от их положения на пластине или для разных пластин, обрабатываемых в рамках одного маршрута. Условия технологической обработки при формировании приборов, располагающихся даже на одной пластине, в зависимости от их положения относительно центра пластины могут быть разными из-за локальных флуктуации технологических параметров. Эти условия в еще большей степени отличаются для разных пластин, обрабатываемых в одной партии и тем более в разных партиях, вследствие глобальных флуктуации технологических параметров. Решить эту проблему позволяет только совместное использование средств статистического моделирования технологии/прибора/схемы [2-4].

Для таких схем, в которых рассогласование приборов велико, традиционные методы статистических расчетов в цикле Монте-Карло дают чрезвычайно пессимистические, далекие от разумных, результаты. Иллюстрацией этого утверждения являются, например, результаты анализа влияния статистического разброса электрических и технологических параметров на функционирование контроллера с неопределенной логикой, приведенные в работе [5]. На рис.1 приведены типичная передаточная характеристика этого прибора и допустимая область ее изменения, полученные с использованием программы HSPICE при

номинальных значениях параметров. На рис. 2 приведены результаты статистического HSPICE моделирования этого прибора при учете всех возможных разбросов входных (в том числе и технологических) параметров.

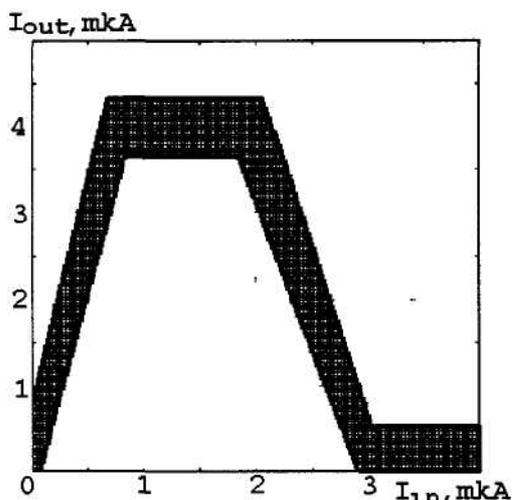


Рис. 1. Допустимая область разброса передаточной характеристики для надлежащего функционирования прибора

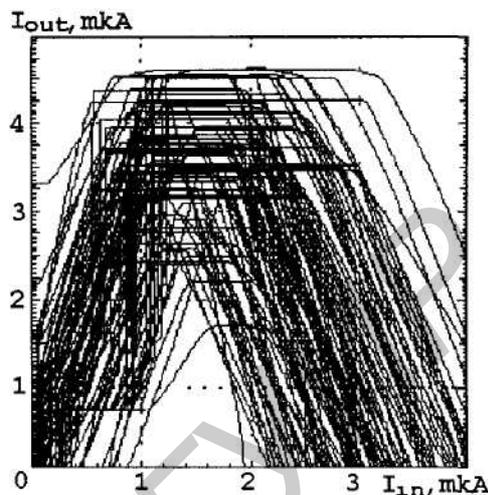


Рис. 2. Статистическое распределение передаточной характеристики КМОП аналогового компонента (100 кривых, корреляция между приборами не учитывается)

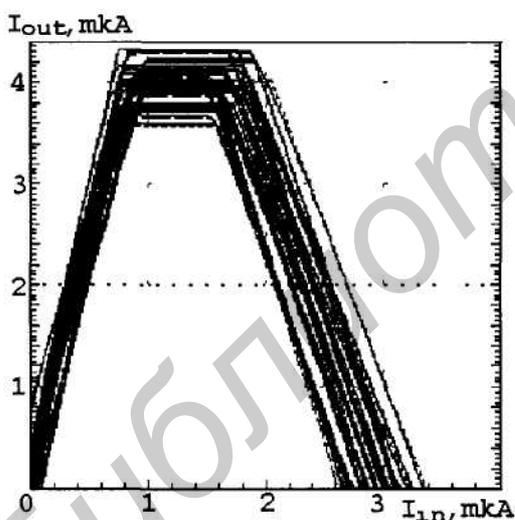


Рис. 3. Статистическое распределение передаточной характеристики КМОП аналоговой схемы (120 кривых, корреляция между отдельными приборами введена посредством учета флуктуаций технологических параметров)

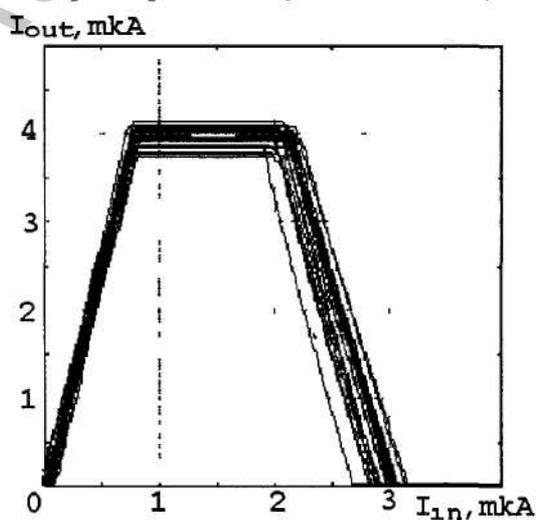


Рис. 4. Статистическое распределение передаточной характеристики КМОП аналоговой схемы. Результат экспериментального измерения тридцати реальных приборов, изготовленных по 1-мкм КМОП технологии

Если же учитывать флуктуации значимых технологических параметров в реальной КМОП технологии (таких, как, например, длительность процесса окисления при формировании подзатворного диэлектрика, дозы имплантации

при формировании кармана, сток-истоковых областей и канала МОП транзисторов), то получается совсем иной, более оптимистичный результат (рис. 3).

Результаты экспериментальных измерений тридцати приборов, изготовленных по 1-мкм КМОП технологии, представлены на рис. 4.

Из анализа результатов, представленных на рис. 2-4, видно, что статистический разброс передаточных характеристик, рассчитанных с учетом флуктуации значимых технологических параметров, более соответствует результатам измерений реальных схем, чем теоретические результаты, полученные в HSPICE статистическом моделировании. Отсюда следует вывод о важности и необходимости проведения статистического технологического моделирования для получения реального прогнозирования работоспособности создаваемого прибора/схемы.

Однако прямое статистическое моделирование технологии требует значительных вычислительных ресурсов. Так, трехмерное моделирование с использованием программы SSuprem-IV [6] только одной технологической операции перераспределения примесей при высокотемпературном окислении требует 1-2 часа расчетного времени. Очевидно, что многомерное статистическое моделирование технологии ИМС в цикле Монте-Карло даже с помощью современных программ нереально с точки зрения разумных времен расчетов. В связи с этим особую актуальность приобретает применение аппроксимационных методов. Идея заключается в том, чтобы найти эффективный способ построения аппроксимационных зависимостей результатов численного моделирования технологии, которые позволили бы достаточно точно описать результаты как можно меньшего количества компьютерных экспериментов в виде, например, полиномиального ряда и затем использовать эти аппроксимационные зависимости в статистических расчетах в цикле Монте-Карло.

## **1. МЕТОДЫ МНОГОФАКТОРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИМС**

Результаты одного из первых исследований, посвященных статистическому моделированию технологии ИМС, были опубликованы в работе [7], в которой случайные глобальные и независимые локальные изменения технологических параметров учитываются поочередно, в определенном иерархическом порядке. В такой простой модели можно получить разумные результаты для вариаций параметров одного прибора, что и было сделано в работе [8]. Проблема связи результатов статистического моделирования технологии со статистическим анализом характеристик прибора и схемы была впервые обсуждена в работе [9].

Выбор метода аппроксимации результатов численного моделирования зависит от многих параметров: размерности задачи, количества значимых (т.е. оказывающих наиболее существенное влияние на выходные характеристики результатов моделирования) технологических параметров, объема выборки, области аппроксимации, заданной точности расчетов, допустимых вычислительных ресурсов - времени расчетов и объема памяти компьютера. Конечной це-6

лью аппроксимации является построение функции в  $(N+1)$ -МерноМ пространстве, достаточно точно описывающей зависимости выходной характеристики результатов моделирования  $Y$  (профиля распределения легирующих примесей, геометрических характеристик формируемой структуры или SPICE-параметров приборов) от совокупности  $N$  значимых входных технологических параметров.

При решении задачи аппроксимации сложных функций совершенно естественно использование традиционных сплайновых методов [10].

Одним из возможных способов построения такой аппроксимационной зависимости является применение интерполяционного бикубического сплайна, представляющего собой функцию двух переменных. Достоинства такого способа несомненны: для решения линейных систем, возникающих в ходе построения сплайн-функций, существуют достаточно эффективные методы, графики построенных сплайн-функций проходят через все заданные точки, полностью сохраняя первоначально заданную информацию.

Однако изменение лишь одной исходной точки требует пересчета практически всех коэффициентов сплайна. Поскольку исходный набор точек также несет определенную погрешность, совпадения аппроксимационной функции с исходной во всех точках выборки не требуется. В этом случае наиболее эффективными являются методы сглаживания.

В основе методов сглаживания лежит использование бикубической поверхности Безье. Эта функция обладает замечательными свойствами: она является гладкой, начинается в первой точке выборки и заканчивается в последней, касаясь при этом отрезков контрольной ломаной, функциональные коэффициенты при вершинах являются многочленами Безье. Поэтому поверхность Безье лежит в выпуклой оболочке, порождаемой исходной выборкой.

Другим удобным способом сглаживания аппроксимационных функций является В-сплайн. Построенная с использованием такого сплайна функция обладает важным локальным свойством: изменение одной вершины в массиве не приводит к полному изменению всей кривой.

Сплайновый метод аппроксимации функций используется, например, в работе [11]. Для конструирования полуэмпирических зависимостей, описывающих профили распределения легирующих примесей после высокотемпературной обработки как результат численных расчетов, авторы используют полиномы Лежандра (исходные профили рассчитываются посредством численного решения одномерного диффузионного уравнения).

В последнее время для аппроксимации сложных функций применяются нейронные структуры [12], в частности, алгоритмы, основанные на эвристическом приближении теории нейронных сетей к решению проблемы преобразования информации [13]. Такой подход имеет ряд несомненных преимуществ: временные затраты существенны только на этапе обучения, последующая аппроксимация осуществляется достаточно быстро и, кроме того, этот метод позволяет широко использовать интерполяцию. Методы и алгоритмы теории нейронных сетей успешно используются при моделировании функционирования оборудования, применяемого в технологии микроэлектроники для обработки полупроводниковых структур [14-16].

Эвристическая природа алгоритмов распознавания образов определяется использованием практически безграничной совокупности данных, необходи-

мых на этапе обучения системы. Модели для решения задачи описания всей совокупности неопределенных данных, проверяемые для каждой эвристики, представляют собой конфиденциальный уровень соответствующих неопределенных классификаторов. При этом один из возможных способов повышения эффективности классификации неопределенной совокупности описываемых объектов состоит в одновременном использовании конечного набора эвристик. При таком подходе поиск оптимального результирующего описания входных данных осуществляется не только по параметрическому пространству отличающихся неопределенных классификаторов из всей совокупности описываемых объектов, но также и по всевозможным суперпозициям описываемых элементов [17].

Точность и надежность аппроксимации результатов статистического численного моделирования технологии ИМС на основе эвристического алгоритма метода распознавания образов исследованы в работе [18]. Проведено сравнение результатов одномерного численного моделирования технологии с использованием программы SUPREM II и полученных посредством аппроксимации численных расчетов на основе эвристического алгоритма.

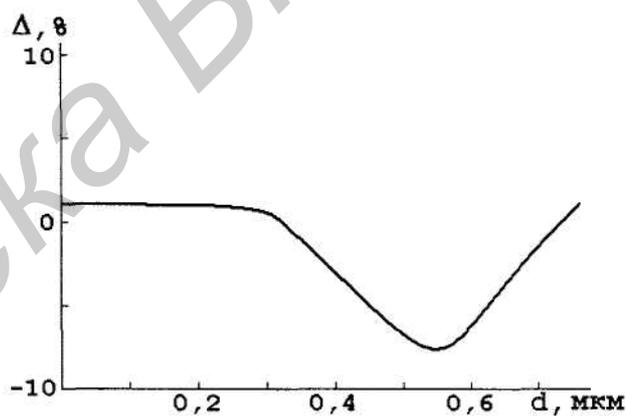
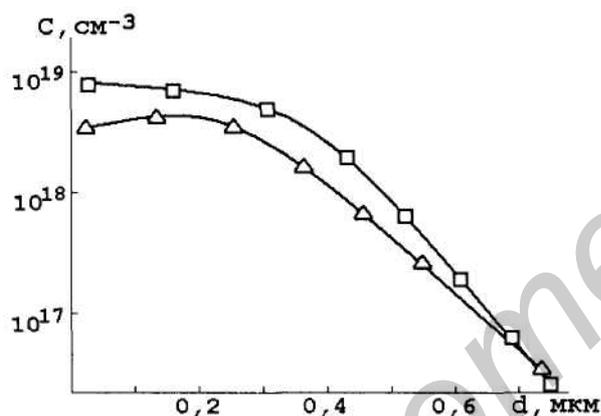


Рис. 5. Профили распределения концентрации фосфора, сформированные в результате постимплантационного высокотемпературного окисления :  
 □ - численное моделирование с использованием программы SUPREM II;  
 Δ - аппроксимация с использованием метода распознавания образов;  
 C – концентрация фосфора;  
 d – расстояние от поверхности пластины

Рис.6. Зависимость от глубины d относительной разницы Δ между концентрациями фосфора, рассчитанными численно и аппроксимированными с использованием метода распознавания образов

Сравнительный анализ осуществлен на примере моделирования процесса перераспределения фосфора в результате пост имплантационного высокотемпературного окисления. Исходный профиль распределения фосфора сформиро-

ван в результате его имплантации в кремниевую подложку (энергия имплантации  $\phi=100$  кэВ, доза  $D=10^{15}$  см<sup>2</sup>). Окисление проводилось в сухой атмосфере; длительность процесса  $t$  - 40 мин., температура  $T=1045$  °С. Рассчитанные обоими способами профили распределения фосфора показаны на рис. 5.

На рис. 6 приведена зависимость от глубины  $d$  относительной разницы  $A$  между значениями концентраций фосфора, рассчитанными численно и полученными посредством аппроксимационной обработки с использованием метода распознавания образов.

Следует отметить разумное согласие между результатами, полученными разными способами. Разница между сравниваемыми профилями распределения концентрации фосфора составляет менее 10 % вплоть до глубины порядка 0.8 мкм. В принципе, полученные результаты показывают обнадеживающую эффективность использования метода распознавания образов для аппроксимации результатов численного моделирования технологии ИМС.

Однако применимость сплайновых и нейронно-сетевых аппроксимационных приближений оправдана лишь в случае одномерного численного моделирования технологии ИМС и весьма проблематична при решении многомерной по пространству и многофакторной по параметрам задачи статистического проектирования технологии, поскольку при этом требуются большие вычислительные ресурсы (объем памяти и время расчетов).

## **2. МЕТОД ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКОВ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ И НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

В последнее время при решении задачи оптимизации технологии ИМС посредством статистического анализа результатов численного моделирования активно используется классический метод описания выходных характеристик технологических процессов от входных параметров - метод поверхности откликов (RSM - Response Surface Methodology). Поведение входных параметров исследуемых процессов в этом методе рассматривается как „черный ящик“, а поверхность выходных характеристик (Response Surface) описывается в виде полинома (обычно второго порядка). В рамках этого метода возможно эффективное использование многомерных физических моделей процессов микроэлектроники для статистического проектирования и оптимизации технологии/прибора/схемы [19-21].

RSM методология позволяет решить принципиальную проблему, связанную с большими вычислительными затратами, необходимыми для осуществления процедуры оптимизации параметров посредством статистического анализа в цикле Монте-Карло результатов численного моделирования в совместном цикле проектирования технологии/прибора/схемы.

RSM метод достаточно экономичен при исследовании чувствительностей параметров технологического процесса/прибора/схемы посредством аппроксимации сложных взаимозависимостей между ними (например, между пороговым напряжением МОП транзистора и дозами, энергиями имплантации легирующих



Число таких уравнений  $n$  должно быть равно количеству неизвестных коэффициентов  $a_{ij}$ .

В общем виде систему уравнений (3) удобно записать как операторное уравнение первого рода:

$$Y = AX. \quad (4)$$

Здесь  $Y = (Y^{(1)}, Y^{(2)}, \dots, Y^{(l)}, \dots, Y^{(n)})$  - известный вектор размерности  $n$ ;  $X = (X_{ij})$ , где  $i, j = 0, 1, 2, \dots, N$  - квадратная матрица размером  $(N+1) \times (N+1)$  и  $A = (a_{ij})$  - искомый вектор.

Предполагая, что матрица  $X$  невырождена ( $\det X \neq 0$ ) и уравнение  $AX=0$  имеет только тривиальное решение, система (4) имеет единственное решение  $A=X^{-1}Y$ . Из соображений экономии вычислительных ресурсов для решения системы (4) наиболее эффективно использование численных методов.

С учетом условия ортогональности членов ряда Тейлора (2) матрица  $X$  в общем виде представляет собой верхнюю треугольную диагональную матрицу:

$$\begin{array}{cccccc} x_{00} & x_{10} & x_{20} & x_{30} & \dots & x_{N0}; \\ 0 & x_{11} & x_{21} & x_{31} & \dots & x_{N1}; \\ 0 & 0 & x_{22} & x_{32} & \dots & x_{N2}; \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & x_{NN}, \end{array} \quad (5)$$

где  $x_{00} = 0, x_{10} = X_1, x_{20} = X_2, \dots, x_{N0} = X_N,$   
 $x_{11} = X_1^2, x_{22} = X_2^2, \dots, x_{NN} = X_N^2,$   
 $x_{21} = X_2X_1, x_{31} = X_3X_1, \dots, x_{ij} = X_iX_j, \dots, x_{N,N-1} = X_NX_{N-1}.$

Матрица (5) для решения системы уравнений (4) имеет размер  $n^2$ . Простая формула  $n = N(N+3)/2$  устанавливает зависимость между количеством экспериментов  $n$ , необходимых для решения системы линейных алгебраических уравнений (3) относительно неизвестных  $a_{ij}$ , и количеством входных факторов  $N$  - значимых параметров технологических процессов. Таким образом, при использовании RSM методологии необходимо провести, например для  $N = 11$  значимых технологических параметров, лишь 77 численных или натуральных экспериментов вместо  $2^N = 2048$  - минимального числа компьютерных экспериментов, необходимых при осуществлении процедуры аппроксимации обычным методом наименьших квадратов в рамках полного факторного эксперимента.

Другой способ аппроксимации результатов численного моделирования или натуральных экспериментов для статистического анализа технологических параметров технологии ИМС основан на модифицированной RSM методологии (MRSM) [22]. В этом приближении используются тензорные произведения полиномов, в частности полиномов Чебышева, для построения нелинейного регрессионного ряда с целью уменьшения среднеквадратичного расхождения между аппроксимационной зависимостью и результатами численного моделиро-

вания технологии.

Блок-схема программы реализации задачи многомерного статистического проектирования и оптимизации технологии ИМС RSM методом представлена на рис. 7 [23]. Общий алгоритм решения задачи состоит из двух основных частей. Первая часть программного обеспечения - это блок реализации RSM методологии для расчета коэффициентов полинома, адекватно аппроксимирующего результаты численного моделирования технологического маршрута в любой комбинации значений входных технологических параметров во всем заданном диапазоне их возможных изменений. Вторая часть - блок анализа и оптимизации технологических параметров.

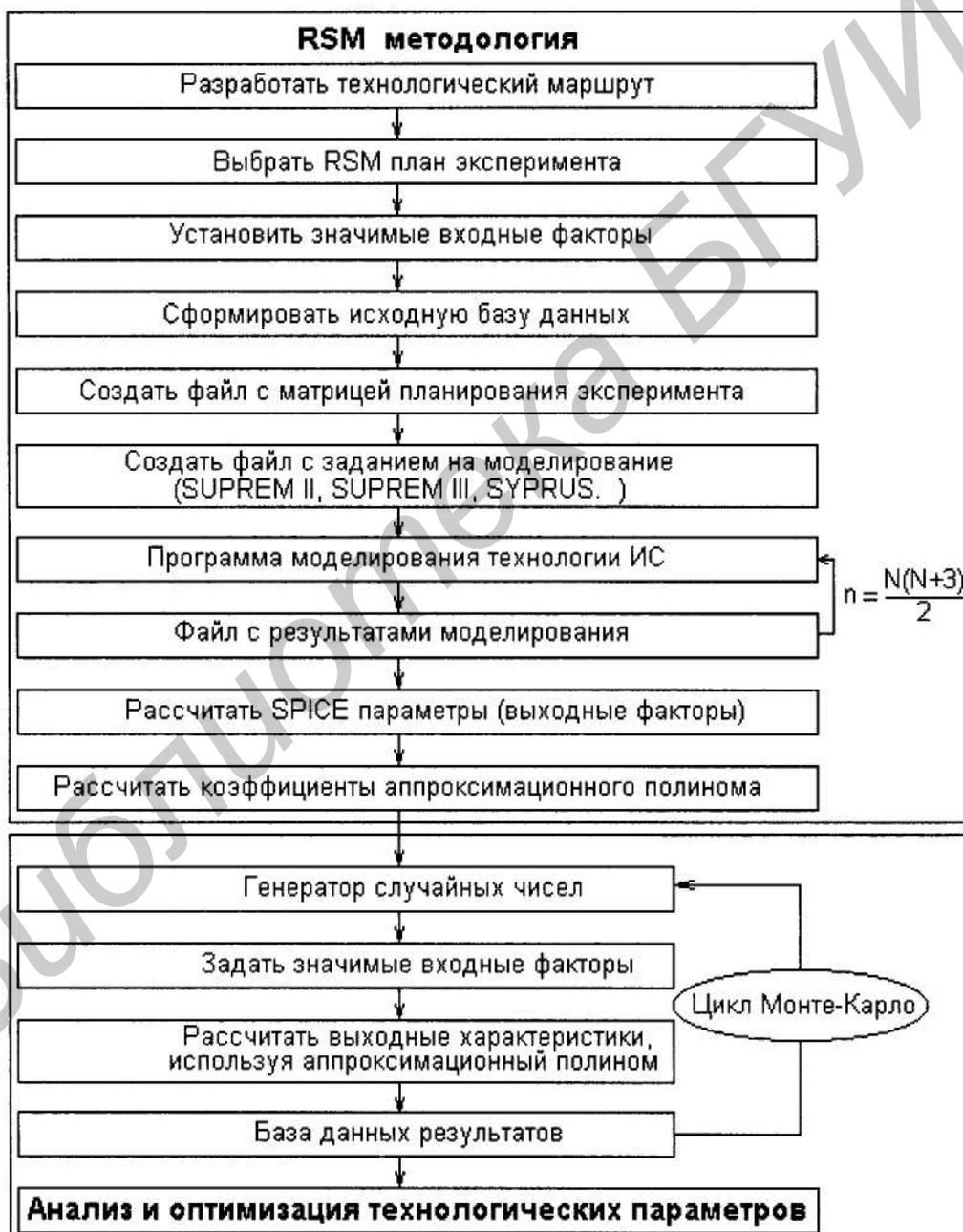


Рис. 7. Блок-схема программы многомерного статистического проектирования и оптимизации технологии ИМС RSM методом

Согласно используемой методике, для статистического анализа результатов численного моделирования технологии ИМС [24] в план эксперимента для любого TV-факторного анализа всегда входит центральная точка  $jV$ -мерного "кубоида" (для 3-факторного анализа - это точка с координатами (0, 0, 0) плюс количество экспериментов, дополняющее их общее число до числа строк в матрице решения системы линейных алгебраических уравнений (3). Очевидно, такая методика выбора плана экспериментов совершенно справедлива для небольших отклонений входных факторов, т. е. для линейной области зависимости выходной характеристики от входных факторов. Однако статистика проведенных сравнительных расчетов показала, что такой подход дает разумные результаты и для сравнительно больших отклонений (вплоть до 50 % от номинальных значений) входных факторов. Экономичность такого подхода для многофакторного ( $N > 3$ ) анализа очевидна.

### **3. ПРИМЕРЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИМС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RSM И MRSM ПРИБЛИЖЕНИЙ**

Ниже приведены примеры статистического анализа, проведенного на основе RSM и MRSM приближений [22, 25, 26], результатов моделирования с использованием различных программ технологического проектирования (SUPREM II, SUPREM III и SYPRUS [27,28]), а также результатов натуральных экспериментов технологии ИМС.

#### **3.1. Статистический анализ результатов моделирования технологии ИМС, полученных с использованием программ SUPREM II и SYPRUS**

Проведено сравнение результатов численного моделирования формирования биполярного транзистора и МОП транзисторов (n-канального и p-канального типов) в стандартных соответственно биполярной и КМОП технологиях. Биполярная технология (включающая создание скрытого слоя, легирование базы и эмиттера посредством имплантации и диффузии из неограниченного источника и формирование изоляции на p-n-переходе) моделировалась с использованием программы SUPREM II, а КМОП технология - с использованием программы SYPRUS.

Ниже приведен файл в формате входного языка программы SUPREM II задания на моделирование технологии формирования структуры биполярного транзистора:

```
TITLE NPN
SUBSTRATE ORNT=100, ELEM=B, CONC=1E16
GRID DYSI=0.01, YMAX=10.0
PRINT HEAD=Y
STEP TYPE=OXID, TIME=40, TEMP=900, MODL=WET1
STEP TYPE=OXID, TIME=60, TEMP=1.200E+03, MODL=DRY2
STEP TYPE=ETCH, TEMP=40
STEP TYPE=IMPL, ELEM=AS, DOSE=4.000E+15, AKEV=1.500E+02
```

```

STEP TYPE=OXID, TIME=40, TEMP=900, MODL=WET1
STEP TYPE=OXID, TIME=60, TEMP=1.2000E+03, MODL=DRY2
STEP TYPE=ETCH, TEMP=40
STEP TYPE=EPIT, TIME=8, GRTE=0.5, CONC=1E15, TEMP=500, ELEM=AS
STEP TYPE=OXID, TIME=10, TEMP=900, MODL=WET1
STEP TYPE=OXID, TIME=50, TEMP=1.2370E+03, MODL=DRY1
STEP TYPE=ETCH, TEMP=40
STEP TYPE=PDEP, ELEM=B, CONC=2.000E+20, TIME=15, TEMP=1.000E+03
STEP TYPE=OXID, TIME=25, TEMP=1.192E+03, MODL=DRY1
STEP TYPE=ETCH, TEMP=40
STEP TYPE=PDEP, ELEM=P, CONC=7.000E+20, TIME=50, TEMP=9.500E+02
STEP TYPE=OXID, TIME=60, TEMP=1.175E+03, MODL=DRY1
END

```

В качестве значимых технологических параметров выбраны:

- доза имплантации мышьяка при формировании скрытого слоя  $DOSE\_1=4 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; диапазон изменения  $\Delta=25\%$ ;
- энергия имплантации мышьяка при формировании скрытого слоя  $ENERGY\_1=150 \text{ кэВ}$ ; диапазон изменения  $\Delta=20\%$ ;
- температура окисления для формирования маски перед легированием области базы  $TEMP\_1=1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ; диапазон изменения  $\Delta=5\%$ ;
- концентрация поверхностного источника при диффузионном легировании области базы  $CONC\_1=2 \times 10^{20} \text{ см}^{-2}$ ; диапазон изменения  $\Delta=25\%$ ;
- температура процесса при диффузионном легировании области базы  $TEMP\_2=1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ; диапазон изменения  $\Delta=5\%$ ;
- концентрация поверхностного источника при диффузионном легировании области эмиттера  $CONC\_2=7 \times 10^{20} \text{ см}^{-2}$ ; диапазон изменения  $\Delta=25\%$ ;
- температура процесса при диффузионном легировании области эмиттера  $TEMP\_3=950 \text{ }^\circ\text{C}$ ; диапазон изменения  $\Delta=5\%$ ;

Коэффициенты аппроксимационной полиномиальной зависимости выходного параметра  $Y$  от выбранных значимых технологических параметров  $DOSE\_1$ ,  $ENERGY\_1$ ,  $TEMP\_1$ ,  $TEMP\_2$  и  $TEMP\_3$  рассчитаны посредством обработки 35 ( $N=7$ ) численных экспериментов (табл. 1), полученных на основании описанного подхода к планированию эксперимента, с использованием программы SUPREM II.

Проведена серия многовариантных в цикле Монте-Карло расчетов (численных по программе SUPREM II и с использованием полученной аппроксимационной зависимости). Комбинации входных технологических параметров определялись случайным образом по нормальному закону распределения в пределах заданного диапазона их изменения.

Во второй серии расчетов аналогичная процедура реализована для статистического анализа результатов моделирования стандартной КМОП технологии с использованием программы SYPRUS.

Таблица 1

Матрица планирования для расчета коэффициентов полинома, аппроксимирующего результаты численного моделирования технологии формирования биполярного транзистора

№ опыта	DOSE_1	ENERGY_1	TEMP_1	CONC_1	TEMP_2	CONC_2	TEMP_3	Y
1	0	0	0	0	0	0	0	y <sub>1</sub>
2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y <sub>2</sub>
3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	y <sub>3</sub>
4	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y <sub>4</sub>
5	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	y <sub>5</sub>
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	y <sub>6</sub>
7	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	y <sub>7</sub>
8	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	y <sub>8</sub>
9	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	y <sub>9</sub>
10	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	y <sub>10</sub>
11	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	y <sub>11</sub>
12	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	y <sub>12</sub>
13	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	y <sub>13</sub>
14	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	y <sub>14</sub>
15	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	y <sub>15</sub>
16	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	y <sub>16</sub>
17	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	y <sub>17</sub>
18	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	y <sub>18</sub>
19	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	y <sub>19</sub>
20	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	y <sub>20</sub>
21	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	y <sub>21</sub>
22	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	y <sub>22</sub>
23	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y <sub>23</sub>
24	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	y <sub>24</sub>
25	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	y <sub>25</sub>
26	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y <sub>26</sub>
27	+1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	y <sub>27</sub>
28	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	y <sub>28</sub>
29	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	y <sub>29</sub>
30	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	y <sub>30</sub>
31	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	y <sub>31</sub>
32	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	y <sub>32</sub>
33	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	y <sub>33</sub>
34	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	y <sub>34</sub>
35	-1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y <sub>35</sub>

В этих расчетах в качестве значимых параметров КМОП технологии были выбраны:

- доза имплантации WELL\_IMPL\_DOSE=2,35x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> при формировании кармана; диапазон изменения Δ= 25%;
- температура окисления при формировании подзатворного диэлектрика G\_OX\_TEMP=1170<sup>0</sup>С; диапазон изменения Δ= 2,5%;

- доза имплантируемых примесей при легировании канала, CHIMPDOSE; номинальное значение  $1,9 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , диапазон статистического разброса  $\Delta=15\%$ ;
- длительность окислительного процесса при формировании подзатворного диэлектрика GOX2TIME; номинальное значение 1200 с., диапазон статистического разброса  $\Delta=30\%$ ;
- концентрация примесей в подложке NSUB; номинальное значение  $2,5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , диапазон статистического разброса  $\Delta=50\%$ ;

В табл. 2 приведены сравнительные результаты исследования эффективности RSM-методологии для этих двух серий расчетов.

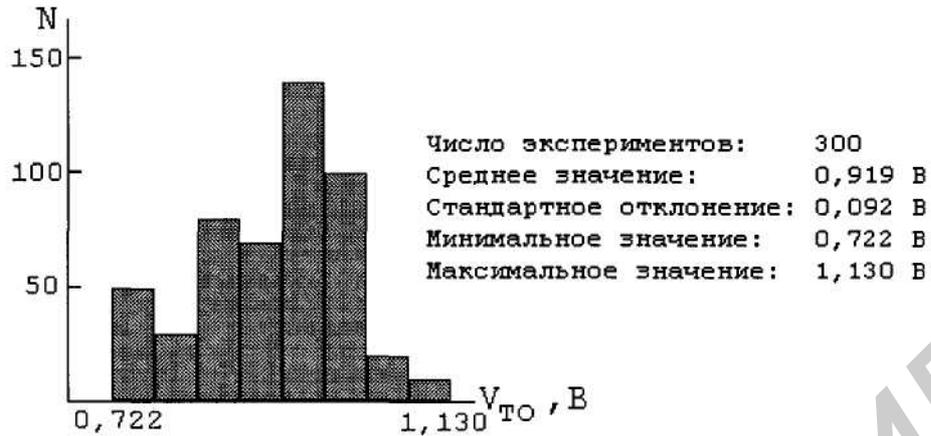
Таблица 2

Точность, достигаемая использованием RSM приближения, при статистическом моделировании технологии формирования структуры и электрических параметров приборов ИМС

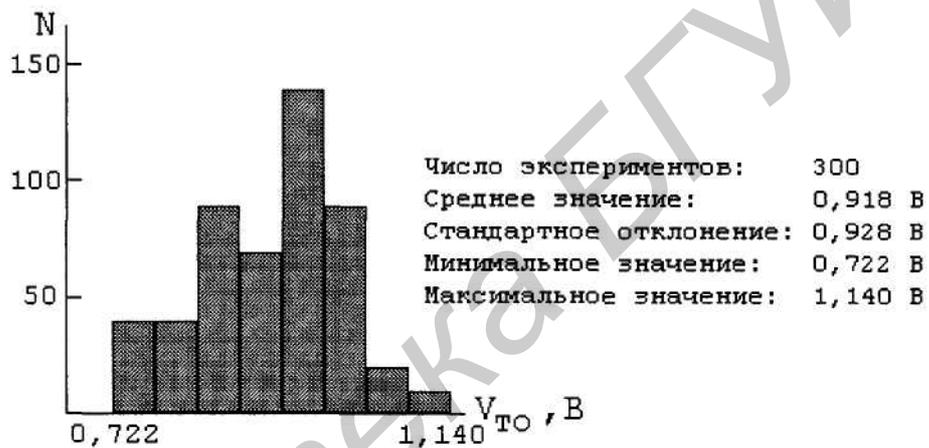
SUPREM II		SYPRUS	
Выходные параметры	Max $\Delta = (\text{RSM-SU})/\text{RSM}, \%$	Выходные параметры	Max $\Delta = (\text{RSM-SY})/\text{RSM}, \%$
$d_E$ , мкм	2,4	$V_{TON}$ , В	2,81
$d_B$ , мкм	3,9	$K_{PN}$	0,47
$d_C$ , мкм	3,0	$V_{TOP}$ , В	0,49
$\rho_E$ , Ом/кв.	3,1	$K_{PP}$	0,46
$\rho_B$ , Ом/кв.	4,6	$V_{TON1}$ , В	2,12
$\rho_C$ , Ом/кв.	2,4	$K_{PN1}$	0,47

Здесь  $d_E$ ,  $d_B$ ,  $d_C$  и  $\rho_E$ ,  $\rho_B$ ,  $\rho_C$  - соответственно глубины залегания p-n-переходов и слоевые сопротивления эмиттера, базы и коллектора биполярного транзистора (результаты численных расчетов получены с использованием программы SUPREM II); а  $V_{TON}$ ,  $K_{PN}$ ,  $V_{TOP}$ ,  $K_{PP}$  и  $V_{TON1}$ ,  $K_{PN1}$  - соответственно пороговые напряжения и  $KAPPA$  (SPICE-параметры) nМОП и pМОП транзисторов (результаты численных расчетов получены с использованием программы SYPRUS). Max  $\Delta$  - максимальное значение разницы в процентах между результатами численного моделирования (по программам SUPREM II или SYPRUS) и результатами, полученными с использованием RSM приближения в многовариантных компьютерных экспериментах с различной комбинацией входных значимых технологических параметров.

На рис. 8 приведены гистограммы распределений значений порогового напряжения nМОП транзистора, полученные во второй серии статистических расчетов с использованием программы SYPRUS (а) и RSM аппроксимации (б).



а



б

Рис. 8. Гистограммы распределений значений порогового напряжения пМОП транзистора, полученные в серии статистических расчетов с использованием программы SYPRUS (а) и RSM аппроксимации (б)

На рис. 9 приведены данные, иллюстрирующие корреляцию между значениями порогового напряжения пМОП транзистора, полученные во второй серии статистических расчетов с использованием программы SYPRUS и RSM аппроксимации.

В третьей серии модельных экспериментов (100 вариантов) исследована точность RSM приближения на согласование SPICE параметров МОП транзисторов,  $V_{TO}$  и  $KAPPA$ , для двух пар пМОП транзисторов и одной пары рМОП транзисторов. Численное моделирование проводилось с использованием программы SYPRUS.

На рис. 10 приведены данные, иллюстрирующие корреляцию между значениями порогового напряжения пМОП транзистора (а) и величины  $KAPPA$  (б), полученные в серии статистических расчетов с использованием программы SYPRUS и RSM аппроксимации.

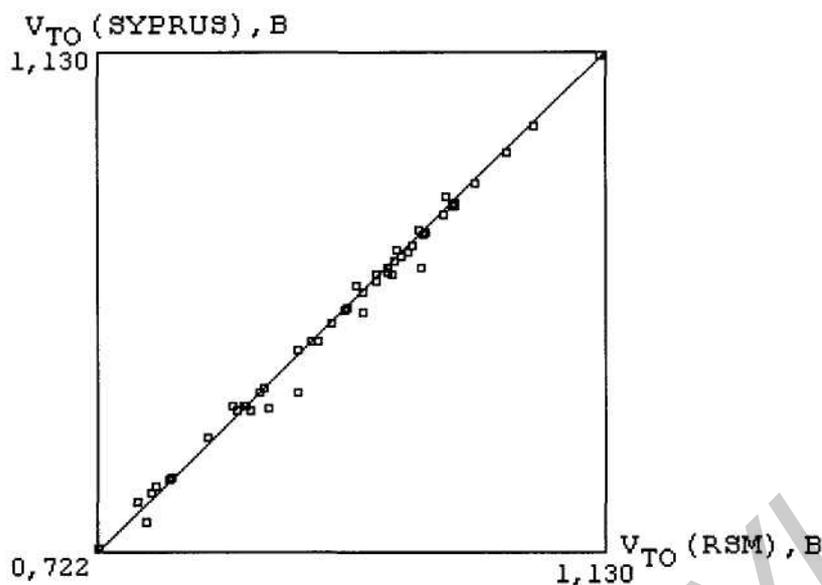


Рис. 9. Корреляция между значениями порогового напряжения nМОП транзистора, полученными в серии статистических расчетов с использованием программы SYPRUS и RSM аппроксимации

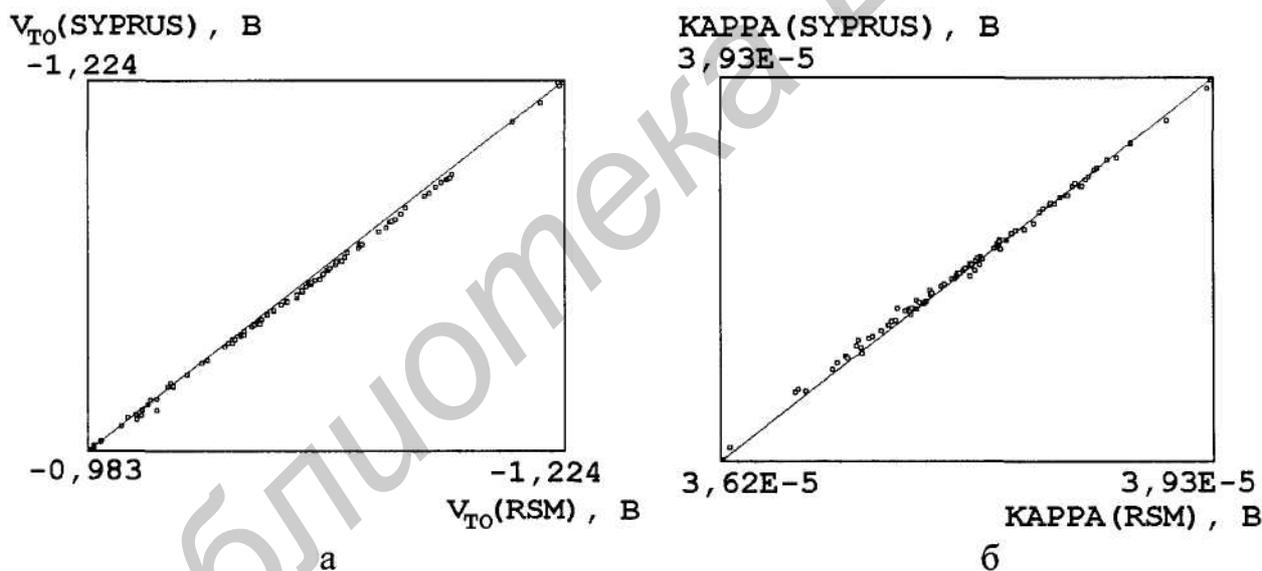


Рис. 10. Корреляционные зависимости между значениями порогового напряжения nМОП транзистора (а) и SPICE-параметра *KAPPA* (б), полученными в серии статистических расчетов с использованием программы SYPRUS и RSM аппроксимации

### 3.2. Статистический анализ результатов натуральных экспериментов по формированию nМОП и pМОП транзисторов

■ Серия расчетов с использованием MRSM методики проведена посредством статистического анализа натуральных экспериментов как результат изготовления nМОП и pМОП транзисторов по КМОП технологии [25].

Для каждой партии соответствующих приборов был проведен 21 эксперимент (3-факторный полный эксперимент).

В качестве значимых технологических параметров, оказывающих наибольшее влияние на выходные характеристики пМОП и рМОП приборов, были выбраны 3 фактора (дозы имплантированных ионов при легировании различных структурных областей транзисторов – кармана, стока и канала) со следующими значениями:

- доза имплантации бора  $D_{n,W}$  (экспериментальные условия соответствовали номинальному значению  $6,9 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , разброс  $\Delta = 2,3 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ ) при создании кармана;
- доза имплантации фосфора  $D_{n,D}$  (номинальное значение  $3 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$ , разброс  $\Delta = 1,5 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ) при создании области стока;
- доза имплантации бора  $D_C$  (номинальное значение  $1,025 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , разброс  $\Delta = 0,515 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ ) при подлегировании канала.

Измеренные выходные характеристики изготовленных пМОП транзисторов:

- пороговое напряжение  $V_{T,1}$  (при  $V_{sub} = -4 \text{ В}$ ,  $L = 0.9 \text{ мкм}$ ,  $W = 50 \text{ мкм}$ ),
- пороговое напряжение  $V_{T,2}$  (при  $V_{sub} = 0 \text{ В}$ ,  $L = 0.9 \text{ мкм}$ ,  $W = 50 \text{ мкм}$ ),
- пороговое напряжение  $V_{T,3}$  (при  $V_{sub} = -4 \text{ В}$ ,  $L = 0.9 \text{ мкм}$ ,  $W = 1.8 \text{ мкм}$ ),
- ток стока  $I_{Dn}$  в режиме насыщения (при  $L = 0.9 \text{ мкм}$ ,  $W = 50 \text{ мкм}$ ,  $V_D = V_G = 5 \text{ В}$ ),
- крутизна  $KP$  (при  $L = 0.9 \text{ мкм}$ ,  $W = 50 \text{ мкм}$ ),
- напряжение пробоя  $V_{BV}$  в активном режиме (при  $L = 0.9 \text{ мкм}$ ,  $W = 50 \text{ мкм}$ ).

Здесь  $L$  и  $W$  - длина и ширина канала,  $V_{sub}$ ,  $V_D$  и  $V_G$  - напряжения соответственно на подложке, стоке и затворе.

Матрица планирования экспериментов (в кодированном виде) и соответствующие каждому эксперименту измеренные значения выходных параметров пМОП транзисторов представлены в табл. 3. Кодированные значения выходных параметров технологического процесса  $X_C$  стандартным образом связаны с их реальными значениями  $X_R$  посредством выражения:

$$X_R = \frac{X_C (X_{R,max} - X_{R,min})}{2} + \frac{X_{R,max} + X_{R,min}}{2}.$$

На рис. 11 приведена корреляционная зависимость между измеренными значениями порогового напряжения  $V_{T,1}$  пМОП транзистора и соответствующими результатами аппроксимации 21 эксперимента. Наихудшее различие между этими результатами составляет менее 8 %, что свидетельствует о приемлемой точности аппроксимации.

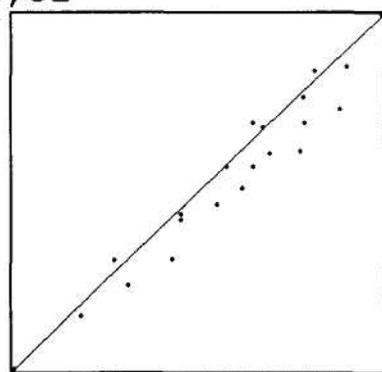
Процедура оптимизации параметров технологического маршрута сводится к математической задаче определения допустимого диапазона значений входных технологических параметров, обеспечивающих изменение выходных характеристик прибора/схемы внутри заданного интервала.

Матрица планирования эксперимента и выходные характеристики анализируемых pMOP транзисторов

№ эксп.	$D_{nW}$	$D_{nD}$	$D_C$	$V_{T,1}$	$V_{T,2}$	$V_{T,3}$	$I_{Dn}$	$KP$	$V_{BV}$
1	1	1	1	1,6966	726,25	939,306	15,769	0,86337	7,8
2	0	0	0	1,6084	713,95	911,426	15,247	0,83000	7,6
3	-1	-1	-1	0,8547	280,86	513,325	16,992	0,76301	8,1
4	-1	-1	1	1,4322	655,82	896,500	15,607	0,82703	7,5
5	-1	1	-1	0,6431	197,90	491,750	20,202	0,87609	7,3
6	-1	1	1	1,4344	649,27	915,625	16,710	0,88278	7,5
7	1	-1	-1	1,3946	498,69	686,317	14,523	0,71675	8,1
8	1	1	-1	1,0705	373,95	570,156	19,006	0,88813	7,3
9	1	-1	1	1,8067	761,67	958,625	14,365	0,79968	7,9
10	0	1	-1	1,1629	520,15	808,425	17,450	0,86950	7,7
11	-1	0	1	1,4538	677,95	921,100	15,855	0,84876	7,8
12	-1	0	0	1,0719	428,33	704,700	17,605	0,84234	7,7
13	0	0	-1	1,0040	325,80	545,325	17,747	0,81231	7,6
14	0	1	1	1,4014	616,12	888,575	16,587	0,86311	7,4
15	1	-1	0	1,6744	654,60	839,225	12,805	0,67814	8,2
16	0	-1	1	1,5943	671,12	911,750	14,647	0,78165	7,5
17	0	1	1	1,5637	685,05	988,300	15,307	0,82215	7,6
18	-1	-1	0	1,3081	499,87	753,300	15,727	0,77662	7,5
19	0	-1	0	1,3179	487,47	709,325	15,702	0,77113	7,6
20	0	-1	-1	1,1422	371,16	591,425	15,277	0,71303	8,1
21	0	0	1	1,5603	686,37	922,350	15,522	0,83421	7,6

$V_T$  (RSM), В

1,81



0,64 1,81  
 $V_T$  (Experiment), В

Рис. 11. Корреляционная зависимость между измеренными в 21 эксперименте значениями порогового напряжения  $V_{T,1}$  pMOP транзисторов и соответствующими результатами MRSМ аппроксимации

Результаты оптимизации технологических параметров  
(доз имплантации  $D_{n,W}$ ,  $D_{n,D}$  и  $D_C$ )

Интервал изменения $V_{T,l}$ , В	Допустимый диапазон изменения $D_{n,W}$ , см <sup>-2</sup>	Допустимый диапазон изменения $D_{n,D}$ , см <sup>-2</sup>	Допустимый диапазон изменения $D_C$ , см <sup>-2</sup>
$0,7 \pm 0,07$	$4,6 \cdot 10^{12} \leq D_{n,W} \leq 6,7 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^{13} \leq D_{n,D} \leq 4,5 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^{11} \leq D_C \leq 7,8 \cdot 10^{11}$
$1,2 \pm 0,12$	$4,6 \cdot 10^{12} \leq D_{n,W} \leq 9,2 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13} \leq D_{n,D} \leq 4,5 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^{11} \leq D_C \leq 1,5 \cdot 10^{12}$
$1,7 \pm 0,17$	$5,4 \cdot 10^{12} \leq D_{n,W} \leq 4,6 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13} \leq D_{n,D} \leq 4,5 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{12} \leq D_C \leq 1,5 \cdot 10^{12}$

Результаты проведения процедуры оптимизации технологических параметров (доз имплантации  $D_{n,W}$ ,  $D_{n,D}$  и  $D_C$ ) с точки зрения обеспечения изменения порогового напряжения  $V_{T,l}$  в пределах 1% для трех его значений 0,7, 1,2 и 1,7 В приведены в табл. 4.

Из данных, приведенных в табл. 4, можно, в частности, сделать вывод о том, что дозы  $D_{n,W}$  и  $D_C$  являются более значимыми технологическими параметрами, чем доза  $D_{n,D}$ .

Полученные данные могут быть использованы в качестве рекомендаций при выборе оптимальных технологических параметров процесса изготовления МОП структур в реальных условиях опытно-промышленного производства.

### 3.3. Статистический анализ результатов натуральных экспериментов по формированию фосфорно-силикатной пленки

В качестве примера ниже приведены результаты статистического анализа и оптимизации натурального эксперимента, проведенного с целью получения оптимального состава трехкомпонентной жидкостекольной композиции (ЖСК), предназначенной для планаризации топологического рельефа при формировании межуровневого диэлектрика [22]. Состав композиции: тетраэтоксисилан (ТЭОС), тристриметилсилилфосфат (ТМФ), полипропиленгликоль (ППГ) и спиртовой растворитель.

Решены задачи аппроксимации зависимости толщины пленки ЖСК  $d$  от состава композиции на основании результатов эксперимента и определения диапазона изменения каждого из составляющих компонентов, обеспечивающих получение толщины пленки в заданном интервале ее разбросов.

Анализ результатов построения аппроксимационной зависимости толщины пленки ЖСК  $d$  от процентного содержания ТЭОС, ППГ и ТМФ (в дальнейшем - факторы  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$ ) показал, что эта зависимость сугубо нелинейна, что обусловило построение искомой функции в виде полинома Чебышева (MRSM-приближение).

Исходными данными для получения зависимости  $d$  от состава  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  является матрица экспериментальных данных (табл. 5).

Матрица экспериментальных данных

№ эксперимента	$X_1, \%$	$X_2, \%$	$X_3, \%$	$d, \text{мкм}$
1	15	3,6	2,0	0,177
2	15	3,6	1,2	0,186
3	15	3,6	0,4	0,175
4	15	2,1	2,0	0,192
5	15	2,1	1,2	0,171
6	15	2,1	0,4	0,161
7	15	0,6	2,0	0,163
8	15	0,6	1,2	0,186
9	15	0,6	0,4	0,140
10	25	3,6	2,0	0,279
11	25	3,6	1,2	0,268
12	25	3,6	0,4	0,306
13	25	2,1	2,0	0,294
14	25	2,1	1,2	0,308
15	25	2,1	0,4	0,249
16	25	0,6	2,0	0,217
17	25	0,6	1,2	0,211
18	25	0,6	0,4	0,185
19	35	3,6	2,0	0,509
20	35	3,6	1,2	0,404
21	35	3,6	0,4	0,468
22	35	2,1	2,0	0,465
23	35	2,1	1,2	0,431
24	35	2,1	0,4	0,422
25	35	0,6	2,0	0,420
26	35	0,6	1,2	0,388
27	35	0,6	0,4	0,364

Полученная в MRSМ приближении аппроксимационная зависимость для толщины пленки представляет собой следующее выражение:

$$d = 0,14397 + 0,1152 \cdot X_1 + 0,00007 \cdot X_1^2 + 0,68338 \cdot X_2 - 0,05517 \cdot X_1 X_2 + 0,00102 \cdot X_1^2 X_2 - 0,18162 \cdot X_2^2 + 0,01523 \cdot X_1 X_2^2 - 0,00027 \cdot X_1^2 X_2^2 + 1,53293 \cdot X_3 - 0,11572 \cdot X_1 X_3 + 0,00202 \cdot X_1^2 X_3 - 2,2644 \cdot X_2 X_3 + 0,18869 \cdot X_1 X_2 X_3 - 0,00344 \cdot X_1^2 X_2 X_3 + 0,52517 \cdot X_2^2 X_3 - 0,04408 \cdot X_1 X_2^2 X_3 + 0,00078 \cdot X_1^2 X_2^2 X_3 - 0,59927 \cdot X_3^2 + 0,04437 \cdot X_1 X_3^2 - 0,00075 \cdot X_1^2 X_3^2 + 0,88229 \cdot X_2 X_3^2 - 0,07191 \cdot X_1 X_2 X_3^2 + 0,00128 \cdot X_1^2 X_2 X_3^2 - 0,20052 \cdot X_2^2 X_3^2 + 0,01635 \cdot X_1 X_2^2 X_3^2 - 0,00028 \cdot X_1^2 X_2^2 X_3^2.$$

В приведенной зависимости коэффициенты при параметрах  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  для краткости записи представлены с точностью до пяти знаков после запятой. В действительности эти коэффициенты рассчитаны до шестнадцати знаков после запятой, что обеспечивает нулевое отклонение значений величины  $d$ , рассчитанной по аппроксимационной зависимости.

На рис. 12 приведены типичные поверхности отклика для полученной нелинейной аппроксимационной зависимости  $d(X_1, X_2, X_3)$ .

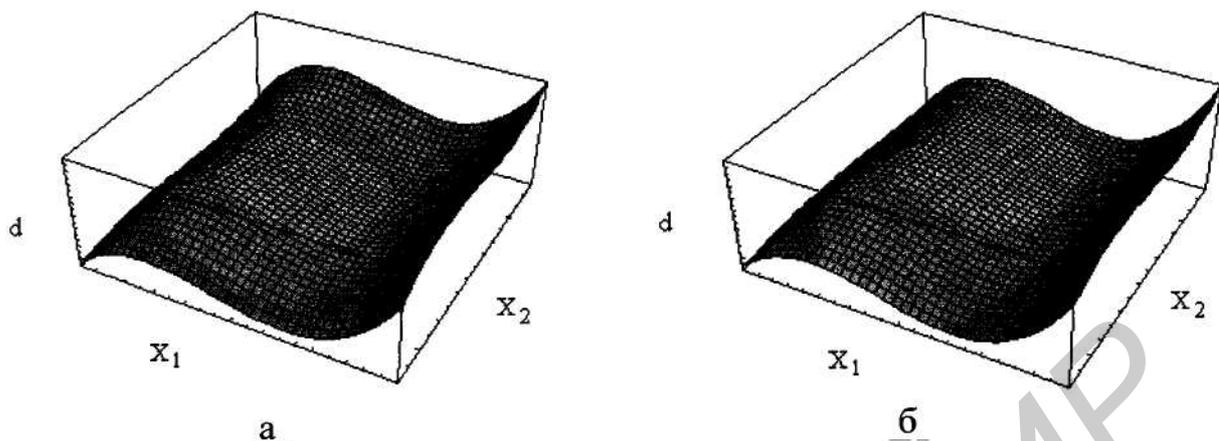


Рис. 12. Зависимости толщины пленки  $d$  от факторов  $X_1$  и  $X_2$  при  $X_3=0,4\%$  (а) и при  $X_3=1,2\%$  (б)

На рис. 13 представлены результаты исследований по определению диапазона изменения состава пленкообразующих соединений  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , обеспечивающего получение пленки ЖСК толщиной  $d$  в интервале 0,18-0,22 мкм. Данные, представленные на рис. 13, представляют собой точки на поверхности в дискретном координатном пространстве ( $X_2, X_3$ ) при  $X_1=17,9\%$  (рис. 13,а) и 23,6% (рис. 13,б) соответственно, которые удовлетворяют условиям получения пленки с толщиной в интервале 0,18-0,22 мкм.

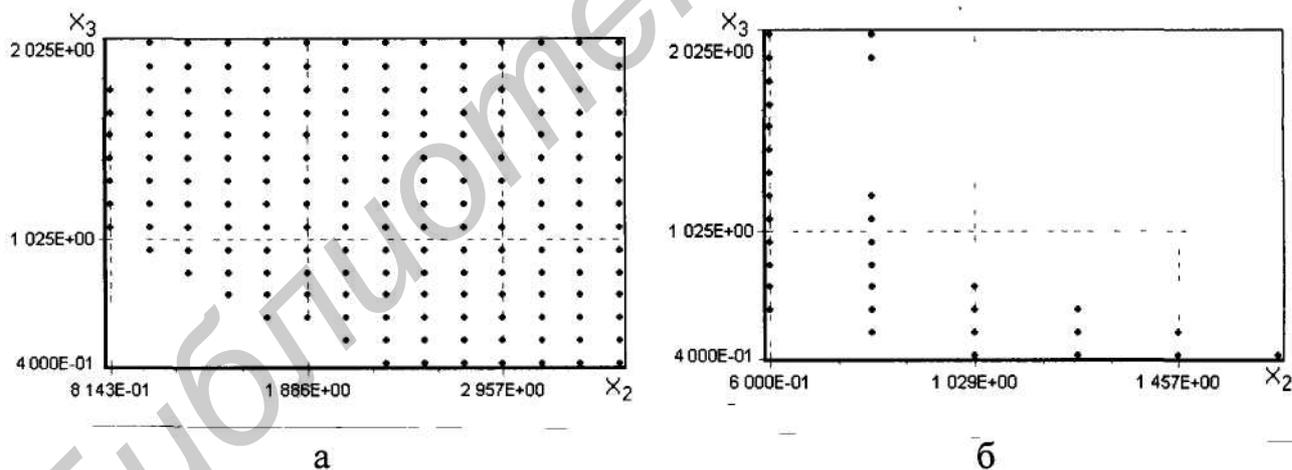


Рис. 13. Диапазоны изменений параметров  $X_2$  и  $X_3$  (в %), удовлетворяющие получению пленки ЖСК толщиной 0,18-0,22 мкм при значении величины  $X_1=17,9\%$  (а) и при  $X_1=23,6\%$  (б)

Из данных, представленных на рис. 13, можно сделать вывод о диапазоне изменения соответствующих параметров для получения пленки ЖСК с заданной толщиной (задача оптимизации параметров технологии). Так, для удовлетворения заданного условия по толщине пленки и при выбранном значении параметра  $X_2=0,8\%$  диапазоны изменения параметра  $X_3$  должны быть следующие:

$1,1\% \leq X_3 \leq 1,8\%$  при  $X_I=17,9\%$ ;  
 $0,5\% \leq X_3 \leq 1,2\%$  и  $1,9\% \leq X_3 \leq 2,1\%$  при  $X_I=23,6\%$ .

Таким образом, в пособии:

1. Проанализированы возможные приближения для проведения статистического анализа влияния флуктуаций технологических параметров на выходные характеристики разрабатываемых прибора/схемы. Сделан вывод о наибольшей эффективности RSM методологии для многомерного статистического анализа результатов проектирования ИМС в цикле Монте-Карло.

2. Приведен алгоритм реализации задачи многомерного статистического анализа и оптимизации технологии ИМС в цикле Монте-Карло.

3. Представлены результаты тестирования методики, алгоритмов и программного обеспечения для статистического моделирования технологии ИМС с использованием RSM методологии на основе конкретных компьютерных экспериментов проектирования биполярной и КМОП технологии на базе программ технологического моделирования SUPREM II и SYPRUS. Анализ результатов статистического моделирования технологии и полученных на их основе SPICE параметров приборов свидетельствует о работоспособности разработанных методик, алгоритмов и программного обеспечения.

4. Приведены результаты апробации разработанной методики статистической обработки и оптимизации технологических параметров для обработки базы данных натуральных экспериментов по формированию элементов ИМС с использованием MRSM приближения.

Представленные теоретические материалы и результаты компьютерных экспериментов по статистическому анализу и оптимизации технологических параметров изготовления интегральных микросхем позволяют сделать следующие выводы:

1. Статистический анализ и оптимизация параметров в процессе проектирования технологии/прибора/схемы являются важными и необходимыми этапами в современном производстве изделий микроэлектроники.

2. Полученные результаты для статистического проектирования ИМС на технологичность могут быть использованы не только в учебном процессе, но и в условиях опытно-промышленного и "виртуального" производства изделий микроэлектроники.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Обучающая программа для статистического проектирования технологии ИМС TRANSIT (TRAIning program for Statistical simulation of Ic Technology) предназначена для проведения статистического анализа и последующей оптимизации параметров технологического процесса изготовления ИМС

Для запуска программы TRANSIT войдите в подкаталог, где находится программное обеспечение (по умолчанию TRANSIT), и дважды кликните мышью на ярлыке Transit.exe либо, выбрав ярлык, нажмите клавишу ENTER. На экране отобразится исходное окно (рис.14).

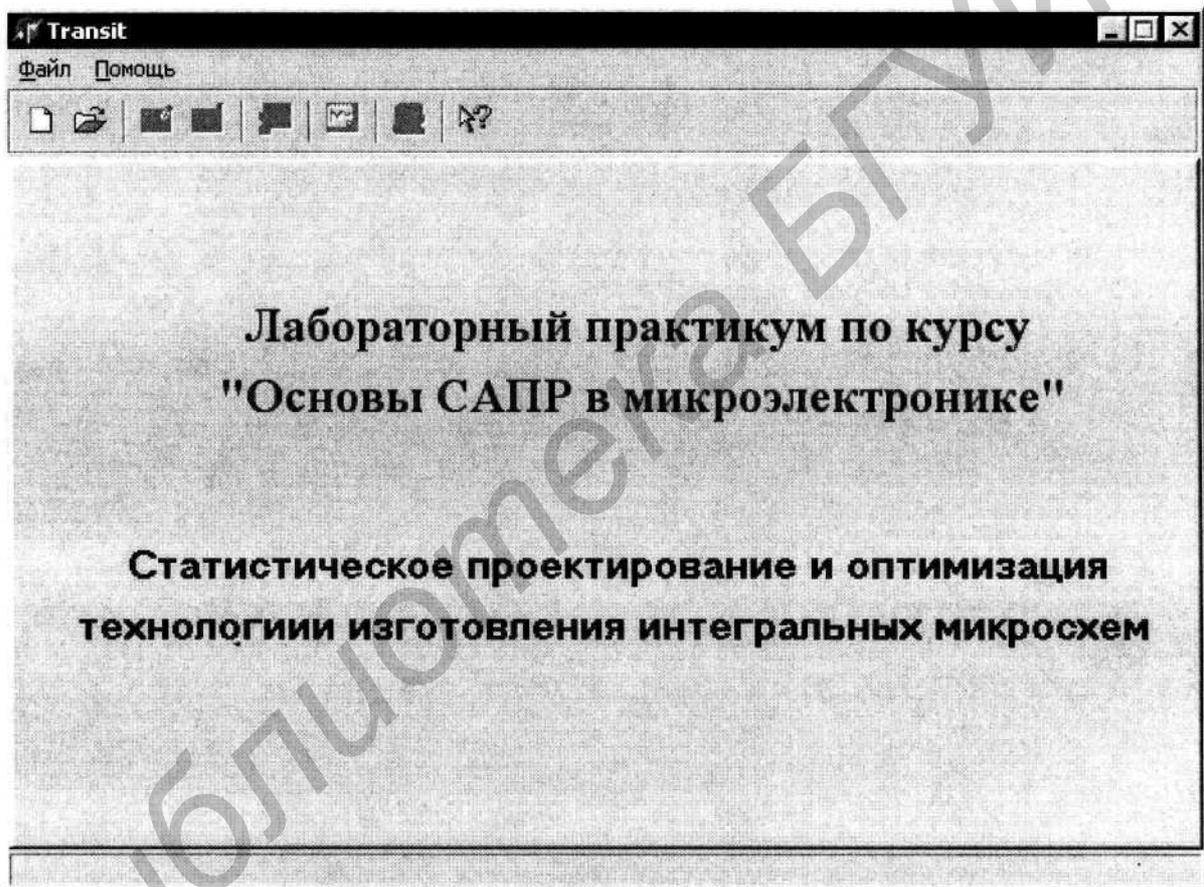


Рис.14. Начальное меню

В верхней части окна расположена панель с кнопками, предназначенными для выполнения действий в соответствии с планом работы (заданием преподавателя). Описание используемых кнопок представлено в табл. 6.

Таблица 6

Кнопка	Название (сочетание клавиш)	Выполняемое действие
	Новый расчет (Ctrl+N)	Создание нового проекта для статистического анализа и оптимизации параметров технологического процесса
	Открыть (Ctrl+O)	Открытие файла с результатами предыдущих анализов, результатов численного моделирования технологии ИМС или результатов “натурных” экспериментов
	Изменить значение параметра	Изменение значения технологического параметра либо его отклонения от номинала
	Подтвердить выбранные параметры	Подтверждение выбранных параметров технологического процесса
	Расчет с использованием программы SUPREM II	Расчет выходных характеристик технологического процесса с последующей аппроксимацией результатов
	Построить график	Переход в режим графического представления результатов статистического анализа
	Оптимизация параметров	Выбор условий для оптимизации параметров технологии изготовления ИМС

Ниже приводятся основные этапы работы с программой TRANSIT на примере тестового расчета с проведением статистического анализа и последующей оптимизации параметров технологического процесса изготовления биполярного транзистора.

Для начала расчета необходимо нажать кнопку "Новый расчет" (рис.15) либо выбрать пункт "Новый расчет" в главном меню.

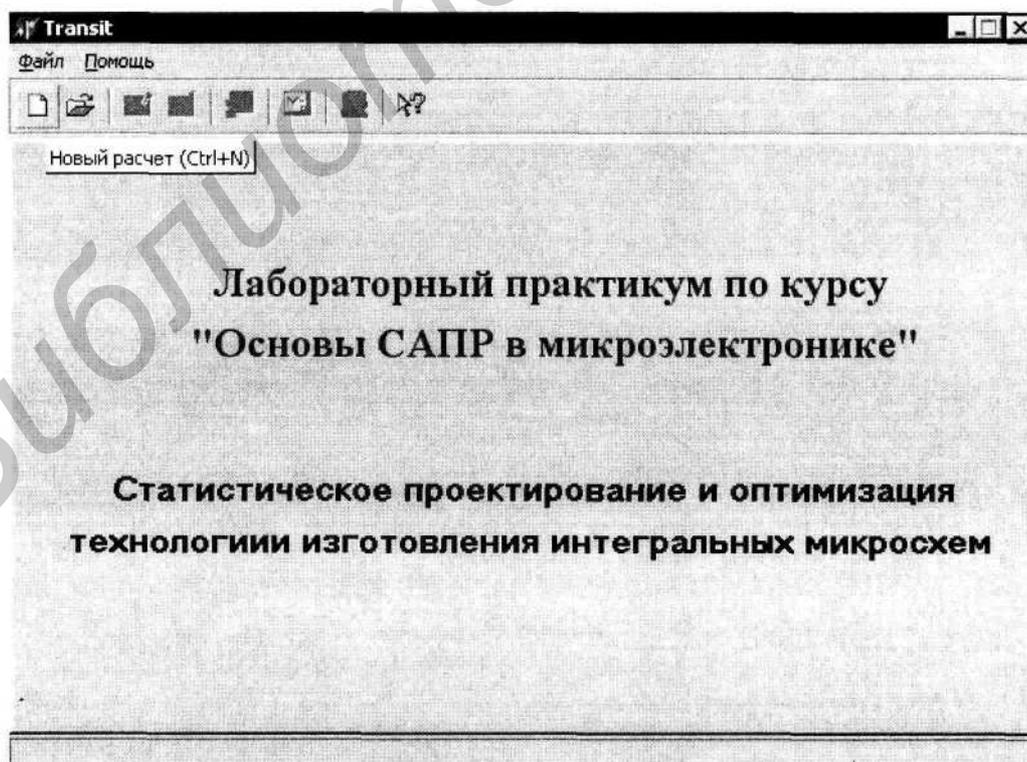


Рис. 15. Выбор пункта “Новый расчет” в главном меню

Имеется возможность открытия незавершенных в предыдущем сеансе либо сохраненных ранее результатов расчетов (рис. 16).

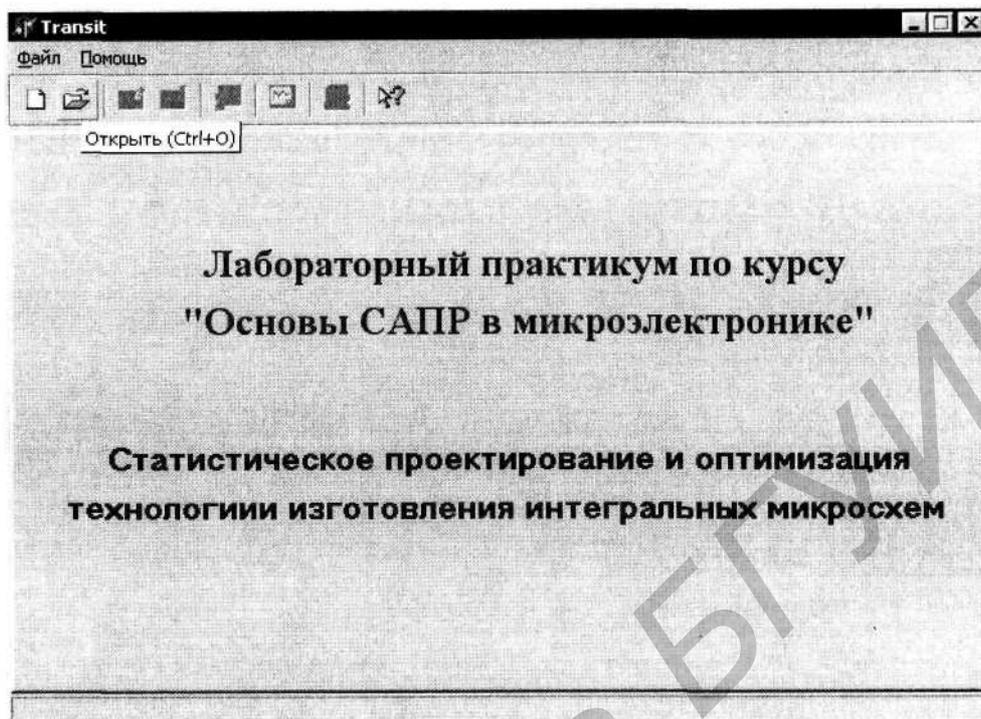


Рис. 16. Загрузка файла с результатами предыдущих расчетов

На следующем этапе необходимо выбрать исследуемый технологический маршрут (в описываемом примере - "Формирование биполярного транзистора") (рис. 17).

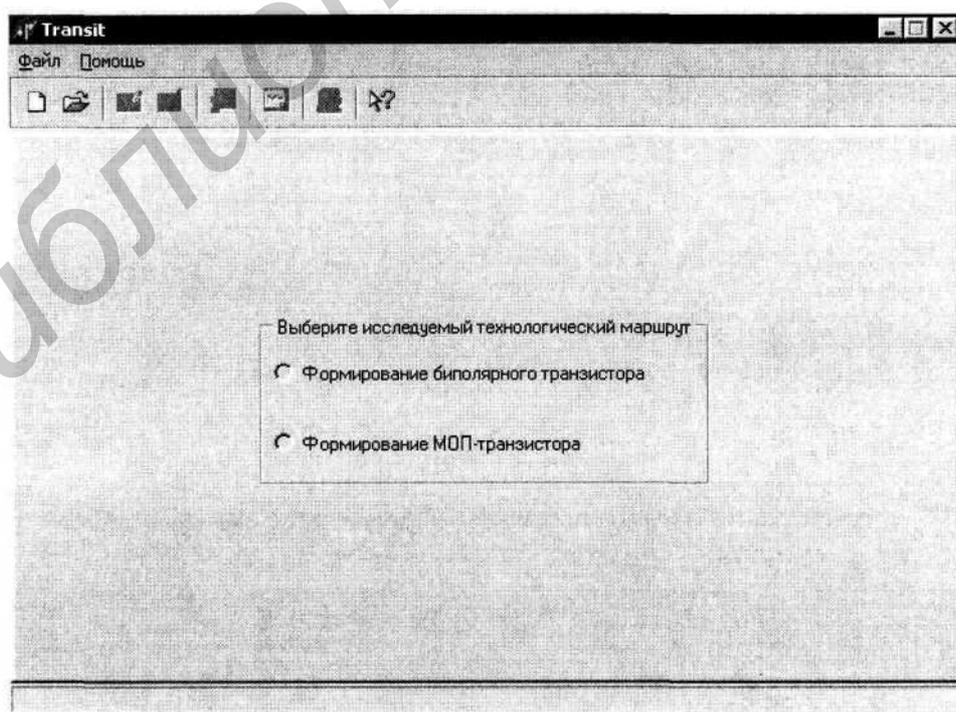


Рис. 17. Выбор исследуемого технологического маршрута

Последовательность технологических операций формирования структуры биполярного транзистора описана в подразделе 3.1.

Далее вводятся номинальные значения технологических параметров и их отклонения от номинала (рис. 18).

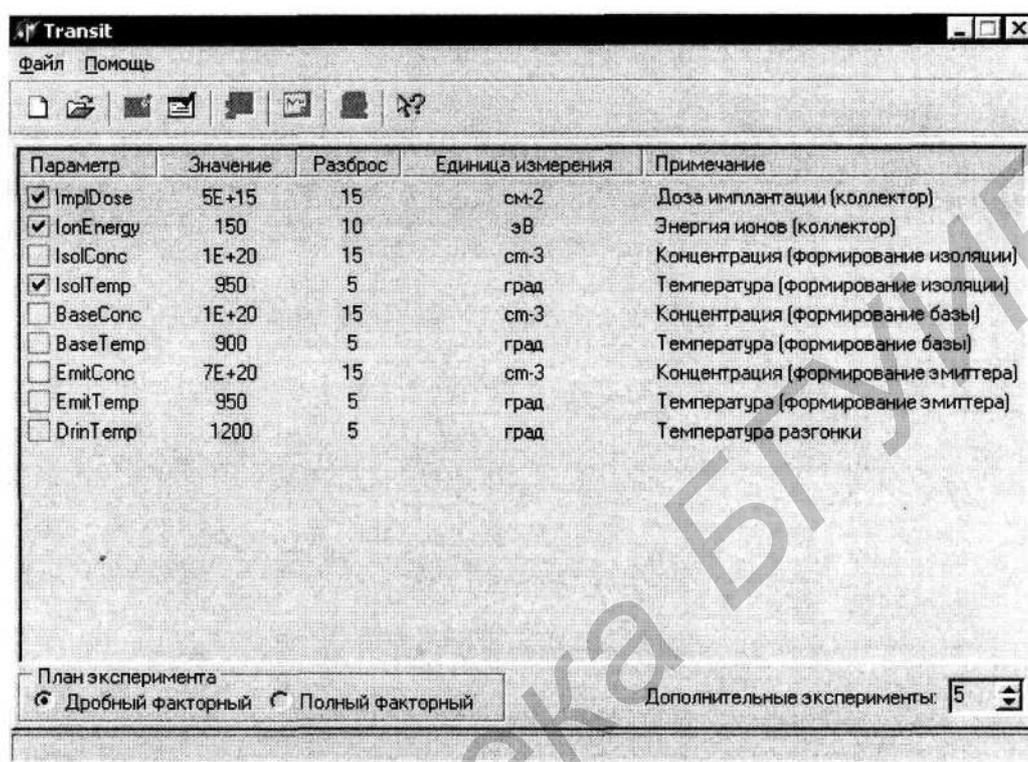


Рис. 18. Ввод номинальных значений технологических параметров и их отклонений от номинала

Выбор плана эксперимента осуществляется в поле "План эксперимента", находящемся в нижней части окна программы.

Если пользователь выбрал пункт "Дробный факторный", генерируется план, состоящий  $N(N+3)/2$  экспериментов (точка в центре многомерного кубоида + точки в углах кубоида). Такой план эксперимента дает удовлетворительные результаты при приемлемом времени расчетов.

При выборе пункта "Полный факторный" программа генерирует  $(2^p+1)$  экспериментов по стандартной методике полного факторного анализа (точка в центре многомерного кубоида + точки в углах, на серединах ребер и на центрах граней кубоида). При количестве факторов  $p > 4$  такая процедура планирования эксперимента намного увеличивает время расчета, однако существенно повышается точность аппроксимации результатов численного моделирования или натуральных экспериментов в случае сугубо нелинейной зависимости выходных характеристик от входных технологических параметров.

Далее выбирается количество дополнительных экспериментов, необходимых для проверки точности проведенной аппроксимации (построение корреляционных зависимостей). Рекомендуемое количество - 10-15 экспериментов.

При нажатии на кнопку "Изменить значение параметра" (рис. 19) пользователь вводит новое значение изменяемого параметра или его разброса в открывшемся окне (рис. 20).

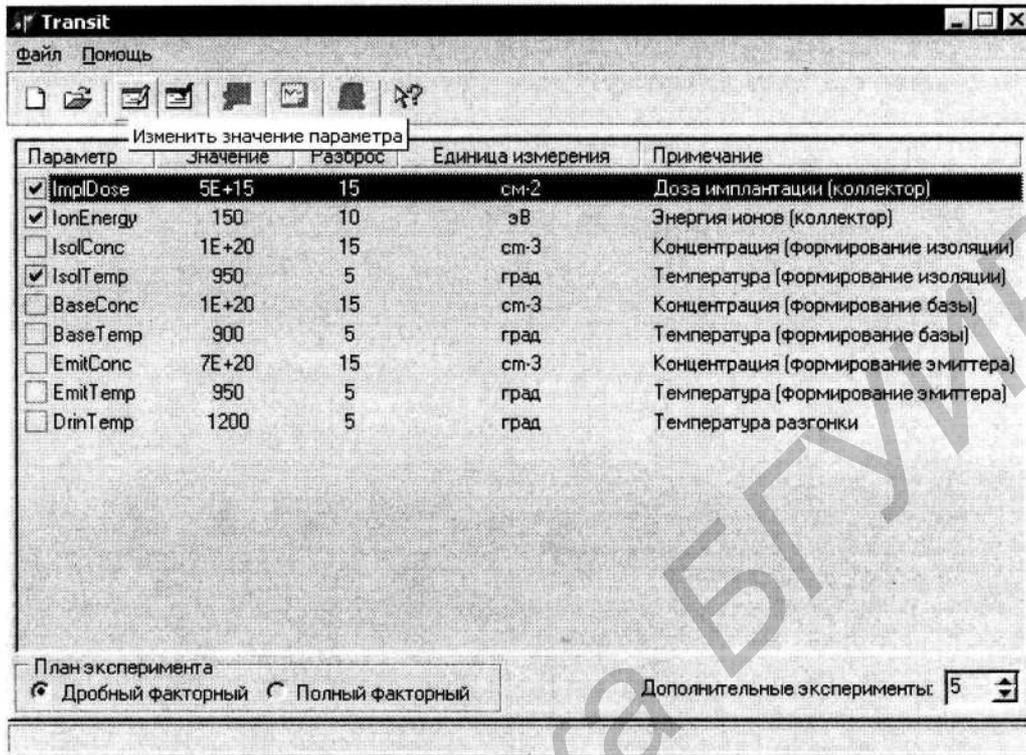


Рис. 19. Изменение значения технологического параметра по сравнению с введенным ранее

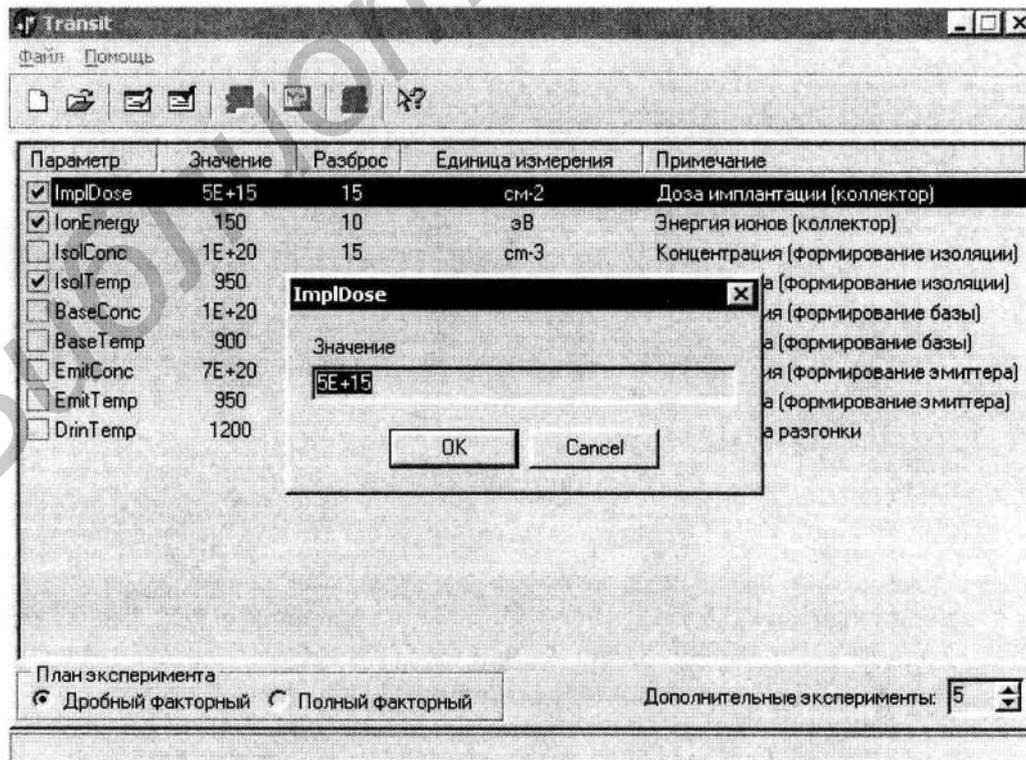


Рис. 20. Ввод нового значения технологического параметра

Выбранные параметры и введенные их значения подтверждаются нажатием клавиши "Подтвердить выбранные параметры" (рис. 21).

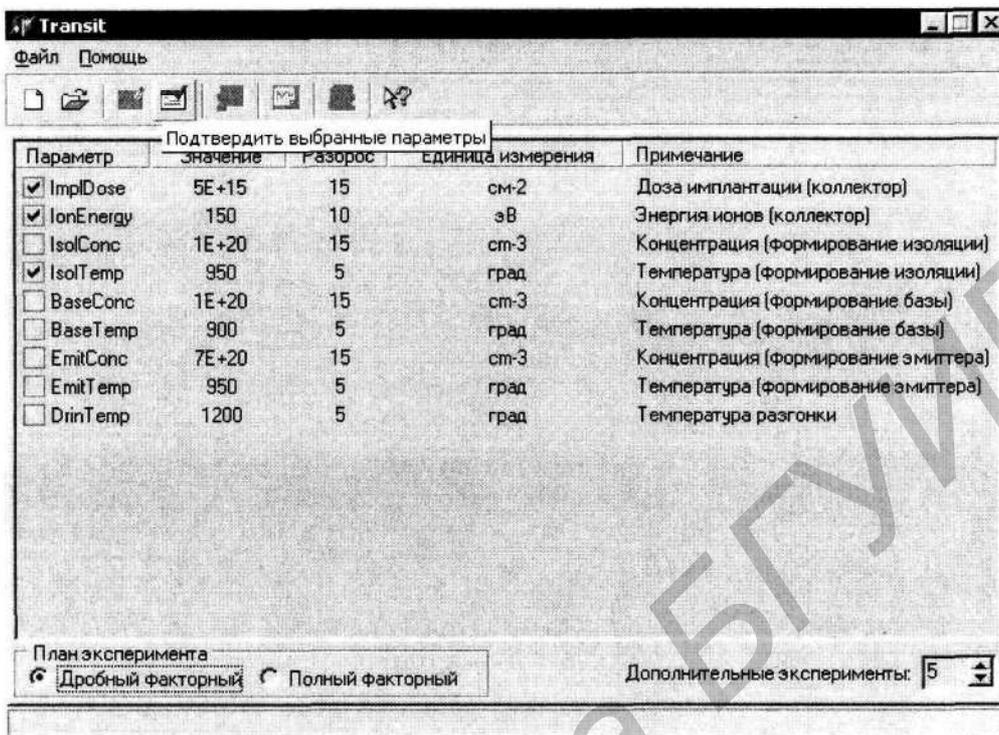


Рис. 21. Подтверждение введенных значений параметров

Расчет выходных характеристик технологического процесса осуществляется нажатием кнопки "Расчет в SUPREM" (рис. 22).

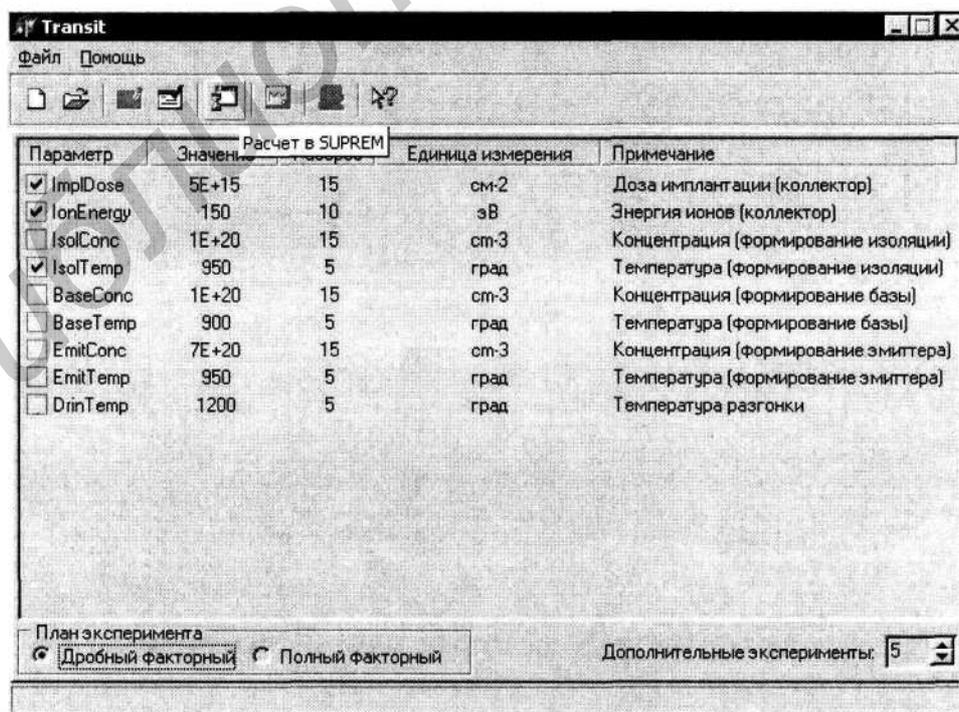


Рис. 22. Запуск программы с использованием расчетов в SUPREM II

При этом на экране появляется окно с указанием номера текущего расчета и общего количества моделируемых экспериментов (рис. 23).

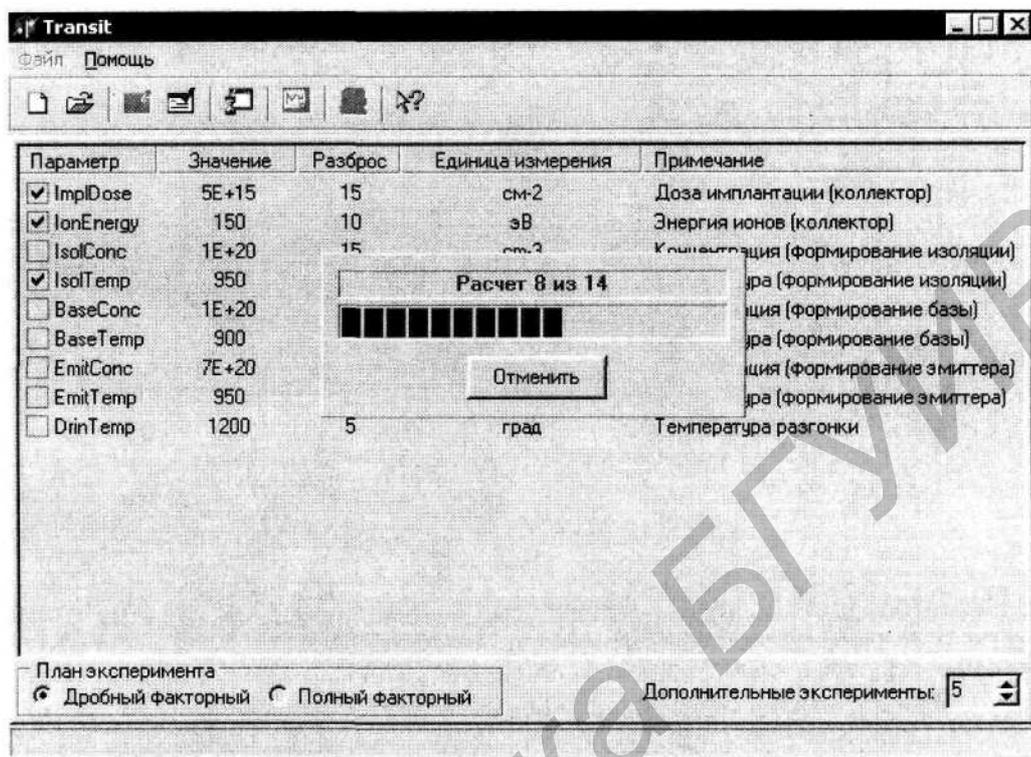


Рис. 23. Текущий расчет

В случае необходимости пользователь может прервать расчеты нажатием кнопки "Отменить". При этом результаты, полученные ранее, не сохранятся.

Процедура проведения статистического анализа и аппроксимации результатов численного моделирования с использованием программы SUPREM II производится автоматически.

Переход в режим вывода результатов расчетов в виде графиков, диаграмм и корреляционных зависимостей осуществляется нажатием кнопки "Построить график" (рис. 24).

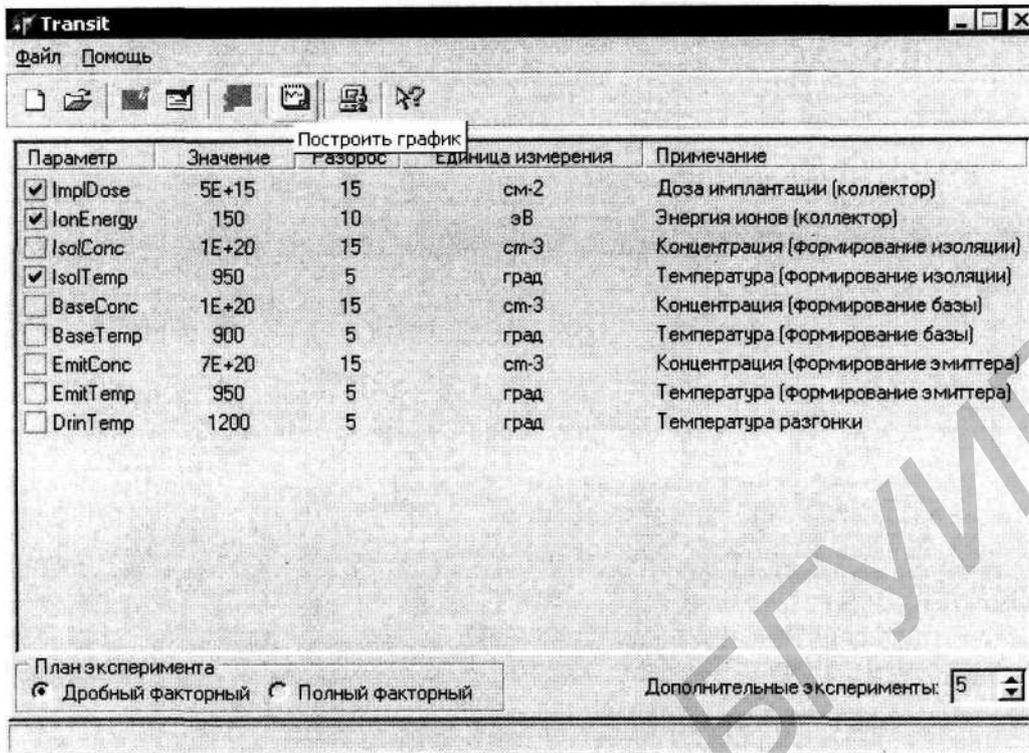


Рис. 24. Переход к отображению результатов расчетов

При этом окно программы примет вид, изображенный на рис. 25.

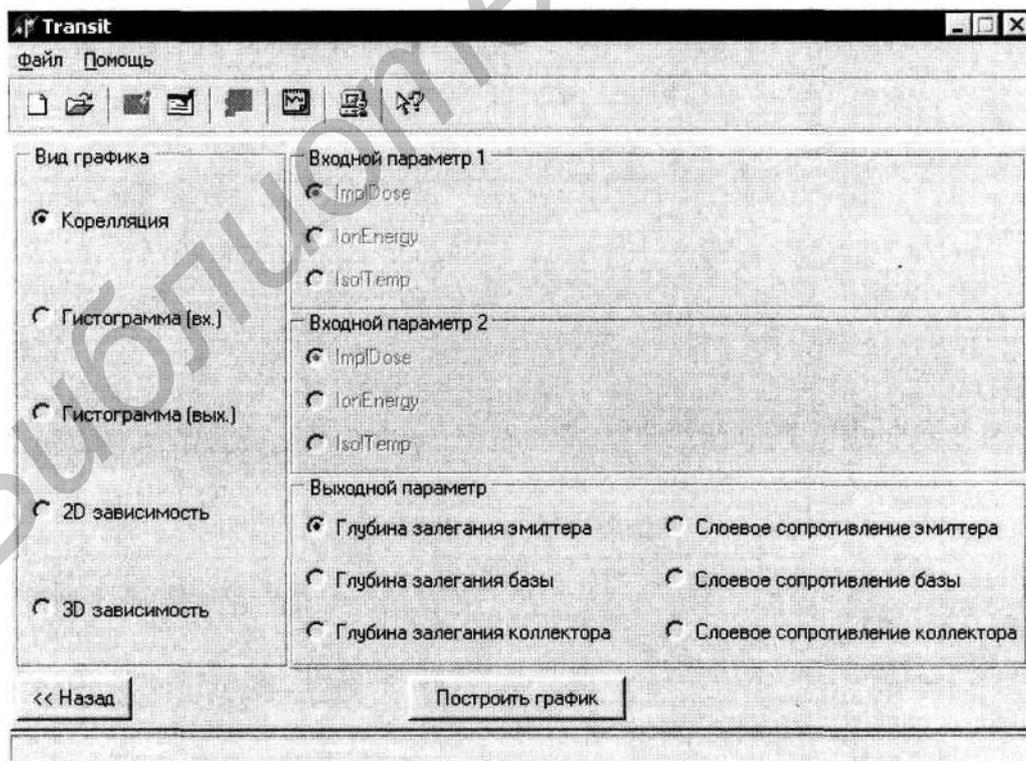


Рис. 25. Окно для выбора режима отображения результатов расчетов

После выбора входных и выходных параметров для графического отображения нажатием кнопки "Построить график" открывается окно с соответствующим графиком (рис. 26).

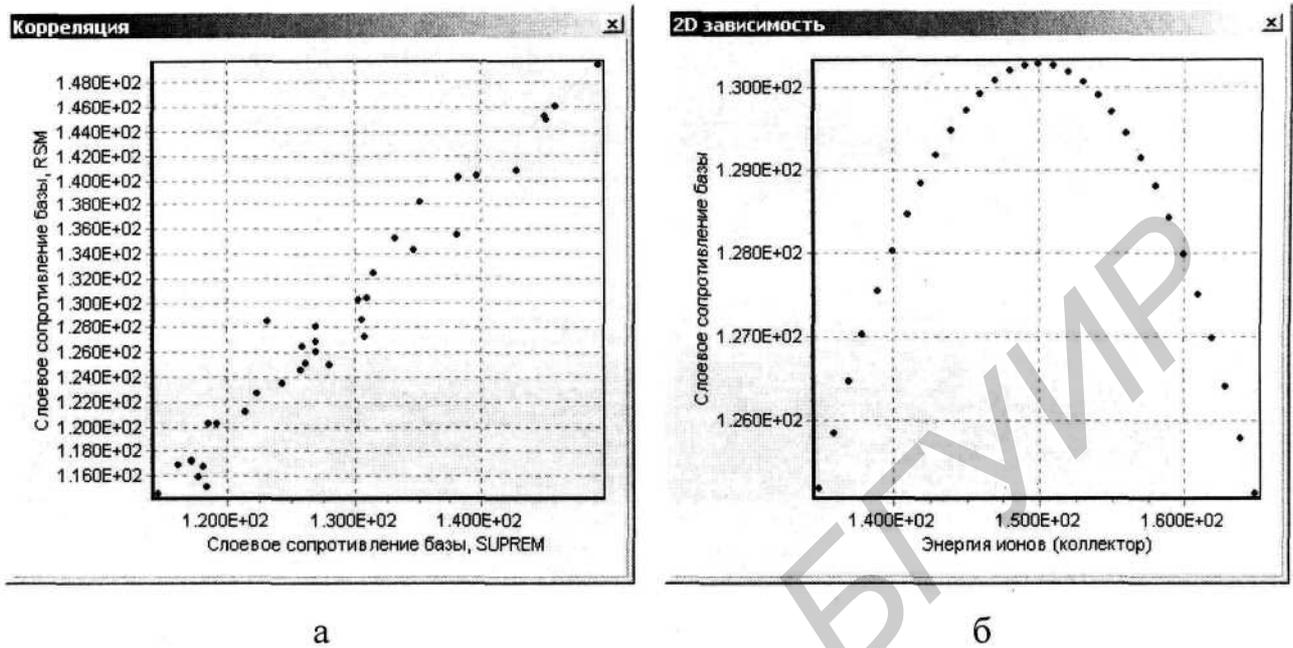


Рис. 26. Отображение результатов расчетов в виде графиков :  
а – корреляция, б – 2D зависимость

При нажатии правой кнопки мыши открывается контекстное меню (рис. 27), позволяющее сохранить полученные графики на диск в формате JPEG или BMP.

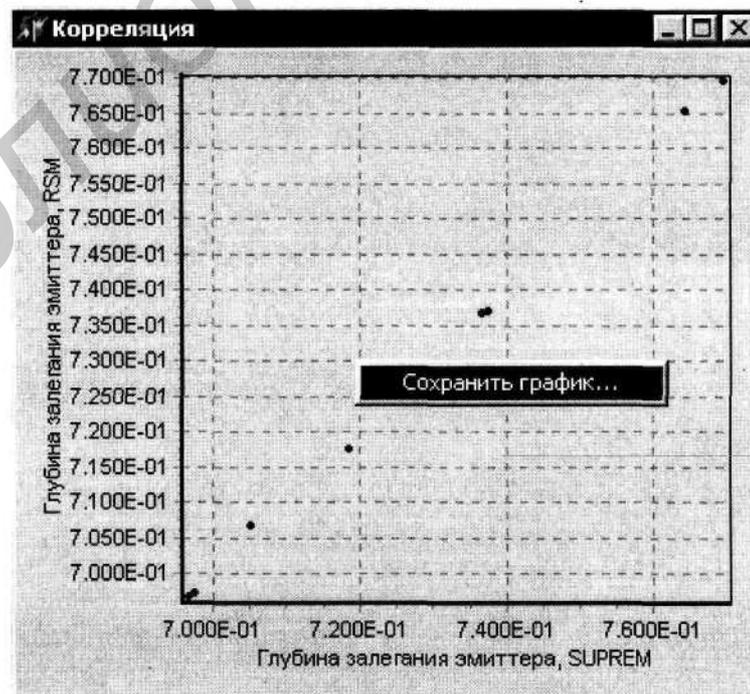


Рис. 27. Сохранение полученных графиков

Следующим этапом статистического проектирования является оптимизация параметров технологического процесса, которая сводится к математической задаче определения допустимого диапазона значений входных технологических параметров, обеспечивающих изменение выходных характеристик прибора/схемы внутри заданного интервала. Переход в режим оптимизации осуществляется нажатием кнопки "Оптимизация параметров" (рис. 28).

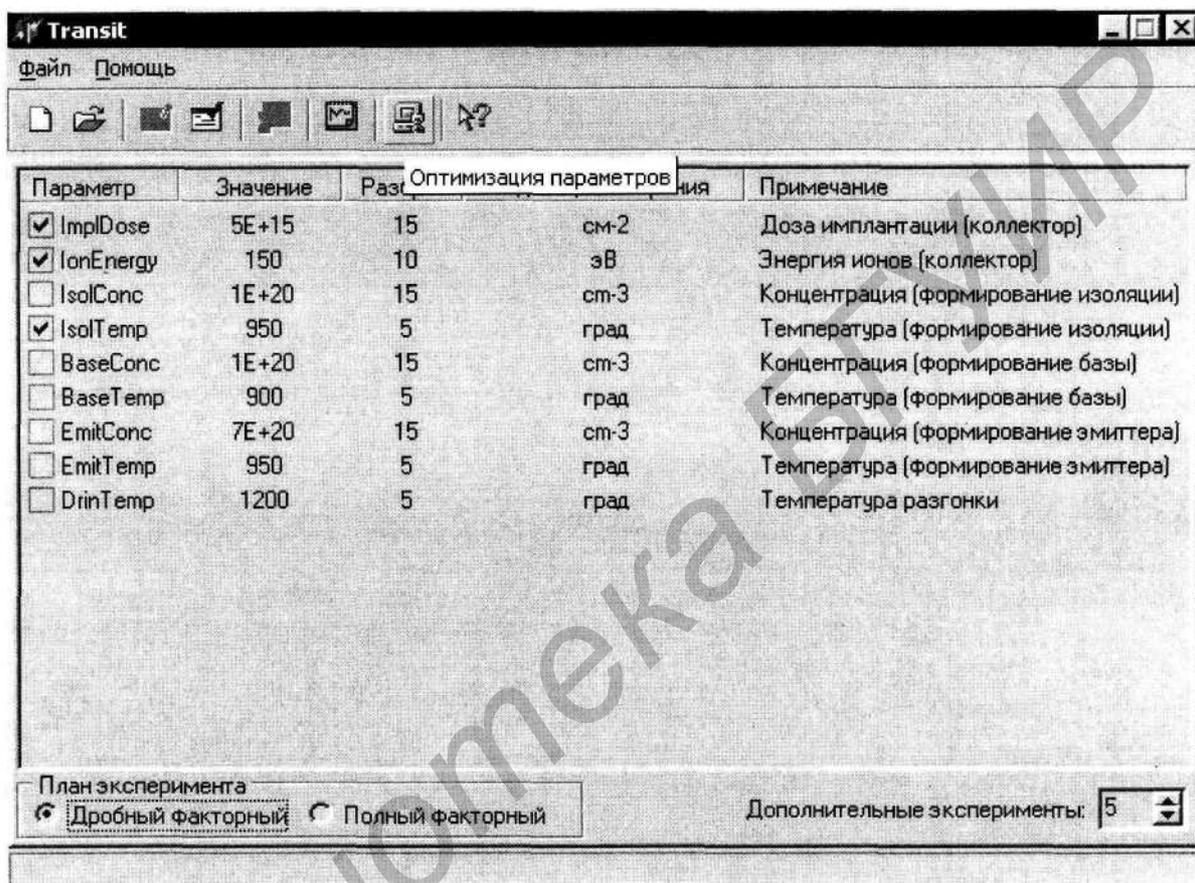


Рис. 28. Переход в режим оптимизации

По умолчанию пользователю предлагается выбрать три значимых технологических параметра для оптимизации. При этом значения остальных параметров принимаются равными номинальным.

В поле "Выходной параметр для оптимизации" указывается выходная характеристика, по которой осуществляется процедура оптимизации входных технологических параметров. В поле "Условие" выбирается критерий, по которому будет осуществляться процедура оптимизации. При выборе "Минимальное" или "Максимальное" осуществляется поиск интервалов входных технологических параметров, при которых значение выходной характеристики принимает соответственно минимальное или максимальное значение.

Выбор пункта "Диапазон" предоставляет возможность провести оптимизацию по выбранному интервалу выходного параметра (рис. 29).

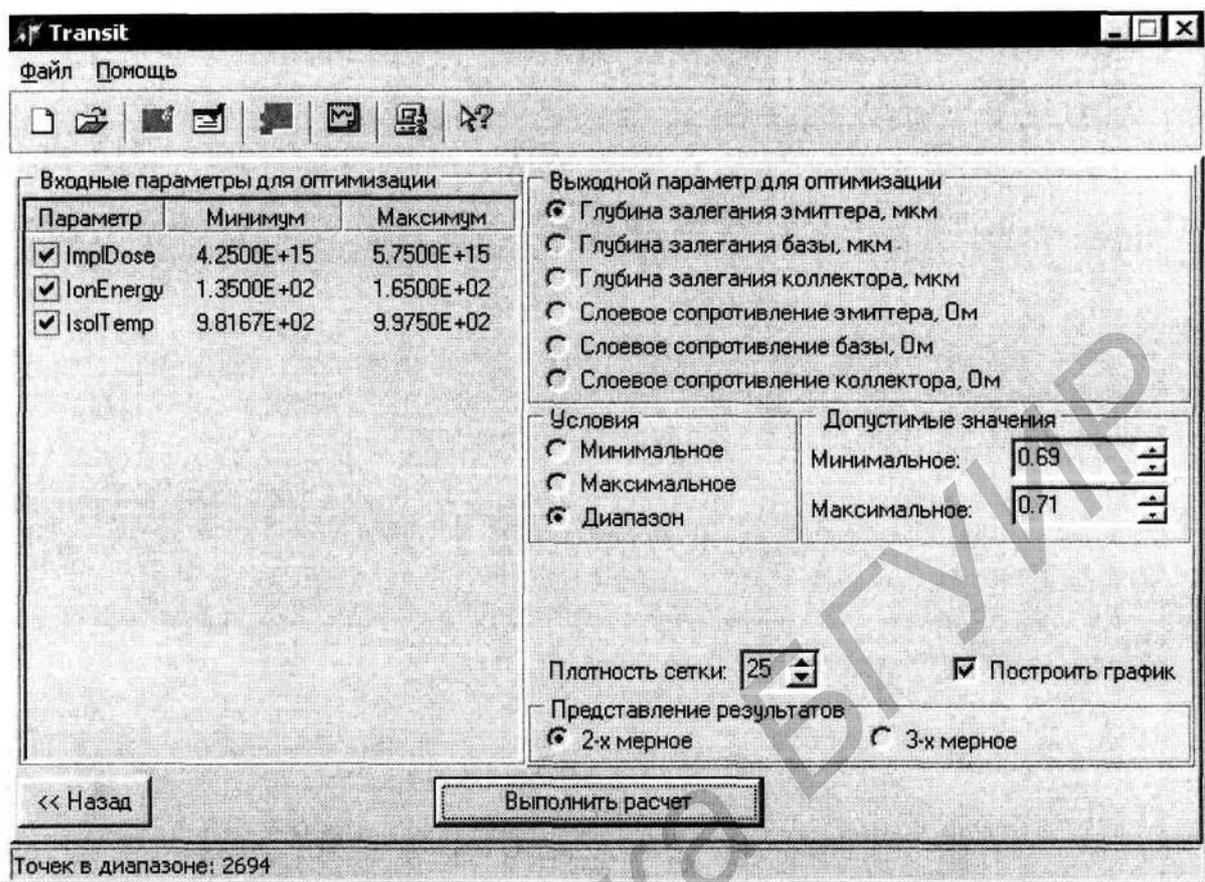
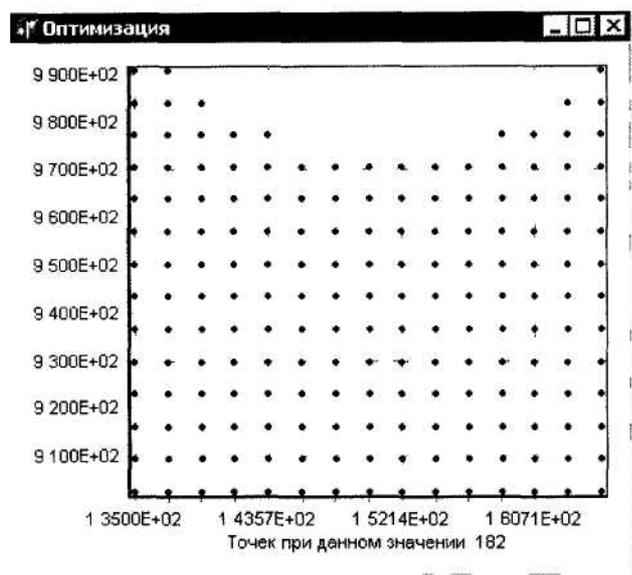


Рис. 29. Выбор выходной характеристики, по которой осуществляется процедура оптимизации входных технологических параметров

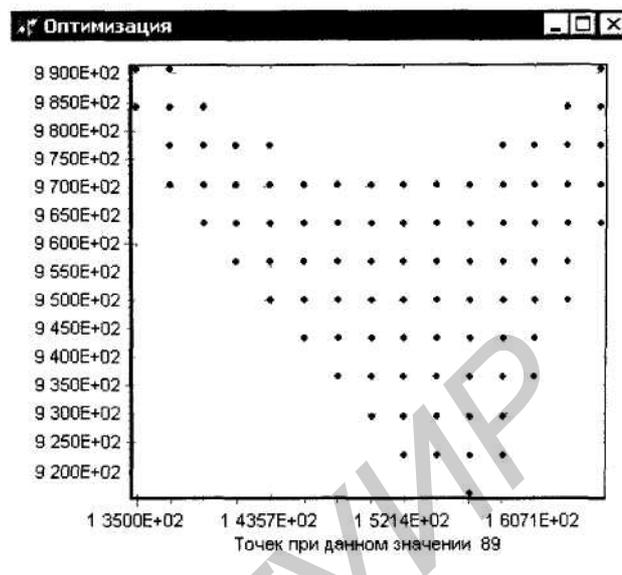
"Плотность сетки" - характеристика, определяющая как точность проводимых расчетов, так и время, затрачиваемое на оптимизацию. Приращение значения плотности на единицу приводит к увеличению времени расчета в  $N$  раз, где  $N$  - количество входных параметров для оптимизации. Рекомендуемое значение "Плотности сетки" - от 10 до 15.

При включении кнопки "Построить график" на экран будут автоматически выведены результаты оптимизации в графическом виде после завершения расчетов. Вид отображаемых на экране зависимостей определяется в поле "Представление результатов".

Нажатием кнопки "Выполнить расчет" запускается процедура оптимизации. Результаты оптимизации представляются в виде, показанном на рис. 30.



а



б

Рис. 30. Результаты оптимизации по глубине залегания эмиттера при различных (а и б) значениях энергии имплантации ионов и температуры формирования изоляции (значение дозы имплантации равно номинальному)

Библиотека БГУИР

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается процедура статистического анализа технологии изготовления ИМС?
2. Основные этапы статистического анализа технологии изготовления ИМС.
3. Приведите примеры локальных и глобальных флуктуации технологических параметров.
4. Какие существуют способы аппроксимации результатов компьютерных и натуральных экспериментов?
5. Основные принципы метода поверхности откликов для статистического проектирования технологии ИМС.
6. Достоинства использования метода поверхности отклика.
7. Основные методы планирования эксперимента в статистическом анализе технологии ИМС. Их достоинства и недостатки.
8. Планирование эксперимента в случае линейной зависимости выходных характеристик от входных параметров.
9. Планирование эксперимента в случае нелинейной зависимости выходных характеристик от входных параметров.
10. Как составляется матрица планирования эксперимента?
11. Корреляционная зависимость между результатами компьютерных (натурных) экспериментов и результатами аппроксимации - в чем она заключается и как получается? Приведите примеры.
12. В чем заключается процедура оптимизации технологических параметров?
13. Как осуществляется процедура оптимизации технологических параметров?
14. Как представляются результаты оптимизации выходных характеристик в многофакторном статистическом анализе?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cunningham S. P. and Spanos C.J. Semiconductor yield improvement: results and best practices // IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing.- 1995.- V. 8, No. 2.- P. 103-109.
2. Нелаев В.В., Казитов М.В., Ноготов Е.Ф. 3D - моделирование термического отжига ионно-имплантированных примесей // Инженерно-физический журнал.- 1998.- Т. 71, № 6.- С. 1075-1080.
3. Nelayev V.V., Kazitov M.V. Comparative analysis of the own simulation of the many-dimensional thermal annealing of ion-implanted impurities with results obtained by using of TSUPREM // Proc. 21<sup>st</sup> Int. Convention on Microelectronics, Electronics and Electronic Technologies.- Opatja, Croatia. -1998.- P. 7-10.
4. <http://icts.hypermart.net>, <http://avl.iatp.unibel.by>.
5. Jaworski Z., Niewczas M. and Kuzmicz W. Extension of inductive fault analysis to parametric faults in analog circuits with application to test generation // Proc. 15<sup>th</sup> IEEE VLSI Test Symposium.- 1997.- P. 172-176.
6. TSUPREM-IV, Two-dimensional Process Simulation Program, Version 6.3. Technology Modeling Associates.- 1995.
7. Maly W. and Strojwas. Statistical simulation of the IC manufacturing process // IEEE Trans. Computer-Aided Design.- 1982.- V. 1, No. 2.- P. 120-131.
8. Nassif S.R., Strojvas A.I. and Director S.W. FABRICS II - A statistically based IC fabrication process simulator // IEEE Trans. on Computer Aided Design.- 1984.- V. CAD-4, No. 1.- P. 40-47.
9. Kuzmicz W., Denisiuk W., Gempel J. et al. Coupling a statistical process-device simulator with a circuit layout extractor for a realistic circuit simulation of VLSI circuits // Simulation of Semiconductor Devices and Processes, Ed. by S. Selberherr, H. Stippel and E. Strasser.- 1993.- P. 37-40.
10. Нелаев В.В., Казитов М.В. Построение аппроксимационных функций для статистического многомерного моделирования технологических процессов микроэлектроники // Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники: Материалы 5-й Общероссийской науч.-техн. конференции с междунар. участием.- Таганрог.- 1998.- С. 26.
11. Lejman A. and Pfitzner A. Modelling of doping for statistical process/device simulators in the IC design systems // Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. - Lodz, Poland.- 1996. - P. 177-182.
12. Chua L.O. and Yang L. Cellular neural networks theory // IEEE Trans. Circuits Syst.- 1988.- V. 35, No. 10.- P. 1257-1272.
13. Zadeh L. Fuzzy set and their application to pattern recognition classification and cluster analysis // J. Van Ryzik, Editor, Classification and clustering. Academic Press, New York.- 1977.- P. 198-233.
14. Rietman E.A. Use of neural networks in modeling semiconductor manufacturing processes: An example for plasma etch modeling // IEEE Trans. Semiconductor Manufacturing.- 1993.- V. 6, No. 4.- P. 343-347.

15. Han S.-S and May G.S. Using neural network process models to perform PECVD silicon dioxide recipe synthesis via genetic algorithms // IEEE Trans. Semiconductor Manufacturing.- 1997.- V. 10, No. 2.- P. 279-287.
16. Nami Z., Mismam O., Erbil A. and May G.S. Semi-empirical neural network modeling of metal-organic chemical vapor deposition // IEEE Trans. Semiconductor Manufacturing.- 1997.- V. 10, No. 2.- P. 288-294.
17. Зуев Ю.А., Иванов С.К. Повышение эффективности комплексной обработки информации в динамических системах с использованием принципов распознавания // Вопросы кибернетики.- 1992.- Т. 15, № 1.- С. 86-106.
18. Nelayev V.V., Kazitov M.V., Vatlin S.I., Voronkovskaya A.M. and Semenkova A.M. Computer simulation of diffusion processes in microelectronics technology // 2<sup>nd</sup> Int. Workshop on New Approaches to High-Tech: Nondestructive Testing and Computer Simulations in Science and Engineering.- Int. J. Proc.of SPIE- Int. Society for Optical Engineering.- 1998. V. 3687.- P. 342-346.
19. Gaston G.J. and Walton A.J. The integration of simulation and response surface methodology for the optimisation of IC processes // IEEE Trans. Semiconduct. Manufact.- 1994.- V. 7, No. 1.- P. 22-33.
20. Lu J.-C., Holton W.C., Fenner J.S., Williams S.C. et al. A new device design methodology for manufacturability // IEEE Trans. Electron Devices.- 1998.- V. 45, No. 3.- P. 634-642.
21. Баринов В.В., Бахмач О.Ф., Калинин А.В., Крупкина Т.Ю., Шелыхманов Д.Е. Повышение технологичности СБИС на основе концепции виртуального производства // Микроэлектроника.- 1999.- Т. 28, № 4.- С. 283-292.
22. Kouleshoff A.A., and Nelayev V.V. New approach for the response surface methodology. // Int. J. Proc.of SPIE- Int. Society for Optical Engineering.- 2000.- V. 4348.- P. 435-439.
23. Kuzmicz W.B., Malyshev V.S., Nelayev V.V., and Stempitsky V.R. Optimization of the integrated circuit technology // Int. J. Proc.of SPIE- Int. Society for Optical Engineering.- 2000.- V. 4348.- P. 431-434.
24. Kazitov M.V., Kuzmicz W.B., Nelayev V.V. and Stempitsky V.R.. Statistical many-dimensional simulation of VLSI technology based on response surface methodology. // Int. J. Proc.of SPIE- Int. Society for Optical Engineering.- 1999.- V. 4064.- P. 179-183.
25. Antoniadis D.A, Hansen S.E. and Dutton R.W. Suprem II - A program for IC process modeling and simulation // Stanford Electronics Lab.- Tech. Report.- 5019-2.- 1978.
26. Ho C.P., Plummer J.D., Hansen S.E. and Dutton R.W. VLSI process modeling. - SUPREM III // IEEE Trans. on Electron Devices.- 1983.- V. ED-30, No. 7.- P. 1438-1445.
27. <http://www.imio.pw.edu.pl/vlsi/imiocad/syprus/index.html>

Учебное издание

Нелаев Владислав Викторович, Стемпицкий Виктор Романович

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

*Учебно-методическое пособие*

для курсов лекций и лабораторных работ по дисциплинам

“Расчет и проектирование элементов интегральных схем  
и полупроводниковых приборов”,

“Основы САПР в микроэлектронике”,

“Моделирование технологических процессов  
микроэлектроники”

для студентов специальности 41 01 02 “Микроэлектроника”

Редактор Н.А. Бебель

Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать

*18.05.2002*

Формат 60×84 1/16

Бумага *офсет*

Печать *офсетная*

Усл. печ. л. *2,44*

Уч.-изд. л. 2, 3

Тираж 100 экз.

Заказ *322*

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия ЛП №156 от 05.02.2001.

Лицензия ЛВ №509 от 03.08.2001.

220027, Минск, П. Бровки, 6

## Общие сведения о MS Access

Работу с Access рассмотрим на примере создания базы данных для решения поставленной задачи

**Пример 1** Создать базу данных "Склад", содержащую сведения о товарах, поставщиках, заказах, а также сведения о предприятии.

Для того чтобы создать новую базу данных, после запуска СУБД Access в **Окне начального диалога** указать **Новая база данных** ( рис. 1.1.) и подтвердить создание новой базы данных нажатием кнопки **Ок**.

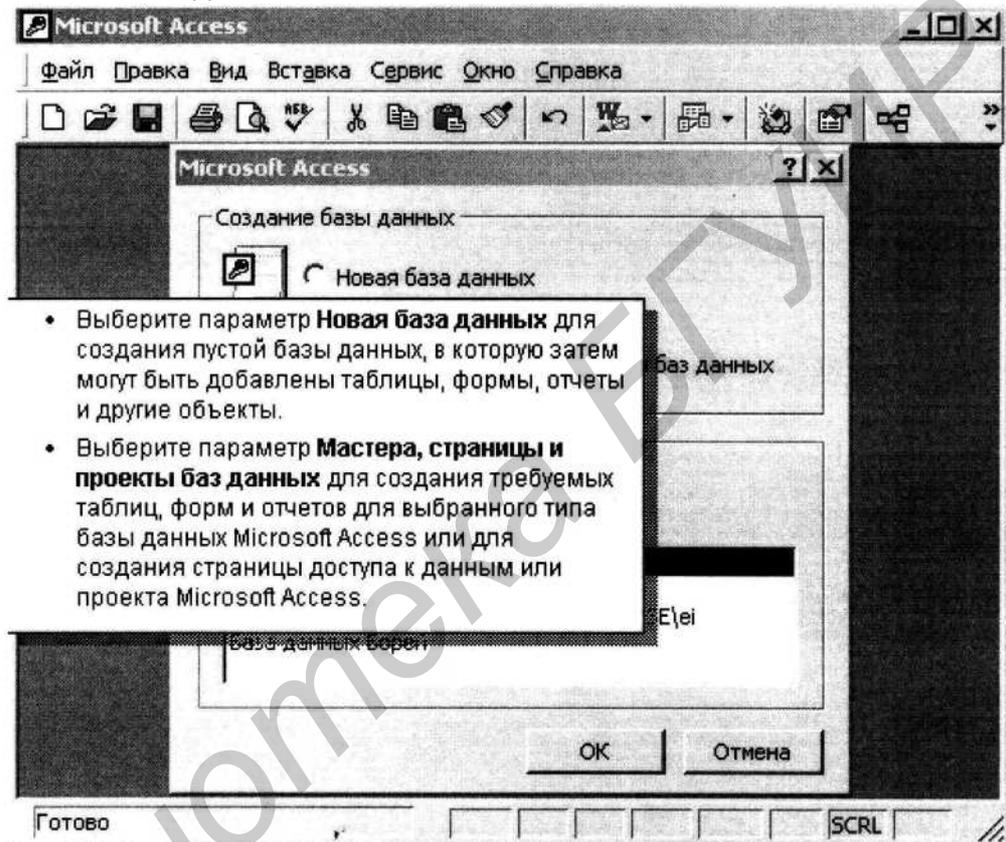


Рис. 1.1. Окно начального диалога в MS Access

В результате отобразится окно **Файл новой базы данных** ( рис. 1.2), в котором предлагается указать путь и имя файла новой базы данных. По умолчанию файлу присваивается имя db1, и размещается он в папке "Мои документы", также принятой по умолчанию.

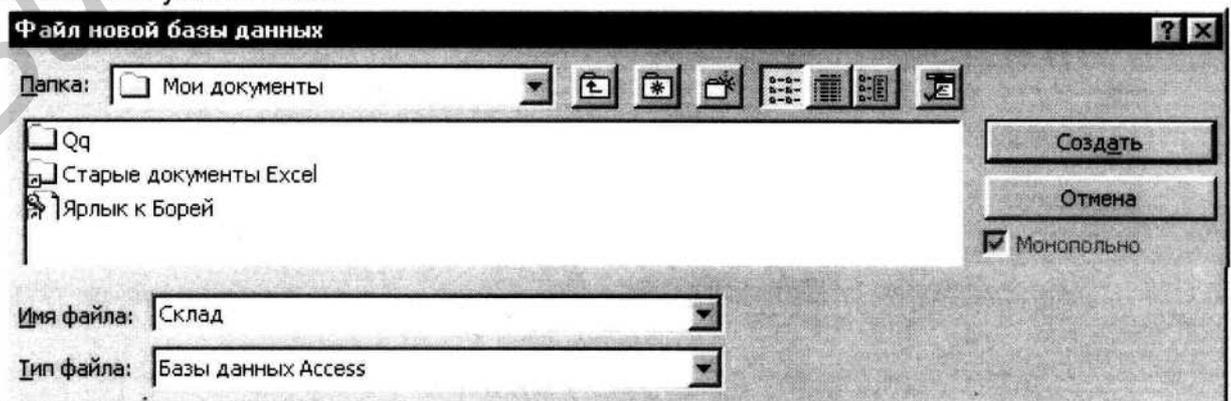


Рис. 1.2. Окно "Файл новой базы данных"

Переименуем файл, указав в поле **Имя файла**, новое имя - "Склад". Затем остается подтвердить создание нового файла базы данных, нажав на кнопку **Создать**. В результате в указанной папке ("Мои документы") создан файл БД "Склад". При этом в окне Microsoft Access автоматически появляется окно новой базы данных - **Склад: база данных** (рис. 1.3).

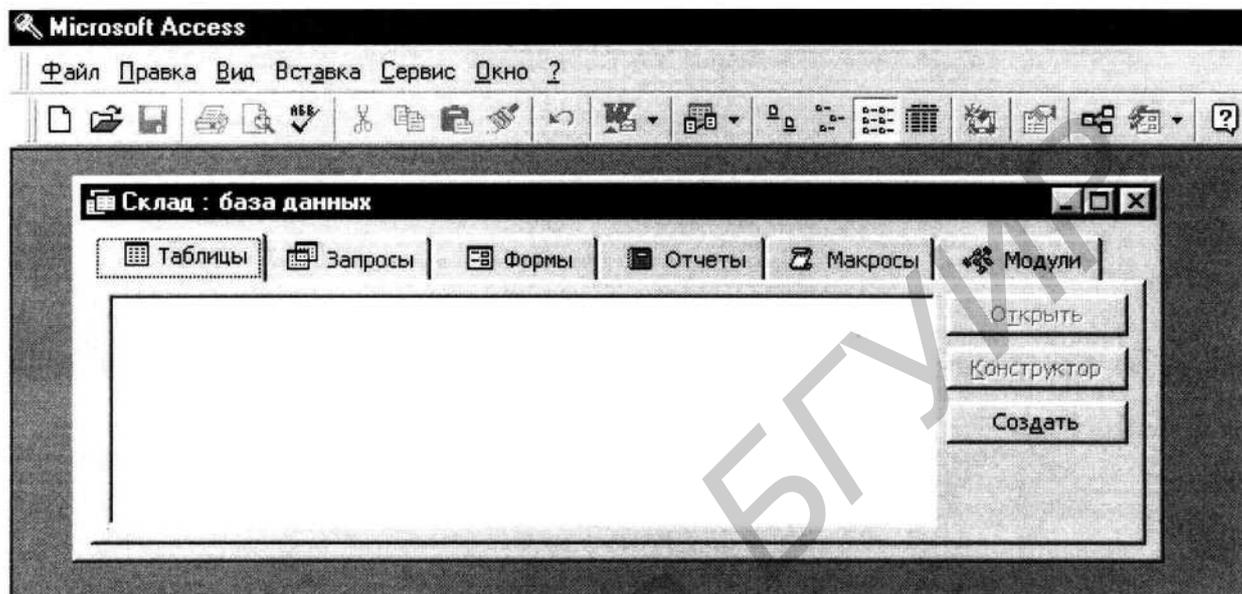


Рис. 1.3. Окно базы данных

Это окно предназначено для хранения, создания и редактирования различных объектов базы данных. В окне новой базы данных автоматически выбирается вкладка **Таблицы**. Дальнейшие наши действия будут происходить на этой вкладке окна базы данных/

### Пример 2

Создать таблицу, содержащую сведения о товарах.

Сначала определим состав и типы полей будущей таблицы.

Предположим, наше торговое предприятие осуществляет продажу различных продуктов питания. Поэтому нас будут интересовать следующие характеристики объекта базы данных:

Код товара	- код, однозначно определяющий конкретный товар.
Марка	- марка товара (указанная на упаковке).
Описание товара	- описание, уточняющее состав данного товара.
Код типа	- код типа товара.
Серийный номер	- серийный номер, присвоенный партии товара.
Цена	- стоимость единицы товара.
Минимальный запас	- минимальный запас товара, хранящийся на складе.
Время задержки	- время задержки доставки товара.

Для создания новой таблицы воспользуемся кнопкой **Создать** в окне базы данных. В результате выдается окно **Новая таблица** (рис. 1.4), в котором требуется указать способ создания новой таблицы. Выберем **Конструктор** для создания структуры таблицы.

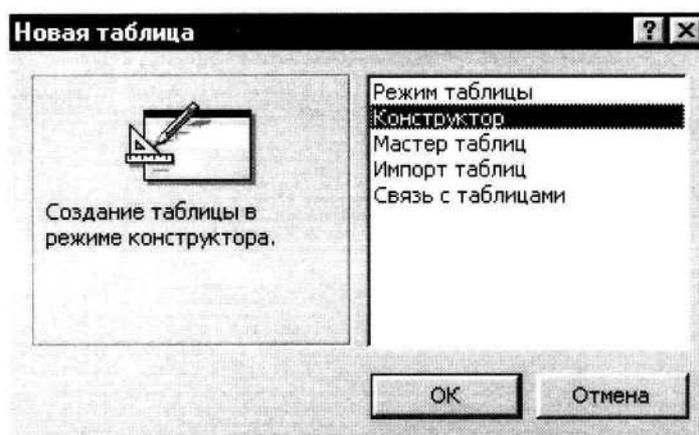


Рис. 1.4. Выбор режима создания новой таблицы

В режиме конструктора (рис. 1.5) опишем элементы структуры создаваемой таблицы - присвоим соответствующие имена полей, выберем их типы и, если необходимо, укажем их размеры. Имена полей в Access могут быть длиной до 64 символов и содержать как латинские буквы, так и символы кириллицы. Поэтому для имен полей можем использовать названия соответствующих характеристик товара. Тип поля будем выбирать в соответствии с информацией, которую предполагается вносить в данное поле. Длину поля выберем исходя из максимально возможной длины данных, которые могут быть введены в это поле.

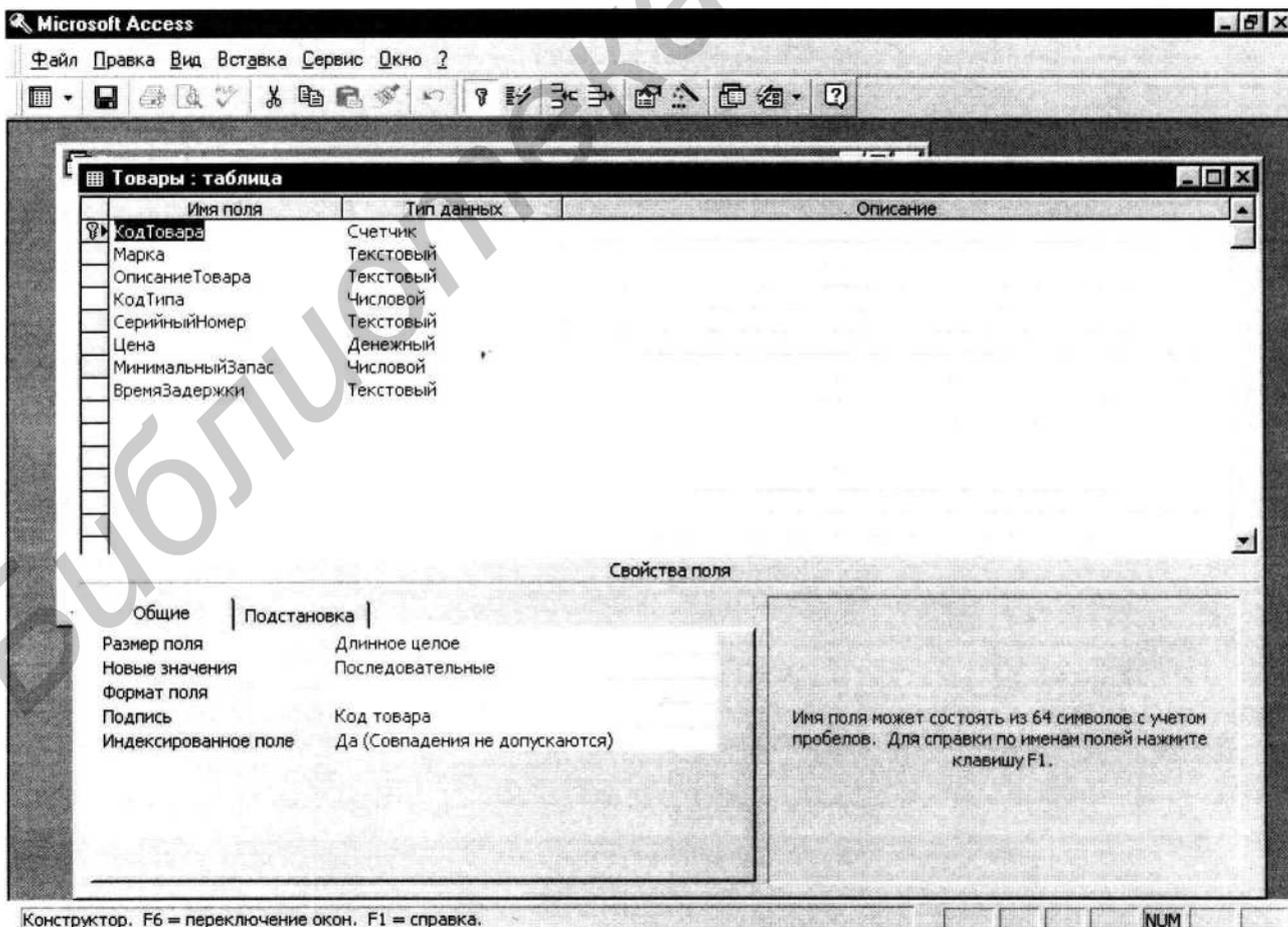


Рис. 1.5. Окно конструктора таблицы

Заполнив таким образом поля структуры "Имя поля" и "Тип данных", получим следующую структуру таблицы "Товары":

<b>Свойства</b>			
Число записей:	5	Дата изменения:	10.03.98 9:19:07
Дата создания:	10.03.98 9:19:03	Допускаются обновления:	Истина
<b>Столбец</b>			
Имя	Тип	Размер	
КодТовара	Числовой (длинное целое)	4	
Марка	Текстовый	50	
ОписаниеТовара	Текстовый	255	
КодТипа	Числовой (длинное целое)	4	
СерийныйНомер	Текстовый	50	
Цена	Денежный	8	
МинимальныйЗапас	Числовой (длинное целое)	4	
ВремяЗадержки	Текстовый	30	

После завершения работы с конструктором таблиц можно сразу же перейти к вводу информации в созданную таблицу. Для этого можно воспользоваться кнопкой **Вид** панели инструментов "**Конструктор таблиц**", либо меню **Вид - Режим таблицы** (рис. 1.6).

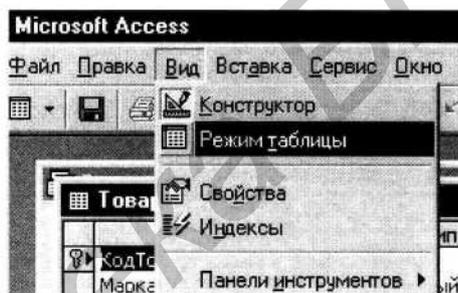


Рис. 1.6. Выбор режима таблицы из меню Вид

Можно также закрыть окно Конструктора, сохранив макет таблицы, а затем нажать кнопку **Открыть** в **Окне базы данных** (см. рис. 1.3).

Результатом проделанной работы является таблица "Товары", содержащая следующие сведения:

Код товара	Марка	Описание товара	Код типа	Серийный номер	Цена	Мин. запас	Срок
1	Цейлонский		кондитерск		18р.	10	10
2	Тибетское		напитки		19р.	25	10
3	Анисовый		приправы		10р.	25	10
4	Индийская	Индийская	приправы		22р.	0	10
5	Смесь	Смесь	приправы		21р.	0	10

## Лабораторная работа №2 Проектирование запросов для управления данными

**Цели:** получить навыки конструирования запросов различного типа для выборки данных из реляционных таблиц и управления данными;  
освоить технологию создания запросов QBE;  
изучить основные конструкции реляционного языка запросов SQL.

**Задача.** Пусть требуется получить определенные сведения из одной или нескольких таблиц базы данных. Для решения этой задачи целесообразно создать запросы на выборку, содержащие требуемые критерии отбора данных. В ряде случаев требуется удалять или добавлять записи в имеющиеся таблицы базы данных. Эту задачу решают при помощи запросов на удаление или добавление соответственно, в которых указываются необходимые критерии, показывающие, какие записи должны быть удалены или, наоборот, добавлены в таблицу.

### Общие сведения о запросах MS Access

В больших базах данных часто возникает проблема поиска необходимой информации (или отбора записей), удовлетворяющей определенным критериям. Задача поиска информации является одной из самых трудоемких и во многих случаях - одной из главных.

Для решения этой задачи предназначен механизм запросов. Этот механизм является стандартным и применяется почти одинаково во всех (или, во всяком случае, подавляющем большинстве) СУБД реляционного типа. Он представляет собой набор команд на языке SQL, определяющих критерий отбора записей в реляционной таблице. Таким образом, чтобы получить необходимую информацию из базы данных, следует записать соответствующие команды на языке SQL или, иначе говоря, сформировать запрос.

Многие СУБД обладают механизмом автоматизации проектирования запросов. Чаще всего запрос формируется на специальном бланке. Такой метод формирования запроса называется QBE (*Query By Example - Запрос по образцу*). В MS Access процесс создания запроса подобен процессу создания таблиц (см. Лабораторная работа №1. Проектирование структуры базы данных и создание таблиц). Для того чтобы начать проектирование нового запроса, необходимо перейти на вкладку **Запросы** Окна базы данных и нажать кнопку **Создать**. В

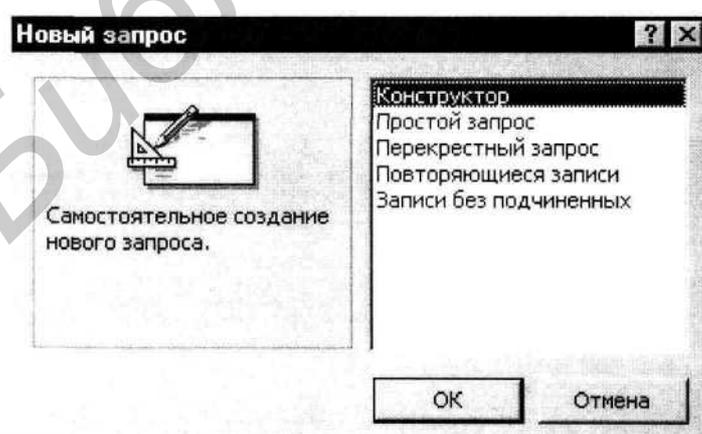


Рис. 2.1 Окно нового запроса

результате появится окно диалога **Новый запрос** (рис. 2.1), аналогичное окну **Новая таблица**. В этом окне будет предложено выбрать один из вариантов создания запроса.

Запрос можно создать самостоятельно при помощи **Конструктора** или использовать готовый. Назначение каждого из режимов поясняется в левой части окна при указании мышью. Как показывает практика, большинство запросов создается с помощью **Конструктора**. По этой причине

мы более подробно рассмотрим этот способ.

После подтверждения запуска **Конструктора** открывается бланк запроса (рис. 2.2) и окно **Добавление таблицы** (рис. 2.3).

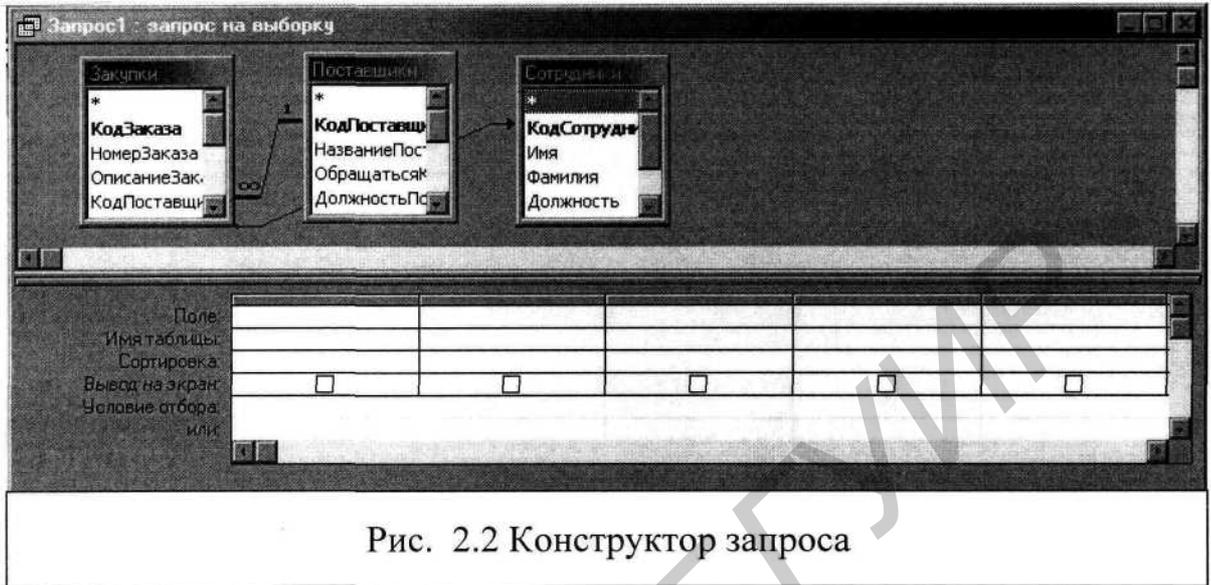


Рис. 2.2 Конструктор запроса

В этом окне пользователю предоставляется возможность выделить одну или несколько таблиц, участвующих в запросе (выделение таблиц осуществляется аналогично выделению файлов в операционной системе Windows). Чтобы выделенные таблицы поместить в запрос, следует нажать кнопку **Добавить**. Указанные таблицы отображаются в верхней части окна **Конструктора запроса** вместе со всеми связями, если они имеются.

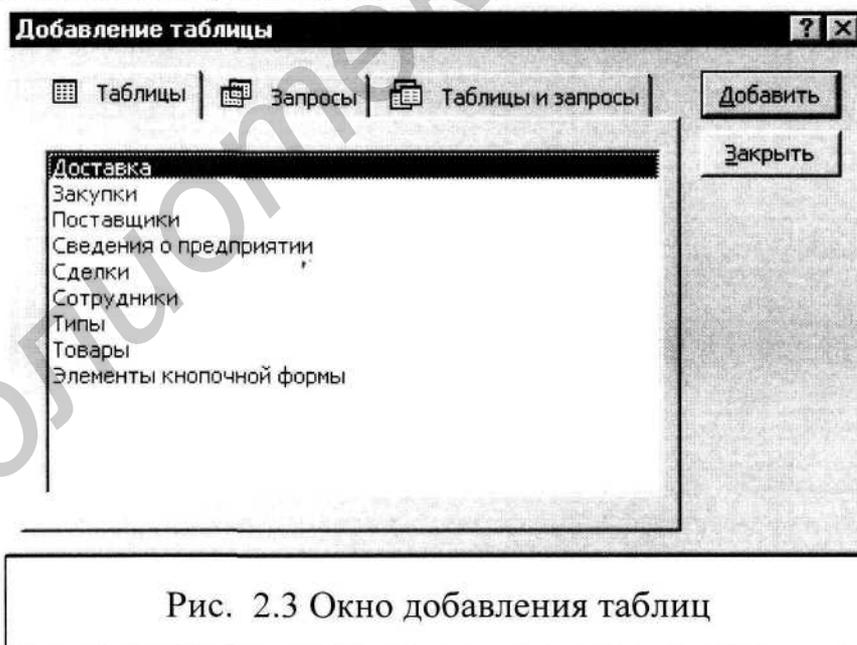


Рис. 2.3 Окно добавления таблиц

Теперь, чтобы сформировать запрос, необходимо в бланке **Конструктора** сформировать образец. Он состоит из полей соответствующих таблиц, логических условий и выражений. В простейшем случае, если в бланк помещаются только некоторые поля из таблиц, мы получаем запрос на выборку определенных полей из одной или нескольких таблиц. Указать наименование поля, значения которого должны выводиться или участвовать в запросе, можно одним из следующих способов (рис. 2.4):

- Выбрать поле из списка **Поле** в окне **Конструктора**.
- В таблице из верхней части окна **Конструктора** выделить необходимые поля и перетащить их мышью в ячейку **Поле** бланка запроса в нижней части окна - выбранные поля помещаются в бланке запроса последовательно, начиная с той ячейки, где была освобождена кнопка мыши.
- Если в образец запроса необходимо поместить все поля из таблицы, то можно одним из вышеуказанных способов поместить в бланк символ \* ("звездочка").

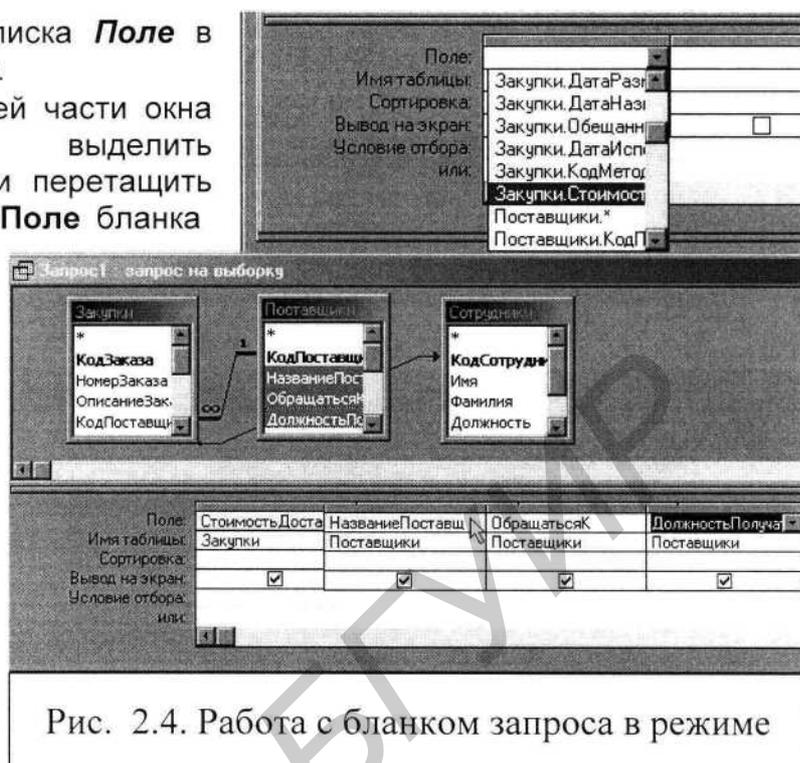


Рис. 2.4. Работа с бланком запроса в режиме

#### Варианты заданий:

1. Создать запрос на выборку, позволяющий получить следующие сведения из базы данных:

таблица "Поставщики" -

- **НазваниеПоставщика**
- **Адрес**
- **Город**
- **Факс**

таблица "Оборудование" -

- **Наименование**
- **Цена**
- **Количество**
- **Стоимость**

таблица "Предприятие-изготовитель" -

- **Наименование**
- **ФИО\_руководителя**
- **Адрес**

Результирующие данные сортировать по наименованию товара.

2. Создать запрос на выборку для получения данных, удовлетворяющих определенным критериям:

- 1) вывести всех поставщиков, обслуживающих клиентов в городах, названия которых начинаются на букву "М";
- 2) получить сведения об изготовителях, производящих оборудование стоимостью от 2000 до 4000\$;

## Лабораторная работа №3 Проектирование форм представления и управления данными

**Цели:** освоить основные приемы создания форм представления данных для отображения, редактирования и управления данными реляционных таблиц;

изучить основные элементы форм.

**Задача:** необходимо создать форму для представления данных, позволяющую просматривать и редактировать данные из нескольких связанных таблиц базы данных, предоставить пользователю простейшие элементы для управления данными. Для решения поставленной задачи создадим форму для отображения данных, включающую элементы управления данными.

### Общие сведения о формах MS Access

Табличная форма представления данных в реляционных базах данных хоть и является простой с точки зрения реализации, не всегда оказывается удобной для просмотра данных в больших таблицах. При значительном количестве полей таблицы доступ к данным может быть затруднен. Для большинства неподготовленных пользователей табличная форма является трудной для восприятия, они желали бы просматривать данные в привычном для себя виде – в виде бланка, документа определенной структуры или в каком-то другом удобном для восприятия виде.

В MS Access имеется возможность представлять данные в произвольном порядке, имитируя практически любую структуру документа. Для этой цели используются *формы*.

*Форма* – это средство отображения и редактирования данных с помощью различных элементов управления.

Так же как таблицы и запросы, формы создаются различными способами. Для создания новой формы используется вкладка **Формы** окна базы данных (см. рис.1.3). После нажатия кнопки **Создать** появляется окно диалога **Новая форма**

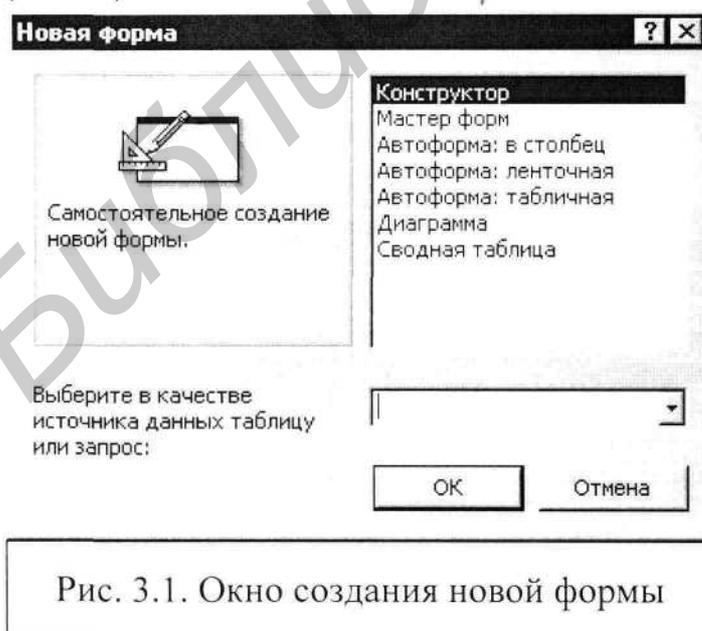


Рис. 3.1. Окно создания новой формы

(рис. 3.1). Как и в предыдущих случаях, здесь имеется возможность выбрать один из вариантов создания формы. Для отображения простой структуры данных можно воспользоваться готовой формой (*Автоформа в столбец*, *Автоформа ленточная* и *Автоформа табличная*). Для создания более сложных форм используется *Конструктор* и *Мастер форм*. Режим *Диаграмма* предназначен для графического представления числовых данных в виде диаграмм и графиков. *Сводная таблица* используется для анализа данных в электронных таблицах MS Excel. При выборе режимов в окне

диалога их назначение поясняется в левой части окна.

Наиболее оптимальным представляется следующий прием. Сначала при помощи **Мастера форм** создать заготовку формы, затем в режиме **Конструктор** внести необходимые изменения и дополнения. Например, изменить порядок расположения полей, добавить вычисляемые поля, элементы управления и т. д. Впрочем, часто оказывается достаточным воспользоваться **Мастером**. Рассмотрим процесс создания формы на следующем примере.

### Пример 1

Создать форму отображения сведений о поставщиках. Сведения о поставщиках отобразить в виде бланка свободной формы.

Для решения поставленной задачи воспользуемся указанным выше приемом. С помощью **Мастера форм** создадим заготовку со стандартным расположением полей и оформлением. Затем в режиме конструктора изменим расположение полей данных в соответствии с формой бланка. После нажатия кнопки **Создать** на вкладке *Формы* в окне **Новая форма** (см. рис. 3.1) следует выбирать режим мастера форм. В раскрывающемся списке в нижней части окна следует указать источник данных создаваемой формы. В нашем случае это таблица *Поставщики*. После подтверждения (нажатием кнопки **Ок**) запускается мастер построения формы. Рассмотрим последовательно шаги построения формы с помощью **Мастера**.

Шаг 1. Выбрать поля для отображения в форме (рис. 3.2).

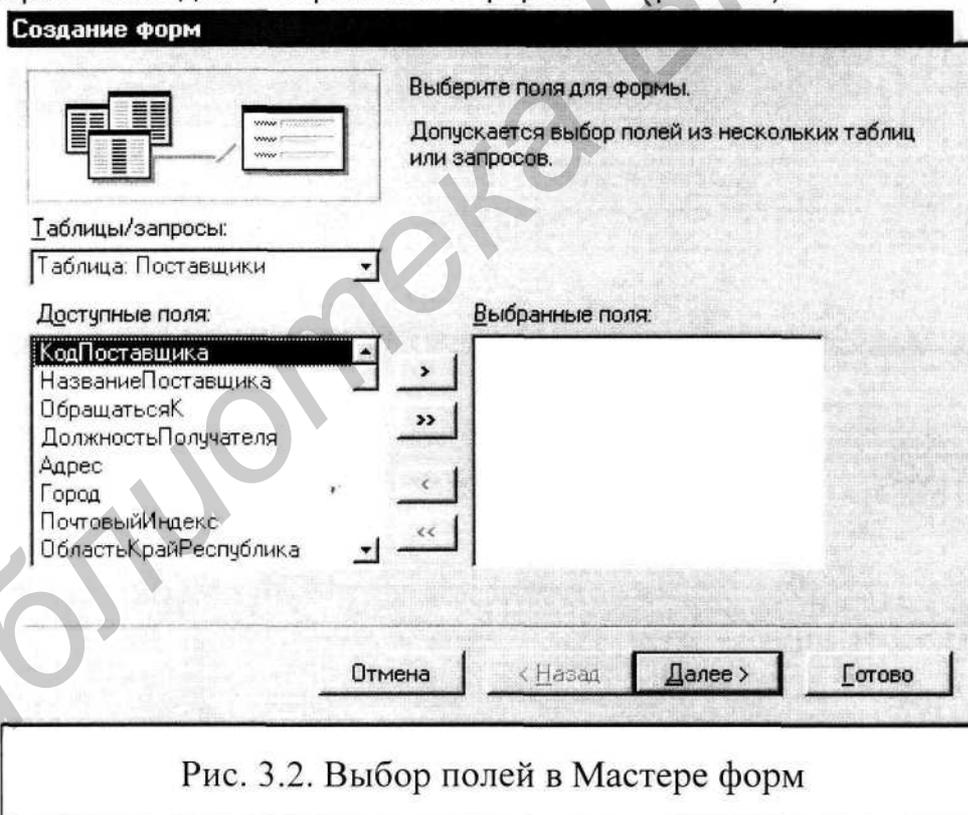


Рис. 3.2. Выбор полей в Мастере форм

Выберем следующие поля:

- КодПоставщика;
- НазваниеПоставщика;
- Город;
- ОбластьКрайРеспублика;
- Страна;
- НомерТелефона.

Шаг 2. Выбрать внешний вид формы (рис. 3.3). В данном случае вид формы значения не имеет, поэтому оставим форму *В один столбец*.

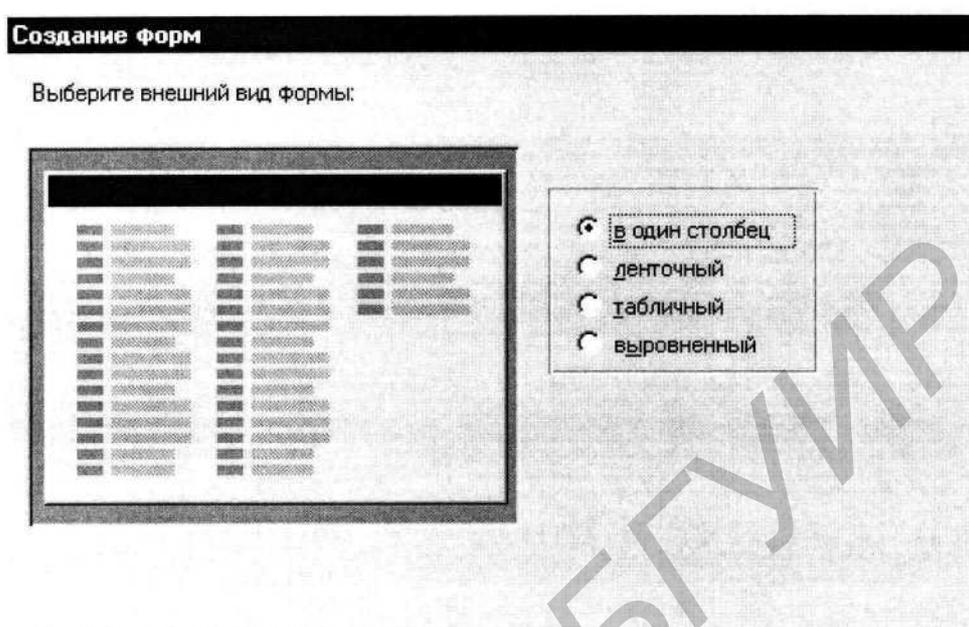


Рис. 3.3. Выбор внешнего вида формы

Шаг 3. Выбрать стиль формы (рис. 3.4).

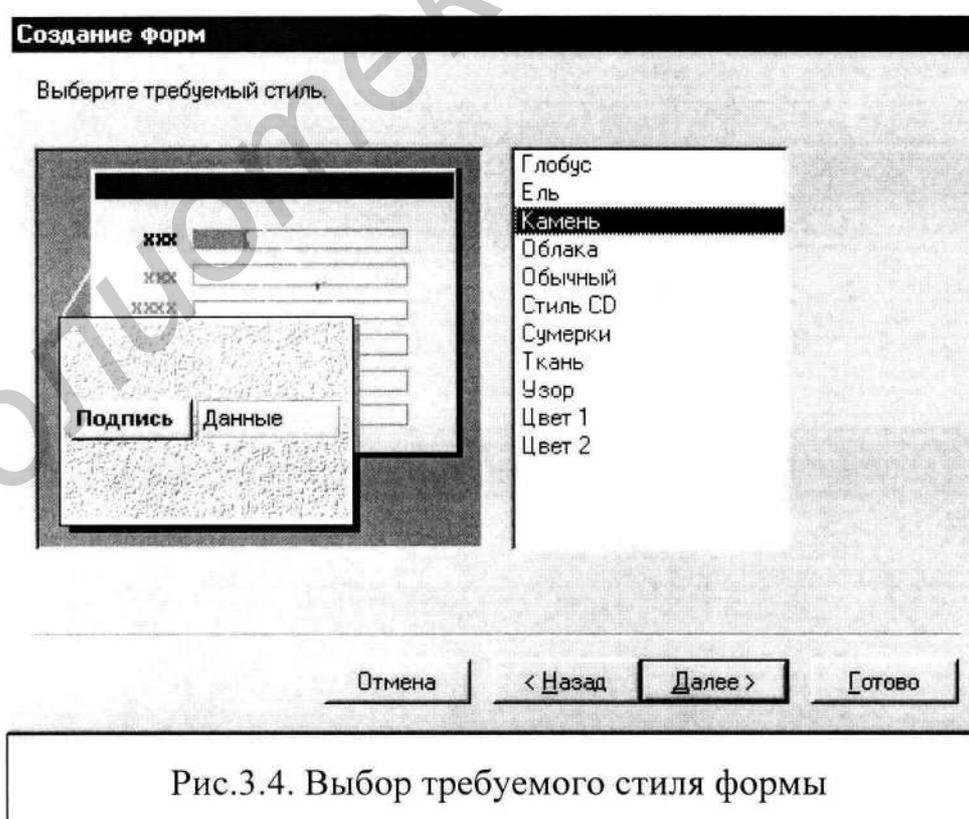


Рис.3.4. Выбор требуемого стиля формы

В правой части окна показан список возможных стилей. При указании стиля в левой части окна отображается пример формы. Выбираем стиль «Камень».

Шаг 4. Задать имя формы (рис. 3.5).

Это последний шаг проектирования формы с помощью мастера. Здесь задается имя, под которым форма будет сохранена в базе данных, и указываются дальнейшие действия, которые следует предпринять по завершении работы с Мастером.

Создание форм

Задать имя формы:

Поставщики

Указаны все сведения, необходимые для создания формы с помощью мастера.

Дальнейшие действия:

открытие формы для просмотра или ввода данных

изменение макета формы

Вывести справку по работе с формой.

Отмена < Назад Далее > Готово

Рис. 3.5. Указание имени формы и действия по завершению процесса создания

После завершения работы с Мастером (нажать на кнопку **Готово**) получаем форму для просмотра и редактирования данных таблицы *Поставщики* (рис. 3.6).

Теперь на основании полученной формы можно в режиме **Конструктор**

Microsoft Access

Файл Правка Вид Вставка Формат Записи Сервис Окно ?

Поставщики1

Код поставщика	
Название	АО "Экзотика"
Город	Москва
Регион	
Страна	Россия
Телефон	(095) 155-2222

Запись: 1 из 5

Макросы Модули

Открыть

Конструктор

Создать

Подчиненная форма товаров

Поставщики

Поставщики1

Сведения об организации

Рис. 3.6. Форма «Поставщики», полученная с помощью Мастера

сформировать бланк отображения данных.

Для редактирования формы в режиме **Конструктор** можно воспользоваться одним из следующих способов:

- находясь в режиме просмотра формы, нажать кнопку  **Вид**;
- в окне Базы Данных выбрать форму, затем нажать на кнопку **Конструктор**;
- в окне Базы Данных щелкнуть правой кнопкой мыши и воспользоваться командой **Конструктор** контекстного меню.

В режиме конструктора переместим элементы формы соответствующим образом, чтобы получить такое расположение полей данных, как в требуемом бланке отображения (рис. 3.7).



Рис.3.7. Форма в режиме конструктора

### Варианты заданий

Создать форму в соответствии с вариантом задания.

1. Форму «Клиенты», отображающую следующие сведения о клиентах:

- **Наименование**
- **ФИО\_Руководителя**
- **Адрес**

2. «Товары», содержащую следующие сведения о товарах:

- **Наименование**
- **Цена**
- **Количество**
- **Стоимость**.

Сведения должны выводиться на бланке, представленном на рис. 3.8.

*Стоимость* – вычисляемое поле. Значение вычисляется по формуле:

$Стоимость = Цена * Количество$ .

3. Отобразить сведения о поставщиках. По каждому поставщику отображать сведения о товарах (см. вариант 2) в табличном виде. Сведения о поставщиках отобразить на бланке, показанном на рис. 3.7.

Заголовок формы									
Область данных									
			Наименование						
			Наименование						
		Цена:		количество:		Стоимость:			
		Цена		Количество		Стоимость			
Примечание формы									

Рис. 3.8 Бланк сведений о товарах

4. Сведения о зарубежных клиентах (расположенных не в Беларуси). По каждому клиенту показать информацию о сделанных заказах. Поля клиентов выводить в ленточной форме, поля заказов – в столбец.
5. Информация о просроченных заказах, с истекшим сроком поставки
6. Сведения о поставщиках и клиентах, сделавших заказ у этих поставщиков. Поля выводить в виде свободного бланка. На каждой странице формы отображать логотип организации-поставщика.
7. Бланк заказов. На бланке расположить поле со списком городов, где проживают клиенты, сделавшие заказ. В подчиненной форме вывести сведения о клиентах, проживающих в указанном городе.
8. Сведения о зарубежных клиентах и обслуживающих их поставщиках. Продвижение по записям таблиц осуществлять с помощью кнопок, добавленных в форму.
9. Бланк регистрации клиента. Изменение поля КодКлиента запретить. Удаление записи о клиенте осуществлять с помощью кнопки, добавленной в форму.
10. Список заказанных товаров. В форму добавить кнопку запуска запроса на выборку, выводящего записи, содержащие сведения о товарах, срок поставки которых совпадает с указанной датой. Дату указывать в поле формы.
11. Списки клиентов по поставщикам. С помощью кнопки запускать запрос на выборку, выводящий сведения о клиентах, проживающих в указанном городе.
12. Бланк регистрации заказа. Поставщика выбирать из раскрывающегося списка. Условия оплаты указывать с помощью переключателей.

В этом макросе выполняется линейная последовательность команд. Первой командой открывается форма «Сотрудники» для добавления записей о новых сотрудниках. Вторая команда запускает запрос «Продажи по сотрудникам и странам». Последняя макрокоманда выдает в режиме просмотра отчет «Продажи по сотрудникам и странам». После этого макрос завершает свою работу.

## Создание макросов

### Линейные макросы

Как указывалось выше, для некоторой последовательности часто повторяющихся простых действий используют макросы линейной структуры, представляющие собой последовательность определенных макрокоманд. Эти макрокоманды выполняются в том порядке, как они записаны в макросе, и последовательность выполнения не изменяется в зависимости от условий. Отсюда и условное название макросов такого типа.

Рассмотрим способы создания макросов. Для начала следует напомнить, что макрос является объектом базы данных MS Access. Для того чтобы создать макрос, необходимо перейти на вкладку **Макросы** (рис. 4.1) окна базы данных. Затем нажать кнопку **Создать** для создания нового макроса. В результате откроется окно конструктора (макросы создаются только в режиме конструктора), в котором можно формировать макрокоманды с соответствующими аргументами, если необходимо.

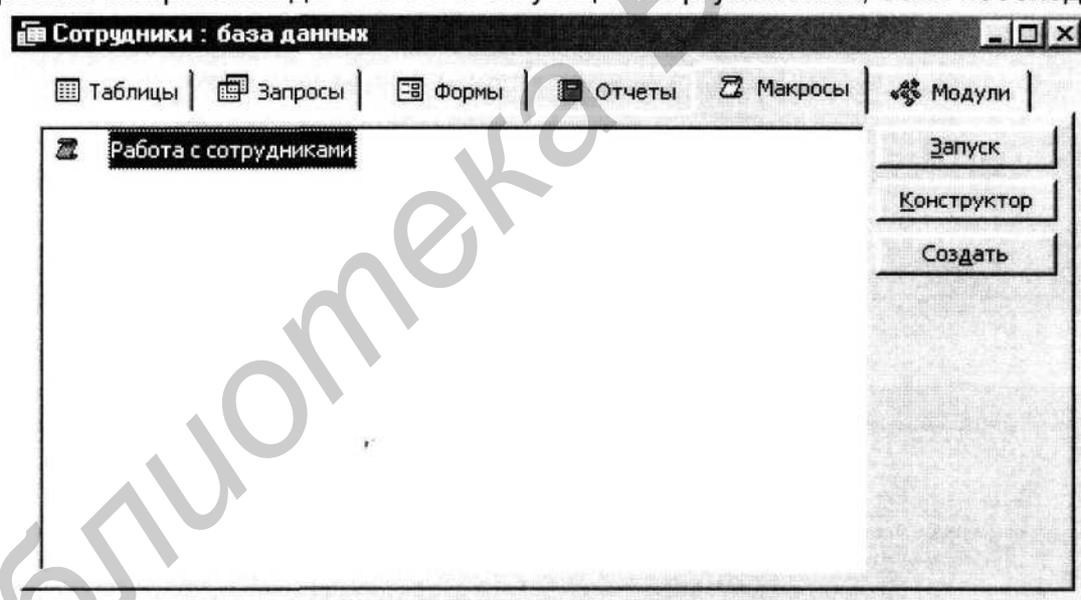


Рис. 4.1 Вкладка *Макросы* окна базы данных

Как создавать собственно макрокоманды, мы и рассмотрим на примере простейшего линейного макроса. Первый способ предполагает выбор макрокоманд из поля со списком **Макрокоманда** (рис. 4.2). При выборе макрокоманды из списка автоматически становится доступным раздел **Аргументы** макрокоманды, в котором имеется возможность выбрать аргументы, соответствующие выбранной команде. Под аргументами макрокоманды понимаются уточняющие параметры. Например, для макрокоманды **Открыть форму** в качестве аргумента должны быть указаны следующие аргументы: имя открываемой формы, режим, в котором необходимо открыть форму, имя фильтра и условие отбора, режим ввода записей и режим окна вывода. Каждую макрокоманду можно также снабдить примечаниями. Для этого нужно ввести соответствующий текст в поле **Примечание**. Примечание никак не влияет на работу макрокоманды, но значительно упрощает понимание цели

ее применения и помогает быстрее разобраться в макросах сложной структуры.

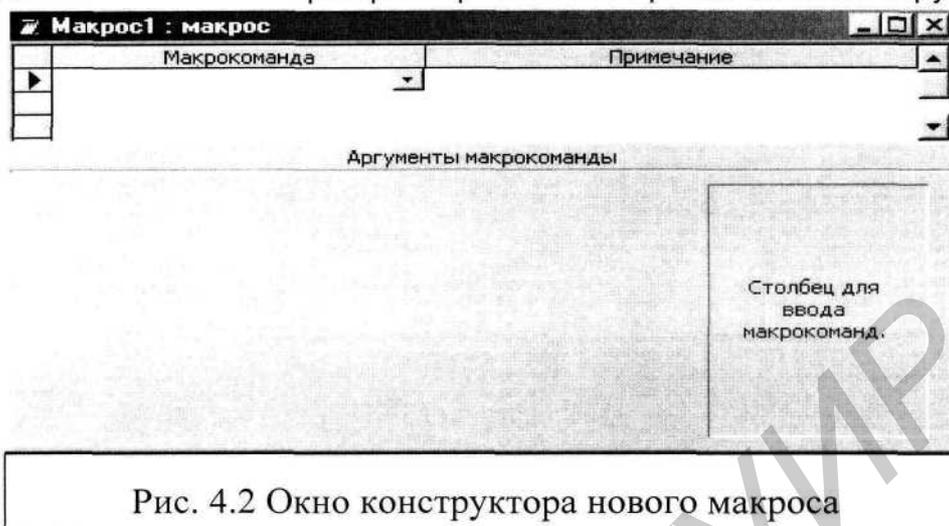


Рис. 4.2 Окно конструктора нового макроса

Второй способ заключается в использовании объектов базы данных (рис. 4.3). Так, например, если требуется создать макрос, открывающий форму, можно воспользоваться следующим приемом.

- Открыть вкладку **Макросы** окна базы данных.
- Нажать кнопку **Создать**.
- Используя соответствующие команды меню **Окно**, расположить Окно базы данных и Окно конструктора макроса таким образом, чтобы оба окна были видны полностью.
- В Окне базы данных перейти на вкладку с объектами требуемого типа.
- В Окне базы данных выбрать нужный объект и мышью перетащить его в окно **Конструктора** макроса в поле столбца **Макрокоманда**.

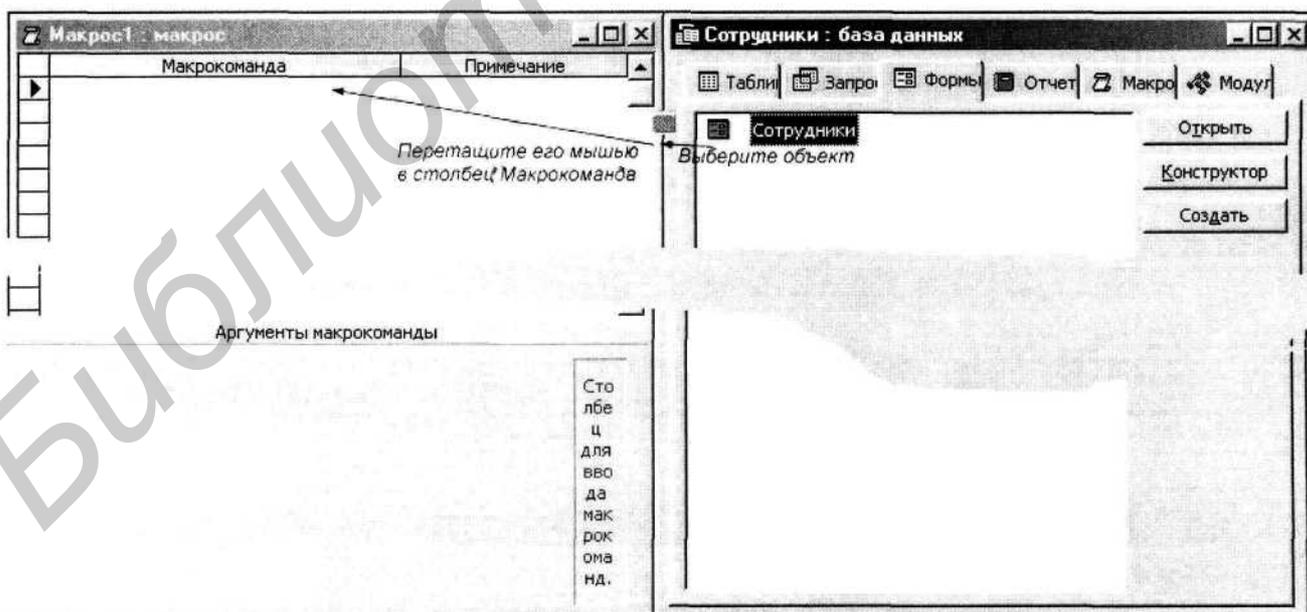


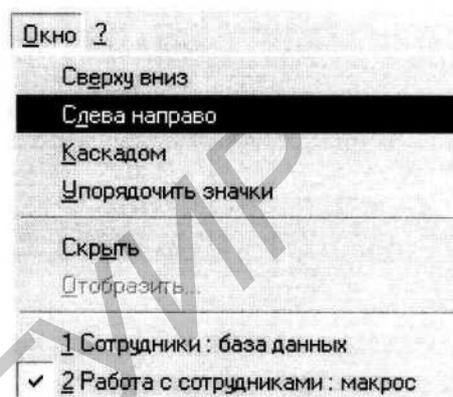
Рис. 4.3 Перетаскивание объекта базы данных в поле макрокоманд

В результате выполненных действий в **Окне Конструктора** будет сформирована команда **Открыть форму** со всеми необходимыми аргументами, принятыми по умолчанию.

## Пример 1

Предположим, при работе с базой данных «Сотрудники», требуется выводить форму для просмотра или ввода сведений о сотрудниках, запрос «Продажи по сотрудникам и странам» и отчет по сотрудникам и продажам для просмотра. Для автоматизации выполнения этих действий создадим макрос «Работа с сотрудниками».

1. На вкладке *Макросы* нажать на кнопку **Создать**.
2. С помощью команды *Слева направо* меню *Окно* расположить рядом окна конструктора макросов и окна базы данных.
3. В Окне базы данных перейти на вкладку *Формы*.
4. В колонку *Макрокоманда* конструктора макросов из окна базы данных перетащить мышью значок формы *Сотрудники*.
5. Изменить аргументы макрокоманды, выбрав режим данных *Добавление*.



Аргументы макрокоманды	
Имя формы	Сотрудники
Режим	Форма
Имя фильтра	
Условие отбора	
Режим данных	Добавление
Режим окна	Обычное

6. По аналогии с пп. 3, 4 сформировать макрокоманды *ОткрытьЗапрос* и *ОткрытьОтчет*.
7. Изменить аргумент макрокоманды *ОткрытьОтчет* *Режим*, выбрав значение *Просмотр*.

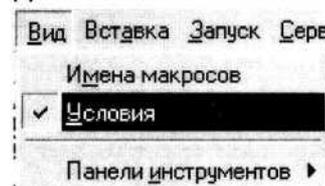
Созданный макрос решает поставленную нами задачу – последовательно открывает форму «Сотрудники» для добавления новых данных, запрос «Продажи по сотрудникам и странам» в режиме таблицы для изменения данных и одноименный отчет для просмотра.

## Макросы с условиями

В ряде случаев требуется, чтобы некоторые действия макроса выполнялись лишь при выполнении определенных условий. Так, например, в нашей базе данных при достижении некоторого среднего значения стоимости заказа должен выводиться итоговый отчет по продажам.

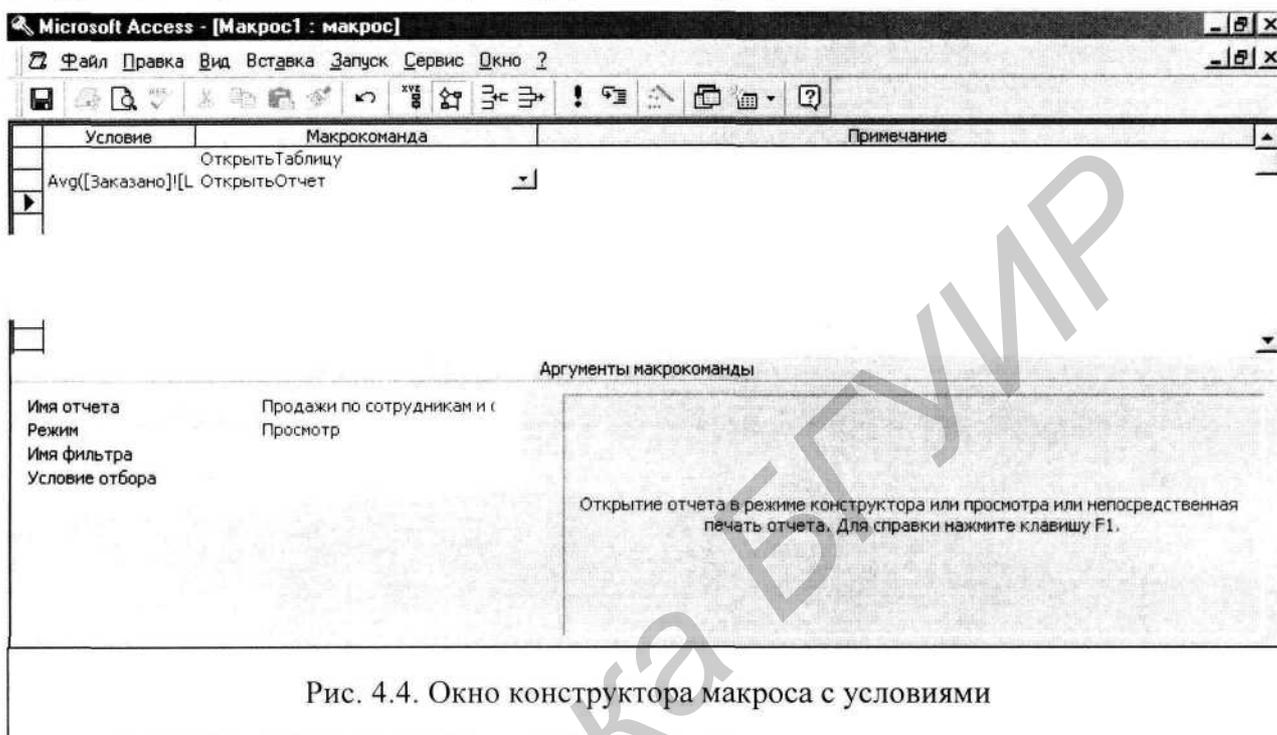
Процесс создания макроса остается таким же, как и в случае с линейным макросом, необходимо лишь добавить условие проверки. Для того чтобы добавить условие, можно воспользоваться одним из нижеперечисленных действий:

- Нажать кнопку **Условия** на панели **Конструктор макросов**
- В меню **Вид** включить щелчком мыши **Условия**.



В результате в бланке конструктора макросов появится еще одна колонка – *Условие* (рис. 4.4). В этой колонке с помощью логических операторов и функций формируется логическое выражение проверки *Условие*. Если условие выполняется (значение логического выражения – «ИСТИНА»), то выполняются команды, записанные в строке с условием и все

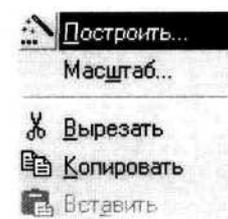
последующие, в которых в ячейке Условие содержится символ «..» (две точки подряд) до строки с другим условием или до конца макроса. В том случае, если условие не выполняется (значение логического выражения – «ЛОЖЬ»), эти команды пропускаются, и выполнение макроса продолжается с команды, указанной в следующей строке или команды содержащей пустую ячейку Условие.



### Пример 2

Пусть требуется выводить отчет по сотрудникам и продажам в том случае, если средняя стоимость заказов превысила сумму 2 тыс. руб. Для решения задачи создадим макрос с условием. Ниже приведем последовательность действий, предпринятых при создании этого макроса.

1. Создать новый макрос.
2. В окне конструктора макроса нажать кнопку **Условия**.
3. Описанным выше способом вставить макрокоманду *ОткрытьФорму*, которая будет открывать форму «Заказано (средняя цена)», содержащую вычисляемое поле для определения среднего значения цены заказов.
4. В колонке *Условие* следующей строки ввести логическое выражение для проверки условия. При этом можно воспользоваться **Построителем выражений** (рис.4.5). Для этого необходимо нажать кнопку **Построить**  в панели инструментов **Конструктор макросов** или воспользоваться контекстным меню в ячейке *Условие* строки соответствующей макрокоманды. Используя элементы **Построителя выражений**, сформировать условие проверки значения средней цены заказанных товаров: **[Forms]![Заказано (средняя цена)]![Avg \_ Цена]>20000**.
5. В ячейке *Макрокоманда* этой же строки, где задано условие, ввести макрокоманду *ОткрытьОтчет* - эта макрокоманда будет выполняться всякий раз, когда средняя цена заказа будет превышать сумму 20 тыс. руб., отображая отчет «*Продажи по сотрудникам и странам*».



В результате выполненных действий мы создали простейший макрос с условием, позволяющий решить конкретную задачу – выдача отчета по продажам при средней цене заказов, превышающей 20 тыс. руб. Данный макрос выдает отчет лишь в том случае, когда выполняется заданное условие.

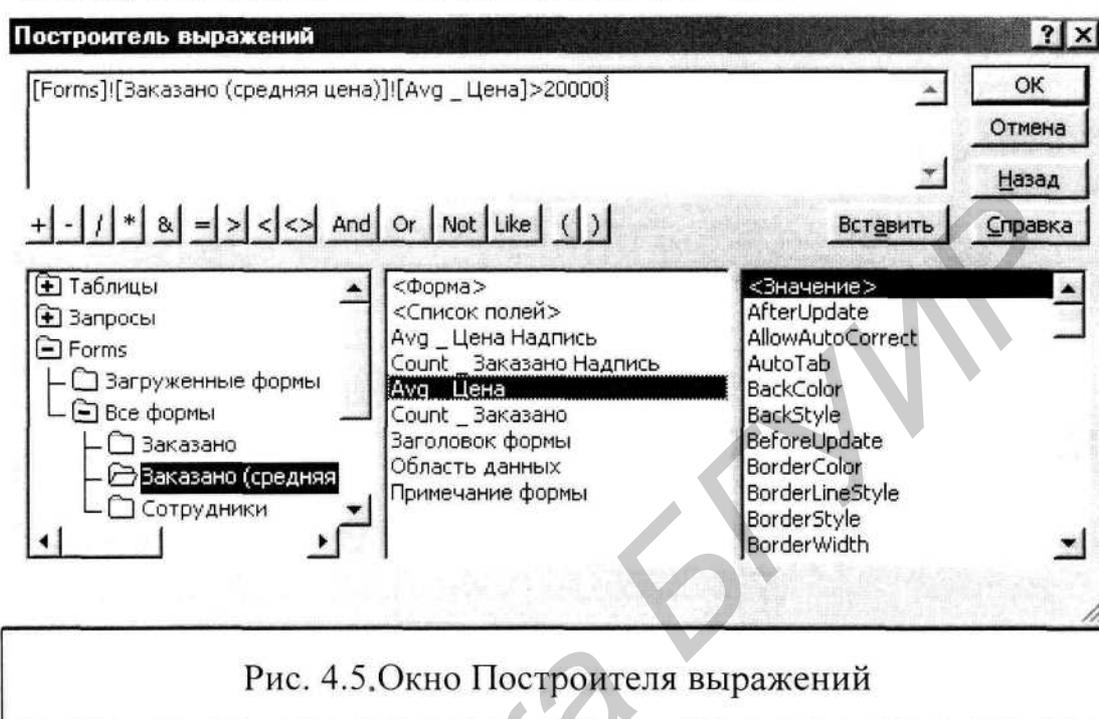


Рис. 4.5.Окно Построителя выражений

### Группа макросов

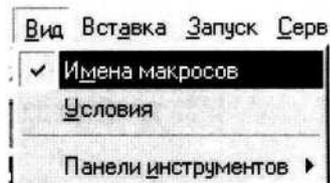
В сложных формах базы данных может содержаться большое количество различных элементов управления, поля с особыми свойствами, может осуществляться обработка нестандартных событий. Как правило, эти элементы связаны с соответствующими макросами. Иногда база данных может содержать несколько десятков различных макросов. Ориентироваться в таком большом множестве бывает не очень удобно. В таких случаях для того, чтобы упростить управление базой данных, создают *группу макросов*.

*Группа макросов* – это набор связанных макросов, сохраняемых под общим именем. При этом каждая группа может «специализироваться» либо по объектам, либо по определенным действиям. Например, может быть создана группа макросов для активных элементов формы «Сотрудники» или группа макросов для вывода на печать из различных объектов базы данных.

Группа макросов представляет собой объединение различных макросов (чаще родственных по своему назначению) в одном объекте. Причем в одной группе могут быть как простые линейные макросы, так и сложные макросы с условиями разветвленной структуры. Макросы внутри каждой группы различаются по их именам. Имя макроса группы состоит из двух частей, разделенных точкой, – **Имя\_Группы.Имя\_Макроса**. Например, имя макроса, выводящего отчет на печать и содержащегося в группе «Печать», может выглядеть так: *Печать.ПечатьОтчета\_Продажа*. Для запуска конкретного макроса из группы необходимо указать его полное имя. Для идентификации каждого макроса, включаемого в группу, конструктор макросов имеет столбец *Имя макроса*.

Создание группы макросов создается в том же самом окне конструктора макросов, и технология создания практически не отличается от создания уже рассмотренных макросов. Отличие состоит лишь в необходимости включения имени макроса. Для того чтобы включить колонку с именами макросов в окне конструктора,

следует нажать кнопку  **Имена макросов** панели инструментов **Конструктор макросов** или включить **Имена макросов** в меню **Вид**. В результате в окне конструктора появится еще одна колонка – *Имя макроса* (рис. 4.6).



Теперь можно приступить к формированию группы макросов. Для каждого макроса внутри группы должно быть введено имя в столбце *Имя макроса*. Затем следует сформировать макрокоманды данного макроса (способы формирования макрокоманд и их аргументов описаны выше). При этом в ячейки *Имя макроса* макрокоманд остаются пустыми. Для того чтобы начать ввод макрокоманд другого макроса, необходимо в строку первой

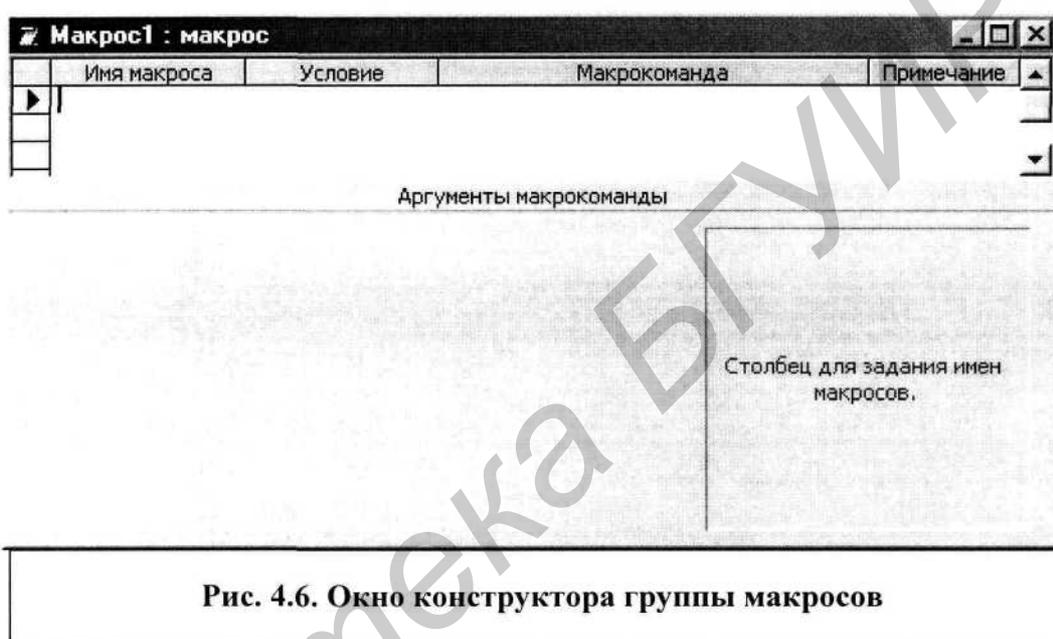


Рис. 4.6. Окно конструктора группы макросов

макрокоманды ввести имя. Процесс повторяется для всех макросов группы.

Когда производится запуск макроса группы, макрокоманды выполняются до тех пор, пока не произойдет одно из следующих событий:

- в столбце *Имя макроса* встретилось имя другого макроса;
- встретилась пустая строка;
- была выполнена макрокоманда *ОстановитьМакрос*;
- была выполнена макрокоманда *ОстановитьВсеМакросы*;
- достигнут конец группы макросов.

### Пример 3

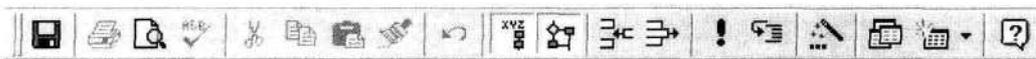
Пусть требуется создать макрос, обеспечивающий взаимодействие с базой данных по всем требуемым действиям: просмотр необходимых форм и отчетов, выдача отчетов при достижении определенного значения средней цены заказов и печать данных, полученных из запросов.

Для решения поставленной задачи создадим группу макросов, включающую ранее созданные макросы:

1. Создать новый макрос.
2. В окне конструктора макроса нажать кнопку *Имена макросов*.
3. В ячейке *Имя макроса* первой макрокоманды ввести имя первого макроса группы – *Вход*.
4. Выполнить действия, описанные в пп. 2 - 7 примера 1, для формирования макрокоманд макроса *Работа с сотрудниками*.

# Редактирование и отладка макросов

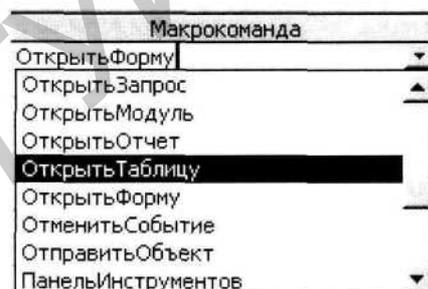
## Редактирование макросов



В процессе создания или после сохранения макрос можно редактировать – изменять, удалять или добавлять макрокоманды и их аргументы и другие элементы макроса. Редактирование осуществляется в режиме конструктора. В процессе редактирования обычно используют клавиатуру, панель инструментов **Конструктор макросов** и набор команд и функций из строки меню (которое автоматически настраивается на текущий режим работы). При этом возможны следующие случаи редактирования.

**Редактирование макрокоманд.** Если необходимо изменить введенную макрокоманду, то следует воспользоваться раскрывающимся списком в поле макрокоманд. Прокликая открывшийся список, выбрать необходимую макрокоманду. Выбранная макрокоманда заменит прежнее содержимое поля.

Можно также непосредственно вводить название макрокоманды с клавиатуры, предварительно выделив поле макрокоманд (выделяется автоматически, если в это поле входит при помощи клавиш управления курсором). При этом в поле будет автоматически введена та макрокоманда, название которой включает первые введенные символы.



**Удаление макрокоманд.** Для удаления одной или нескольких макрокоманд из макроса следует выделить соответствующие строки при помощи маркера выделения строк  (для выделения нескольких строк необходимо провести мышью, удерживая нажатой левую кнопку, по маркерам выделяемых строк). Для удаления выделенных строк:

- выбрать команду **Удалить строки** в меню **Правка**;
- выбрать команду **Удалить строки** в контекстном меню;
- нажать на кнопку **Удалить строки**  в панели инструментов конструктора макросов;
- нажать клавишу **<Del>** на клавиатуре.

**Вставка макрокоманд.** Чтобы вставить пропущенную макрокоманду, необходимо добавить строку в окне конструктора макроса. Для этого требуется вначале выделить строку, перед которой будет вставлена макрокоманда. Можно выделить также сразу столько строк, сколько требуется вставить, начиная от той строки, перед которой эти строки должны быть вставлены. Чтобы вставить указанные строки, остается выполнить одно из нижеперечисленных действий:

- выбрать команду **Строки** в меню **Вставка**;
- выбрать команду **Добавить строки** в контекстном меню;
- нажать на кнопку **Добавить строки**  в панели инструментов конструктора макросов;
- нажать клавишу **<Ins>** на клавиатуре.

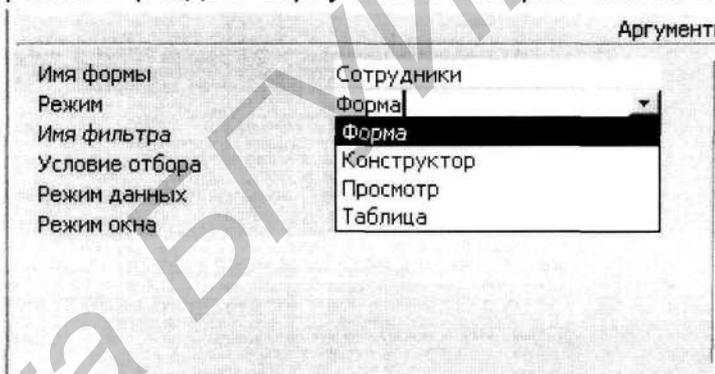
В результате выполненных действий в макрос будет вставлено указанное количество строк. Вставленные строки будут расположены перед той строкой, которая была выделена первой.

Для вставки макрокоманд можно также перетащить мышью соответствующие объекты базы данных из окна базы данных, как это было описано в разделе «Линейные макросы». При этом соответствующая макрокоманда вставляется перед той, в строке которой был оставлен объект (отпущена кнопка мыши).

**Изменение последовательности выполнения макрокоманд.** Изменение последовательности выполнения макрокоманд заключается в перестановке соответствующих строк в окне макроса. Для этого необходимо выделить последовательность строк при помощи маркера выделения, а затем перетащить выделенные строки мышью в требуемую позицию. При этом жирной линией отмечается начало вставки выделенных строк.

**Редактирование аргументов макрокоманды.** Чтобы изменить аргументы макрокоманды, необходимо в окне конструктора установить курсор в строку, содержащую макрокоманду, затем перейти в раздел «Аргументы макрокоманды». Затем изменить соответствующий аргумент, выбрав соответствующее значение аргумента из списка.

Аргумент *Имя объекта* можно изменить также, перетащив соответствующий объект из окна базы данных. Остальные аргументы автоматически принимают значения по умолчанию для данного типа объектов. При этом не имеет значения, в каком именно месте окна аргументов отпускать кнопку мыши.



Некоторые из аргументов могут быть заданы в виде вычисляемых выражений. В конце поля такого аргумента появляется кнопка **Построить**. При нажатии на эту кнопку вызывается окно **Построитель выражений** (см. рис.4.5). Используя панели инструментов и элементы **Построителя выражений**, можно построить выражение для вычисления требуемого значения.

Условие отбора

кнопка **Построить**

**Редактирование условий в макросах.** Для формирования условия в макросах с условиями необходимо в окно макроса добавить столбец *Условие* (если он еще не добавлен), как это было описано в разделе «Макросы с условиями». Затем следует ввести логическое выражение проверки требуемого условия. Кроме «ручного» ввода с клавиатуры имеется возможность воспользоваться

**Построителем выражений.** Для этого следует нажать кнопку **Построить** панели инструментов **Конструктор макросов**.

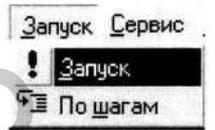
Для редактирования условия можно также воспользоваться **Построителем выражений**. При этом выражение, введенное в столбце *Условие*, будет отображено в окне **Построителя выражений**. Чтобы изменить какой-либо операнд в выражении или оператор, необходимо выделить соответствующую часть в самом выражении, а затем, используя панели инструментов и элементы **Построителя выражений**, ввести в выражение другой операнд или оператор.

**Редактирование имен макросов в группе.** Для ввода имен макросов в группе необходимо добавить столбец *Имя*, а затем ввести имя макроса с клавиатуры. Для редактирования имени макроса используют стандартные приемы редактирования текста с помощью клавиатуры.

## Отладка макросов

После проектирования макроса наступает следующий этап - отладка макроса. На стадии отладки происходит выявление ошибок и их устранение. Для простейших макросов, состоящих из небольшого количества макрокоманд, ошибки можно отслеживать непосредственно при выполнении макроса. Если же макрос состоит из большого количества макрокоманд и имеет сложную структуру, то может понадобиться отладка по шагам.

**Запуск макроса.** Чтобы запустить макрос из окна конструктора на выполнение, можно нажать кнопку **Запуск** панели инструментов **Конструктор макросов** или воспользоваться командой **Запуск** меню **Запуск**.



**Отладка макроса.** Процесс отладки заключается в контроле за ходом выполнения макрокоманд макроса, обнаружении ошибок и их устранении.

В процессе отладки выполняют пробный запуск, и, если макрос выполняется, сравнивают результат выполнения с ожидаемым. Если в результате выполнения макроса должны быть проведены какие-либо вычисления, то обычно разрабатывают тестовый пример, результат вычисления которого заранее точно известен или предопределен, и сравнивают результаты, полученные при выполнении пробного запуска, с результатами теста. Если результаты различаются, то следует отыскать ошибку в вычислениях или последовательности действий (алгоритме) самого макроса.

Ошибки, возникающие во время выполнения какой-либо последовательности инструкций (программе, модуле, макросе), бывают двух основных видов: *фатальные* и *нефатальные*. *Фатальные* ошибки приводят к немедленному прекращению выполнения макрокоманд макроса (операторов программы). *Нефатальные* ошибки не приводят к завершению выполнения макроса, выполнение продолжается, но результат, как правило, искажается.

*Фатальные ошибки* обусловлены, как правило, синтаксическими ошибками в написании макрокоманд, применением некорректных макрокоманд или значений аргументов (например, введено имя несуществующего объекта). Фатальные ошибки проще обнаружить в процессе пробного запуска. В случае возникновения ошибки макрос останавливается на той макрокоманде, где она была обнаружена.

*Нефатальные ошибки* являются результатом некорректного проектирования последовательности действий макрокоманд в макросе или ошибками в формулах вычислений. Такие обнаружить труднее, так как они не приводят к остановке макроса.

Фатальные ошибки устраняются путем изменения ошибочных макрокоманд и (или) значений их аргументов на корректные. Нефатальные устраняются только при изменении последовательности действий в макросе или в результате замены выражения, по которому вычисляется результат.

Для отладки сложных макросов целесообразно использовать пошаговый режим запуска. В этом режиме выполняется только одна макрокоманда и макрос останавливается. Затем переходят к следующей макрокоманде, и так далее до конца макроса. В таком режиме проще отследить последовательность выполняемых действий и контролировать промежуточные результаты.

Для выполнения макроса в пошаговом режиме следует нажать кнопку **По шагам** панели инструментов **Конструктор макросов** или воспользоваться командой **По шагам** меню **Запуск**.

**Обработка ошибок.** Если макрос содержит некорректную макрокоманду или макрокоманду с ошибочными аргументами, то при попытке запустить такой макрос возникает ошибка выполнения.

Например, в макросе «Работа с сотрудниками», который был создан при выполнении примера 1, случайно (или неслучайно) был изменен аргумент *Имя формы* макрокоманды *ОткрытьФорму* – вместо имени существующей формы «Сотрудники» было введено имя «Сотрудники2». В связи с тем, что такой формы на самом деле не существует, при попытке выполнения данной макрокоманды при запуске макроса возникнет ошибка. В ответ на возникновение ошибки выдается диалоговое окно **Ошибки выполнения макрокоманды** с именем и аргументами макроса (рис. 4.7). Исходя из информации, содержащейся в этом окне, пользователь имеет возможность обнаружить ошибочно введенную макрокоманду или аргумент. Остается лишь отредактировать ошибочную макрокоманду либо изменить аргумент (или вообще отказаться от использования этой макрокоманды). В пошаговом режиме выполнения макроса имеется возможность перейти на один шаг выполнения вперед, т.е. выполнить следующую макрокоманду или продолжить выполнение макроса (игнорируя ошибку).



### Варианты заданий

Создать макрос, автоматизирующий выполнение следующих задач:

1. Открыть форму «Клиенты» для просмотра. После закрытия формы открыть соответствующую таблицу для добавления.
2. Запустить запрос на выборку, выводящий сведения о поставщиках по указанному заказу. Если такого заказа не существует, открыть форму бланка регистрации заказа на добавление.
3. Вывести список поставщиков. Для выбранного поставщика отобразить форму в режиме просмотра.
4. Зарегистрировать клиента – открыть соответствующую форму для добавления.
5. Оформить заказ. Если в форме бланка заказа введен несуществующий клиент, зарегистрировать его. После регистрации вывести список всех клиентов.
6. С помощью запроса на выборку вывести всех поставщиков, обслуживающих заказы в указанном городе. В случае отсутствия таковых, добавить в таблице *Поставщики* соответствующие записи.