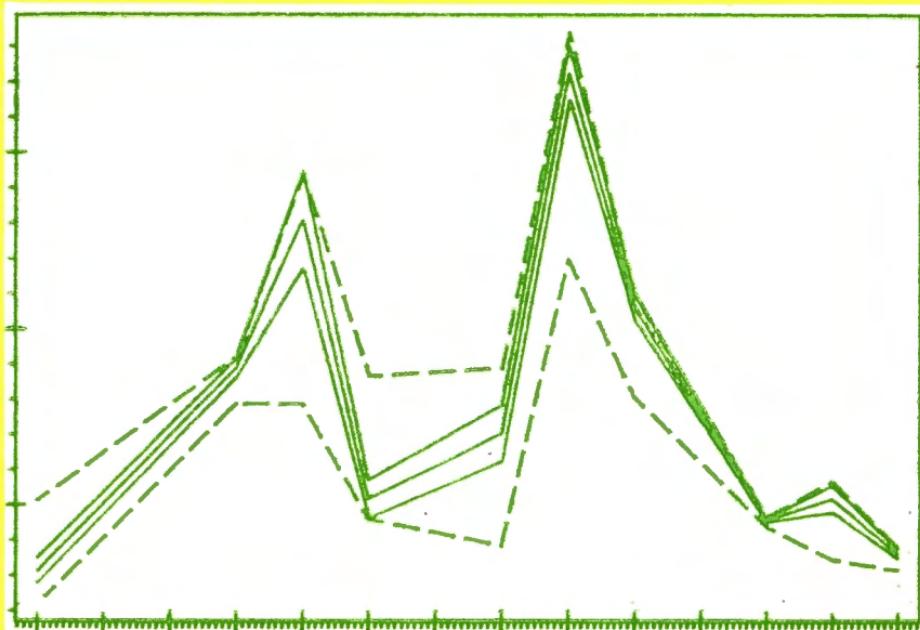


МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Материалы
международного
проекта
СОММЕМІ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Материалы международного
проекта СОММЕМІ

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук
В.И. ДМИТРИЕВ



Москва "Наука" 1990

Авторы: М.С.Жданов, И.М.Варенцов,
Н.Г.Голубев, В.А.Крылов

Методы моделирования электромагнитных полей
(Материалы международного проекта СОММЕМИ) /
М.С.Жданов, И.М.Варенцов, Н.Г.Голубев, В.А.Крылов. -
М.: Наука, 1990. -198 с. ISBN 5-02-000137-6

Монография посвящена анализу современного состояния применяемых в геофизике методов математического моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах. Теоретические исследования сочетаются в книге с конкретным изучением возможностей различных методов и компьютерных программ моделирования (разработанных в СССР и за рубежом) на материалах Международного проекта по сравнению средств математического моделирования в задачах электромагнитной индукции (СОММЕМИ). Приведены многочисленные таблицы и диаграммы, иллюстрирующие сопоставление различных подходов на ряде тестовых геоэлектрических моделей.

Для геофизиков, занимающихся моделированием и интерпретацией электромагнитных полей, разработкой и тестированием соответствующего программного обеспечения, а также специалистов в области вычислительной геофизики, аспирантов и студентов старших курсов геофизических специальностей.

Табл. 68. Ил. 37. Библиогр.: 71 назв.

The modern achievements in the field of electromagnetic data modelling in geophysics are considered in this book. Theoretical analysis is combined here with the practical study of existing modelling techniques and computer programs in the frames of the International project on the comparison of modelling methods for electromagnetic induction problems (СОММЕМИ). Numerous tables and diagrams illustrate possibilities of different approaches in various geoelectric models.

Рецензенты: Б.Ш.Зингер, В.Ю.Семенов

М 1803020000-173
042(02)-90 377-90, II пол.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие методов математического моделирования в задачах геоэлектрики ведется уже несколько десятилетий, однако лишь в последние 10-15 лет получены численные алгоритмы, обеспечивающие расчет достаточно сложных двумерных моделей, и лишь в самые последние годы появились трехмерные алгоритмы, достаточно надежные и позволяющие рассматривать нетривиальные геоэлектрические структуры. Число применяемых алгоритмов и программ численного моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах исчисляется в настоящее время десятками, и возникают проблемы сравнительного анализа их точности, вычислительной эффективности, универсальности. Такой анализ необходим как для грамотного использования существующих средств моделирования, так и для установления приоритетов дальнейшего развития методов моделирования.

Важно учитывать, что математическое моделирование электромагнитных полей в геофизике стало в настоящее время мощным инструментом теоретических исследований и широко используется в практике геофизических работ. В частности, средства двумерного моделирования применяются тысячами исследователей в сотнях организаций нашей страны и многих других стран мира. Поэтому последствия выбора недостаточно проверенных или низкоэффективных методов или программных средств могут быть весьма существенными.

Идея написания данной монографии возникла в ходе работ по Международному проекту сравнения методов моделирования в задачах электромагнитной индукции СОММЕИ. Этот проект был организован в 1983 г. рабочей группой I/3 Международной ассоциации геомагнетизма и аэрономии (МАГА) и выполнялся в широкой международной кооперации. Работы по проекту координировались сотрудниками отдела глубинных электромагнитных исследований (ОГЕМИ) Института земного магнетизма, ионосфера и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН).

Монография позволяет подвести итоги проекта СОММЕИ и наглядно представить современные возможности математического моделирования геофизических электромагнитных полей в горизонтально неоднородных средах. Небольшой объем книги не позволяет дать детальный теоретический обзор всех существующих подходов в данной области. Мы посчитали более важным ограничиться достаточно краткой характеристикой алгоритмов, наиболее часто используемых в сравнительных расчетах по программе проекта СОММЕИ, и подробно представить полученный фактический материал - результаты расчетов по разным методикам для серии двумерных и трехмерных тестовых моделей и материалы статистического анализа этих расчетов. В таком виде монография становится практическим руководством по применению методов математического моделирования в геоэлектрике и смежных геофи-

зических дисциплинах, обобщает опыт сравнительного анализа соответствующего программного обеспечения, содержит численные эталоны, полезные для разработки и опробования новых средств моделирования.

Авторы благодарят всех участников проекта СОММЕМІ, материалы которых были использованы при подготовке монографии. Особую признательность хотелось бы выразить проф. У.Шмукеру, проф. Д.Виверу, проф. М.Гвождаре, проф. А.Адаму, проф. С.Йелту, доктору Б.Хоббсу, активно способствовавшим организации и проведению Международного проекта СОММЕМІ.

1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

1.1. Проблема математического моделирования в геоэлектрике

Метод математического моделирования основан на замене изучаемого явления его описанием, выраженным с помощью математических символов, т.е. математической моделью. Закономерности, полученные при изучении такой модели с помощью математических методов, переносятся затем на исходное явление и служат для его познания и прогнозирования. Важнейшей задачей моделирования в геофизике является предсказание геофизических полей для заданного распределения связанных с ними физических параметров среды. Сущность проблемы моделирования в геоэлектрике заключается в приближенном формализованном описании с помощью математических структур систем возбуждения и измерения полей, отвечающих заданному методу электромагнитных исследований, распределения электрических и магнитных параметров изучаемой среды, электромагнитного поля в данной среде и установлении математических связей между введенными структурами.

Фундаментальной математической моделью в задачах электродинамики является система уравнений Максвелла, устанавливающая аналитическую связь в форме системы векторных линейных дифференциальных уравнений первого порядка между компонентами электрического и магнитного полей, параметрами среды (электропроводностью, магнитной и диэлектрической проницаемостью) и сторонними возбудителями поля (токами и зарядами). Детальный анализ данной аналитической модели в самом общем случае дан в монографиях (Светов, 1984; Жданов, 1986). В настоящей работе нас будет интересовать частная запись уравнений Максвелла при следующих упрощающих предположениях:

поле от времени зависит по гармоническому закону $\exp(-i\omega t)$,

поле достаточно низкочастотно, так что можно пренебречь токами смещения и ограничиться рассмотрением квазистационарной модели поля,

магнитная μ и диэлектрическая ϵ проницаемости постоянны и равны соответствующим проницаемостям свободного пространства (вакуума),

электропроводность среды σ не зависит от частоты.

С учетом введенных упрощений приходим к системе уравнений гармонического квазистационарного электромагнитного поля:

$$\begin{aligned} \text{rot } \mathbf{H} &= \sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}^S, \\ \text{rot } \mathbf{E} &= i\omega\mu\mathbf{H}, \\ \text{div } \mathbf{H} &= 0, \\ \text{div } \mathbf{E} &= q/\epsilon, \end{aligned} \tag{1.1}$$

здесь E и H - комплексные векторы напряженности электрического и магнитного полей, j^S - плотность сторонних токов, σ - плотность зарядов.

Рассмотренная модель чаще других используется в задачах электромагнитной индукции в Земле, поэтому именно в ее рамках и организовано сравнительное исследование методов математического моделирования по проекту СОММЕИ.

Будем предполагать область моделирования состоящей из двух полупространств: верхнего однородного непроводящего (атмосфера) и нижнего проводящего (Земли), характеризующегося неоднородным распределением электропроводности. Система уравнений (1.1) в проводящей среде может быть преобразована к виду, в котором два первых уравнения разрешены относительно электрического и магнитного полей соответственно:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}(\operatorname{rot} E) - i\omega\mu\sigma E &= i\omega\mu j^S, \\ \sigma \operatorname{rot}(\operatorname{rot} H/\sigma) - i\omega\mu H &= \sigma \operatorname{rot}(j^S/\sigma). \end{aligned} \quad (1.2)$$

Выделяя явно операторы Лапласа в (1.2), приходим к эквивалентной записи:

$$\Delta E + \operatorname{grad}(E, (\operatorname{grad} \sigma)/\sigma) + i\omega\mu\sigma E = i\omega\mu j^S, \quad (1.2a)$$

$$\Delta H + ((\operatorname{grad} \sigma)/\sigma) \times \operatorname{rot} H + i\omega\mu H = -\sigma \operatorname{rot}(j^S/\sigma).$$

Полученные уравнения лежат в основе большинства алгоритмов моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах. При этом, в зависимости от конкретных условий, выбирается одно из уравнений (1.2а), дополняемое необходимыми уравнениями из (1.1).

В непроводящей среде в системе (1.2) представляет интерес только первое уравнение, приобретающее в силу отсутствия свободных и сторонних зарядов форму неоднородного уравнения Лапласа:

$$\Delta E = -i\omega\mu j^S. \quad (1.3)$$

Наконец, в важной для нас частной модели стационарного поля, получаемой из квазистационарной в предельном переходе при $\omega \rightarrow 0$, в общем случае необходимо вернуться к исходной системе уравнений Максвелла (1.1) и рассмотреть независимые подзадачи для электрического и магнитного полей. Для описания стационарного магнитного поля может быть использовано второе уравнение из (1.2):

$$\operatorname{rot} (\operatorname{rot} \mathbf{H}/\sigma) = \operatorname{rot} (\mathbf{j}^S/\sigma).$$

(1.4)

В однородных по электропроводности областях кусочно однородных сред для представления электрического поля может быть использовано и первое уравнение из (1.2), переходящее в этом случае в однородное уравнение Лапласа.

Конкретизируем аналитическую электродинамическую модель, выраженную системой (1.1), определив структуру неоднородного распределения электропроводности в области моделирования и схему возбуждения электромагнитного поля в ней.

Прежде всего представим распределение электропроводности как суперпозицию нормальной и аномальной компонент:

$$\sigma(\mathbf{r}) = \sigma^N(\mathbf{r}) + \sigma^A(\mathbf{r}). \quad (1.5)$$

Под нормальной составляющей будем понимать такое распределение электропроводности, для которого задача моделирования решается существенно проще, чем в общем случае. Обычно пространственная размерность нормальной электропроводности ниже, чем суммарной. Классическим примером нормального распределения является горизонтально-слоистое кусочно-однородное. Могут быть и более сложные ситуации, например двумерное распределение нормальной электропроводности в трехмерной задаче. Чаще всего нормальное распределение выбирается таким образом, чтобы аномальная составляющая описывалась финитной функцией, отличной от нуля лишь в пределах ограниченной области \mathbf{v}^A .

В большинстве известных методов моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах используется ограниченный набор достаточно простых моделей возбудителей поля (элементарные электрические и магнитные диполи, их композиции конечного размера и т.д.). Простейшей схемой в этом ряду является модель возбуждения поля однородной плоской волной. Данная схема является очень полезной абстракцией, приближающей реальные возбудители, бесконечно удаленные от области моделирования. В такой ситуации уравнения (1.1)-(1.4) в пределах области моделирования полагаются свободными от сторонних токов и зарядов. Декомпозиция электропроводности (1.5) порождает разложение на нормальную и аномальную части электромагнитного поля. Возбуждение модели плоской волной описывается заданием нормального поля, т.е. поля плоской волны в среде с нормальным распределением электропроводности. При распространении плоской волны в горизонтально однородной слоистой нормальной среде перпендикулярно плоскостям слоистости уравнения нормального поля становятся одномерными и могут легко быть разрешены в явном виде (Жданов, 1986).

Уравнения для аномальных полей вытекают из (1.2) и имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\Delta E^a + \text{grad } (E^a, (\text{grad } \sigma)/\sigma) - i\omega\mu\sigma E^a &= \\ &= -i\omega\mu\sigma E^n - \text{grad } (E^n, (\text{grad } \sigma^a)/\sigma),\end{aligned}\quad (1.6)$$

$$\begin{aligned}\Delta H^a - ((\text{grad } \sigma)/\sigma) \times \text{rot } H^a - i\omega\mu\sigma H^a &= \\ &= -i\omega\mu\sigma H^n - \sigma \text{grad } (\sigma^a)/\sigma \times E^n.\end{aligned}$$

Целью дальнейшего изложения в первой главе является краткий теоретический анализ различных общих методов и конкретных алгоритмов расчета электромагнитных полей в обсужденной модели. Во второй главе дается конкретная характеристика программ моделирования, анализировавшихся в проекте СОММЕМ1. Затем в третьей и четвертой главах возможности этих программ иллюстрируются на материалах сравнительных расчетов, проведенных в рамках данного проекта.

Из множества различных подходов к решению задач математического моделирования – см., например, обзоры (Варенцов, 1983; Жданов, Спичак, 1984; Hohmann, 1983; Kaikonen, 1985; Cerv, Pek, 1988; Chave, Booker, 1987 и др.), можно выделить два основных, наиболее универсальных метода интегральных и дифференциальных уравнений.

1.2. Методы интегральных уравнений

Подход, основанный на применении аппарата интегральных уравнений Фредгольма для решения задач моделирования электромагнитных полей в неоднородных геоэлектрических средах, успешно развивается с середины шестидесятых годов. Наибольшее распространение получил метод объемных интегральных уравнений, ставший одним из наиболее эффективных средств решения двумерных и трехмерных задач для сред с локальными неоднородностями достаточно сложной структуры (Дмитриев, 1969; Дмитриев и др., 1977; Дмитриев, Захаров, 1987; Weidelt, 1975; Hohmann, 1975; Hvozdara, 1981; Ting, Hohmann, 1981; Wannamaker et al., 1984a, b; Hvozdara et al., 1987;). Параллельно развивался метод поверхностных интегральных уравнений, хорошо зарекомендовавший себя в более простом классе однородных включений простой формы (Каuffman, 1974; Таборовский, 1975).

С помощью метода интегральных уравнений получены первые надежные результаты численного моделирования электромагнитных полей в задачах геоэлектрики как в двумерных (Дмитриев, 1969; Hohmann, 1971), так и трехмерных средах (Weidelt, 1975; Hohmann, 1975). В настоящее время число различных программ для ЭВМ, реализующих данный метод, составляет несколько десятков.

Рассмотрим общие теоретические положения данного подхода.

1.2.1. Объемные интегральные уравнения

Ограничимся анализом геоэлектрической модели, в которой электропроводность в (1.5) сосредоточена в локальной (в общем случае многосвязной) области V^a , а распределение нормальной электропроводности - одномерное горизонтально-слоистое.

Главное достоинство метода объемных интегральных уравнений заключается в том, что основная наиболее трудоемкая задача моделирования решается в нем лишь для аномальной области V^a . Такой результат достигается путем перехода от дифференциальной записи уравнений поля в (1.2) к интегральной с помощью объемного интегрирования данных уравнений с применением теорем Грина и введения аппарата элементарных (фундаментальных) решений (операторов Грина) (Бердичевский, Жданов, 1981; Светов, 1984; Дмитриев, Захаров, 1987).

Электромагнитное поле в модели представляется оператором (Weidelt, 1975)

$$U(r) = U^n(r) + \int_{V^a} G^U(r|r') J(r') dV, \quad (1.7)$$

где $U = E$ или H - полный вектор поля, U^n - соответствующий вектор нормального поля, $J = \sigma^a E^n$ - плотность избыточных токов, G^U - тензор Грина (электрический G^E или магнитный G^H) нормального разреза.

Векторное интегральное уравнение Фредгольма второго рода для электрического поля в области V^a следует из (1.7):

$$E(r) = E^n(r) + \int_{V^a} G^E(r|r') J(r') dV. \quad (1.8)$$

Специфика возбуждения модели проявляется лишь в нормальном поле.

Векторные компоненты G^E и G^H тензора G^U удовлетворяют следующим уравнениям электромагнитного поля:

$$\Delta G_i^E(r|r') + i\omega\mu\sigma^n(r)G_i^E(r|r') = i\omega\mu\delta(r - r')x_i,$$

$$G_i^H(r|r') = \text{rot } G_i^E(r|r')/i\omega\mu$$

и описывают электромагнитное поле в точке r , возбуждаемое токовым диполем с единичным моментом, помещенным в точке r' и ориентированным вдоль оси Ox_i .

Традиционный подход к численному решению интегрального уравнения (1.8) основан на разбиении области V^a системой ячеек призматической формы $\{V_k; k=1, 2, \dots, K\}$. Функции $E(r)$ и $\sigma^a(r)$ полагаются постоянными в пределах каждой ячейки. При этом

задача (1.8) сводится к линейной системе следующей структуры:

$$\sum_{k=1}^K \{\sigma^{ak} G_{ik}^e - \delta_{ik} I\} E_k = -E_i^n, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad (1.9)$$

где

$$G_{ik}^u = \int_{V_k} G^u(r|r') dV, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (1.10)$$

$$E_k = E(r_k), \quad E_k^n = E^n(r_k), \quad \sigma^{ak} = \sigma^a(r_k),$$

r_k - центр ячейки V_k , I - единичный тензор, δ_{ik} - симметричный символ Кронекера.

Оператор (1.7) в дискретном представлении приобретает вид

$$U_i = U_i^n + \sum_{k=1}^K G_{ik}^u \sigma^{ak} E_k, \quad (1.11)$$

где i - индекс точки наблюдения.

Дискретная задача (1.9)-(1.11) имеет практически одну и ту же структуру в большинстве алгоритмов объемных интегральных уравнений. Различия известных алгоритмов, существенно влияющие на их точность и вычислительную эффективность, обусловлены, как правило, формой представления тензора Грина и способами его интегрирования в (1.10) (Weidelt, 1975; Ting, Hohmann, 1981; Hvozdara, 1981; Das, Verma, 1981a,b, 1982; Wannamaker et al., 1984a,b; Hvozdara et al., 1987).

Основные вычислительные затраты уже для моделей средней сложности концентрируются на этапе решения линейной системы (1.9). Размерность этой комплексной системы в три раза превышает число ячеек K и составляет сотни уравнений. Она может быть уменьшена при учете симметрии задачи (Hvozdara, 1981; Hohmann, 1983).

Для решения системы (1.9) в равной степени применимы прямые и итерационные методы. В случае размерностей системы уравнений в первые сотни методы исключения выглядят предпочтительнее (Hohmann, 1983; Hvozdara et al., 1987). При решении систем с большей размерностью на ЭВМ средней мощности приходится переходить к итерационным процессам (например, блочному методу верхней релаксации (Hvozdara, Varentsov, 1988) или методу Зейделя (Hvozdara, 1981)).

При переходе к двумерной модели, неизменной вдоль оси ОУ, задача моделирования методом интегральных уравнений распадается на две независимые подзадачи, соответствующие случаям Е- и Н-поляризации поля. В первом случае из общего уравнения (1.8) вытекает скалярное уравнение для компоненты электрического

поля E_y (Дмитриев и др., 1977; Дмитриев, Мерщикова, 1979; Бердичевский, Жданов, 1981), во втором - система двух уравнений для компонент E_x и E_z . Решение дискретных задач, получаемых в двумерном случае, ведется обычно прямыми методами.

1.2.2. Поверхностные интегральные уравнения

Данный подход позволяет еще больше снизить размерность области, в которой решается основная задача моделирования, сведя ее к поверхности δv^a однородного аномального включения (или объединению поверхностей, разделяющих однородные блоки, составляющие аномальную область v^a). На этой поверхности записываются системы интегральных уравнений Фредгольма (Таборовский, 1975; Дмитриев, Захаров, 1987). Мы не будем подробно останавливаться на конкретном рассмотрении подобных систем, поскольку алгоритмы данного класса не использовались в проекте СОММЕИ. Следует подчеркнуть, что перспективность данного подхода для анализа моделей даже средней сложности с неоднородным распределением аномальной электропроводности весьма сомнительна, поскольку из-за сложной структуры поверхности δv^a число элементов дискретизации на ней становится большим даже по сравнению с методом объемных интегральных уравнений. Кроме того, в получаемые системы уравнений Фредгольма входят уравнения первого рода, порождающие существенные проблемы устойчивости вычислений (Дмитриев, Захаров, 1987).

Несколько другая ситуация имеет место для стационарного поля. Здесь для решения трехмерной задачи моделирования в слоистой среде с неоднородным включением постоянной аномальной электропроводности достаточно записать на поверхности включения одно скалярное уравнение Фредгольма второго рода. Решения стационарных задач методом поверхностных интегральных уравнений были использованы в трехмерной части проекта СОММЕИ в качестве своеобразных эталонов для низкочастотных расчетов более общими методами. Поэтому представим кратко одно из таких решений, предложенное в работах Hvordzara (1982, 1983, 1985 гг.).

Электрическое поле E в каждой однородной области среды описывается потенциалом U

$$E(r) = \text{grad } U(r).$$

Вне неоднородности потенциал представляется в виде

$$U(r) = U^N(r) + (1/4\pi) \int_{\delta v^a} f(r') \partial G(r|r')/\partial n' ds, \quad (1.12)$$

где f - плотность дипольного (двойного) слоя возбудителей,

распределенных на поверхности неоднородности и ориентированных по внешней нормали к ней, а нормальная производная функции Грина G задает внешний потенциал элементарного диполя, помещенного в точку r' .

На поверхности неоднородности записывается интегральное уравнение (Hvozdara, 1982):

$$f(r) = 2\beta[U^n(r) - q] + (\beta/2\pi) \int_{\partial V^a} f(r') [\partial G(r|r')/\partial n'] ds,$$

$$q = (1/S) \int_{\partial V^a} U^n(r) ds, \quad (1.13)$$

$$\beta = -\sigma^a / (2\sigma^n + \sigma^a),$$

где S – площадь поверхности неоднородности. В случае неоднородности, погруженной в однородное полупространство, функция Грина имеет простой аналитический вид

$$G(r|r') = (1/\|r - r'\|) + (1/\|r - r^+\|),$$

$$r' = (x, y, z), \quad r^+ = (x, y, -z).$$

При моделировании поля плоской волны нормальный потенциал выбирается пропорциональным одной из горизонтальных координат (в зависимости от требуемой поляризации), обеспечивая тем самым однородность нормального электрического поля.

Дискретизация уравнения (1.12) осуществляется по аналогии с уравнением (1.8), возникающая линейная система может быть решена как прямыми, так и итерационными методами. Важно, что количество действительных уравнений на один элемент дискретизации здесь в шесть раз меньше, чем при решении уравнения (1.8).

С помощью оператора (1.12) дискретное решение (1.13) пересчитывается в значения потенциала U на поверхности Земли. Соответствующие электрические поля определяются либо непосредственным разностным вычислением градиента потенциала, либо по формуле, аналогичной (1.12), но с оператором градиента, внесенным под знак интеграла.

Аномальные магнитные поля, отвечающие аномальному току в неоднородности $j^a = (\sigma^n + \sigma^a) E^a$, удовлетворяют уравнениям

$$\text{rot } H^a = -\sigma \text{ grad } U^a,$$

$$\text{div } H^a = 0$$

и представимы также с помощью интегральных операторов по поверхности неоднородности (Hvozdara, 1983).

1.3. Методы дифференциальных уравнений

Методы моделирования электромагнитных полей, основанные на применении аппарата дифференциальных уравнений для решения краевых задач, вытекающих из уравнений Максвелла, интенсивно развиваются последние 15 лет. Сегодня эти методы обеспечивают решение наиболее значительной части двумерных задач геоэлектрики, а также ряда важных задач более высокой размерности (квазитрехмерных и трехмерных).

Для численного решения дифференциальных уравнений чаще всего используются методы конечных разностей или конечных элементов. Весьма трудно строго разделить эти два подхода, особенно если сопоставлять их существующие реализации в задачах моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах. Действительно, при использовании сеток (элементов) прямоугольной структуры различия в получаемых дискретных системах уравнений не столь существенны. Кроме того, развивается целый ряд смешанных подходов, например, вариационно-разностные схемы (Ваньян и др., 1984). Обсудим поэтому сначала общие вопросы постановки задач моделирования как краевых задач, важные и для метода конечных разностей, и для метода конечных элементов. Далее в п. 1.3.2 рассмотрим основы разностного подхода и наконец в п. 1.3.3 кратко остановимся на специфике метода конечных элементов.

1.3.1. Представление задач моделирования как краевых задач

При использовании методов конечных разностей или конечных элементов прежде всего требуется записать полную и непротиворечивую систему уравнений электромагнитного поля в ограниченной области моделирования V , охватывающей область с аномальной электропроводностью V^a . Внутри области моделирования задается обычно уравнение в частных производных второго порядка относительно электрического или магнитного поля U (полного или аномального)

$$L[U(r)] = R(r), \quad r \in V. \quad (1.14)$$

Уравнение (1.14) дополняется краевым условием, т.е. дополнительным уравнением для поля U на границе ∂V области V :

$$L_b[U(r)] = R_b(r), \quad r \in \partial V. \quad (1.15)$$

Система уравнений (1.14), (1.15) составляет краевую задачу.

В трехмерном случае обычно формулируется векторная краевая задача для электрического поля и в качестве уравнения (1.14)

выбирается первое уравнение в (1.2а) или (1.6). Магнитное поле затем находится из второго уравнения (1.1).

В двумерном случае, когда распределение электропроводности в модели не меняется вдоль оси ОУ, задача моделирования распадается на две независимые скалярные краевые задачи, отвечающие двум поляризациям поля: электрической (ЕР) и магнитной (НР). В этом случае уравнение (1.14) записывается в следующем общем виде:

$$L[U(r)] = \operatorname{div} (p \operatorname{grad} U) + qU = R(r), \quad r \in V \quad (1.15a)$$

и в соответствии с (1.1)

$$v_x = -\partial U / \partial z, \quad v_z = \partial U / \partial x. \quad (1.16)$$

В случае Е-поляризации:

$$U = E_y, \quad v_x = i\omega\mu H_x, \quad v_z = i\omega\mu H_z,$$

$$p=1, \quad q = i\omega\mu;$$

в случае Н-поляризации:

$$U = H_y, \quad v_x = \sigma E_x, \quad v_z = \sigma E_z,$$

$$p = 1/\sigma, \quad q = i\omega\mu.$$

В задаче для полного поля ($U=U^t$) правая часть в (1.15а) тождественно равна нулю. В задаче для аномального поля ($U=U^a=U^t-U^n$) правая часть R имеет вид

$$R = \begin{cases} \sigma^a E_y^n, & \text{ЕР}, \\ \operatorname{div} ((\sigma^a/\sigma) \operatorname{grad} H_y^n), & \text{НР}. \end{cases}$$

Классические постановки краевых задач электродинамики основаны на использовании краевых условий Дирихле первого-третьего родов, задаваемых в общем случае с помощью линейной комбинации решения и его производной по нормали к границе (Тихонов, Самарский, 1972).

Простейшее краевое условие Дирихле первого рода требует явного задания граничных значений решения. Чаще всего границу области моделирования относят столь далеко от аномалии электропроводности, что величиной аномального поля на ней можно пренебречь. Тогда в качестве граничных значений можно выбрать

значения соответствующего нормального поля (одномерного или, например, двумерного, в случае двумерного нормального распределения электропроводности). Такой подход реализуется в большинстве алгоритмов, в том числе и среди участников проекта СОММЕМІ (п. 2.3.2, 2.3.3) и в общем случае при конечных размерах области моделирования является весьма приближенным (погрешность краевых условий имеет порядок $O(1/\|r\|)$). Заметим, что в некоторых случаях подобные условия являются все же точными, например на поверхности идеального проводника в двумерном случае Е-поляризации или на поверхности идеального изолятора (в частности, поверхности Земли) в случае Н-поляризации.

Другая возможность в данной ситуации заключается в использовании условий второго рода, требующих равенства нулю нормальной производной решения. Это условие является естественным и потому широко распространенным в алгоритмах метода конечных элементов. В ряде подходов оба указанных условия сочетаются на разных отрезках границы (Варданянц, 1978, 1979, 1983). Следует, однако, отметить, что при использовании всех рассмотренных краевых условий размеры области моделирования многократно превышают размеры неоднородной области V^a , что приводит к неоправданно высокой размерности решаемых дискретных задач. Попытки же уменьшить размерность за счет выбора более грубой дискретизации среды вблизи границ порождают значительные трудности на этапе аппроксимации краевых задач.

Представляется весьма целесообразным уменьшить размеры области моделирования путем учета в операторе краевых условий L_b пространственной структуры аномального электромагнитного поля. Наиболее очевидным на первый взгляд здесь является путь использования различных интегральных представлений (Weidelt, 1975). Например, можно воспользоваться оператором (1.9), связывающим электрическое поле на границе и внутри области моделирования (Lee et al., 1981; Petrick et al., 1981). Однако в этом случае структура результирующей дискретной системы уравнений резко усложняется, что выводит алгоритмы с подобными краевыми условиями в особый класс гибридных схем (п. 1.4).

Другой подход к постановке краевых условий на относительно небольшом удалении от неоднородностей среды, не приводящий к существенному усложнению задачи, основан на учете асимптотики аномального электромагнитного поля вдали от геоэлектрических неоднородностей (Бердичевский, Жданов, 1981). Первый шаг в данном направлении в двумерном случае Е-поляризации был сделан в работе (Weaver, Brewitt-Taylor, 1978), где были получены асимптотические краевые условия в непроводящем полупространстве в виде дифференциального уравнения первого порядка с косой производной. В последовавшей статье (Варенцов, Голубев, 1980) этот результат был перенесен на трехмерный случай и записан в следующем виде:

$$L_b^{a_0}[U - U^n] = 0, \quad L_b^{a_0} = (1 + (r, \text{grad})), \quad \|r\| >> 1. \quad (1.17)$$

Погрешность условий (1.17) имеет порядок $O(1/\|r\|^2)$. В работах (Жданов и др., 1982, Berdichevsky, Zhdanov, 1984) построены двумерные и трехмерные асимптотические краевые условия более высоких порядков для непроводящего полупространства.

Аналог условий (1.17) для проводящего полупространства в двумерном случае получен в работе (Варенцов, Голубев, 1985):

$$L_b^{a_0}[U - U^n] = 0, \quad L_b^{a_0} = (k + (0.5\|r\| + \text{grad})), \quad (1.18)$$

$$\|kr\| >> 1, \quad k^2 = -i\omega\sigma, \quad \text{Re } k > 0,$$

а соответствующий трехмерный аналог - в работе (Спичак, 1985):

$$L_b^{a_0}[U - U^n] = 0, \quad L_b^{a_0} = (k + \text{grad}). \quad (1.19)$$

Наконец, в работе (Варенцов, Голубев, 1985) предложено задавать условия вида (1.18), (1.19) на поверхности слоистого проводящего основания модели, используя в них соответствующие значения эффективной (каждущейся) электропроводности.

Совокупность рассмотренных асимптотических краевых условий в верхнем и нижнем полупространствах в сочетании с уравнениями одномерного нормального поля на отрезках боковых границ позволяет существенно уменьшить размер области моделирования. В той или иной степени такой подход реализован в целом ряде алгоритмов, использовавшихся в проекте СОММЕМ (п. 2.3.3).

Достоинство асимптотических краевых условий первого порядка заключается еще и в том, что они структурно близки классическим краевым условиям Дирихле третьего рода (отличие заключается в использовании косой, а не нормальной к границе производной решения) и поэтому практически не приводят к усложнению проблемы дискретной аппроксимации решаемой краевой задачи.

1.3.2. Конечно-разностная аппроксимация краевых задач

Конечно-разностная аппроксимация трехмерной краевой задачи моделирования строится в подавляющем большинстве алгоритмов на прямоугольной неравномерной сетке $\Gamma = \{(x_i, y_j, z_k), i = 1, 2, \dots, N_x; j = 1, 2, \dots, N_y; k = 1, 2, \dots, N_z\}$. Требуется на основе уравнений краевой задачи (1.14), (1.15) установить линейную связь между значениями функции U_{ij} в узлах сетки Γ . Для этого используются различные подходы. Простейший основан на непосредственной замене дифференциальных операторов краевой задачи соответствующими разностными аналогами. Данный подход

получил в геоэлектрике широкое распространение в первых разностных алгоритмах (Jones, Pascoe, 1971; Pascoe, Jones, 1972; Юдин, Казанцева, 1977 и др.). Следует отметить, что в этом случае не всегда получались качественные разностные схемы и лишь к середине семидесятых годов была выявлена природа возникающих здесь ошибок аппроксимации, связанных с неудачным осреднением дискретных значений электропроводности (Jones, Thompson, 1974; Brewitt-Taylor, Weaver, 1976; Cerv, Praus, 1978). Более удобным средством аппроксимации, признанным в большинстве приложений разностного метода, оказался метод баланса (Самарский, 1984). В рамках данного подхода мы переходим от локальной аппроксимации уравнений краевой задачи в узлах сетки к построению сеточных квадратур для интегральных тождеств, вытекающих из этой задачи. Например, можно воспользоваться интегральным соотношением, получаемым в результате интегрирования уравнений (1.14), (1.15) по элементарной ячейке S_{ijk}^+ вспомогательной сетки Γ^+ , составленной из центральных точек ячеек сетки Σ (Бердичевский, Жданов, 1981; Жданов и др., 1982). В двумерном случае данное тождество приобретает вид (Варенцов, Голубев, 1980а)

$$\int_{\partial S_{ik}^+} p(\partial U / \partial n) d\Gamma + \int_{S_{ik}^+} q U dS = \int_{S_{ik}^+} R dS. \quad (1.20)$$

Используя в квадратурах для (1.20) дискретные значения U, R на пятиточечном шаблоне сетки Σ и значения p, q в узлах сетки Γ^+ , приходим, как и при первом подходе, к системе пятиточечных разностных уравнений (Варенцов, Голубев, 1980а; Жданов и др., 1982; Варенцов, Голубев, 1985), аппроксимирующей двумерную задачу с вторым порядком точности. Соответственно в трехмерном случае простейшее применение метода баланса порождает семиточечные разностные схемы (Жданов и др., 1982; Спичак, 1983).

Использование для разностной аппроксимации вариационных интегральных тождеств, рассмотренных далее в п. 1.3.7, порождает так называемые вариационно-разностные схемы (Ваньян и др., 1984).

Отметим, что при корректном использовании всех трех рассмотренных подходов коэффициенты получаемых разностных схем однотипной структуры совпадают либо различаются величинами второго порядка. Например, совпадают во внутренних узлах коэффициенты пятиточечных разностных уравнений в двумерной задаче для случая Е-поляризации (Brewitt-Taylor, Weaver, 1976; Cerv, Praus, 1978; Варенцов, Голубев, 1980а; Юдин, 1981, 1983).

1.3.3. Численные методы решения разностных систем

Получаемая система имеет матричную запись

$$AU = R,$$

(1.21)

в которой матрица A является комплексной, разреженной, ленточной, с закономерной диагональной структурой ленты. В двумерном случае матрица имеет доминирующие симметричную и эрмитову части и характеризуется диагональным преобладанием. В трехмерном случае последнее свойство может нарушаться (Спичак, 1983). Размерность системы (1.21) меняется в двумерных задачах от первых сотен в простейших приложениях до многих тысяч в моделях сложных региональных структур. В трехмерных задачах уже в простейшем случае размерность составляет многие тысячи уравнений. Кроме того, здесь больше относительная ширина ленты матрицы.

Проблемы решения систем данного вида в задачах геоэлектрики обсуждаются в специальных работах (Варенцов, Голубев, 1982; Cerv, Segeth, 1982). В двумерном случае они изучены достаточно подробно. Прямые методы представляются здесь более точными, эффективными и технологичными. Примером могут служить алгоритм симметричного разложения Гаусса (Cerv, Segeth, 1982), алгоритм блочной прогонки (Самарский, Николаев, 1977; Варенцов, Голубев, 1982), специализированный блочный алгоритм несимметричного разложения Гаусса без выбора ведущего элемента (Варенцов, Голубев, 1982). Последний алгоритм позволяет решать систему (1.21) за число комплексных операций сложения-умножения:

$$N \cdot N_{ma}^3 \cdot N_{mi} = \max(N_x, N_z), \quad N_{mi} = \min(N_x, N_z).$$

Наиболее широкое применение среди итерационных методов в разностных задачах данного класса имеет метод верхней релаксации, однако в большинстве двумерных задач он уступает прямым методам (Варенцов, Голубев, 1982; Cerv, Segeth, 1982). Большие трудности итерационных методов в двумерных задачах большой размерности ярко показаны еще в работе (Muller, Losecke, 1975). Основная проблема связана со сложностью задания эффективных критериев окончания итераций на фоне их медленной сходимости в сложных геоэлектрических условиях (Berdichevsky, Zhdanov, 1984). Для улучшения сходимости метода верхней релаксации в работах (Юдин, 1981б, 1983) в качестве средства понижения размерности разностной системы предложена определенная декомпозиция области моделирования с использованием альтернирующего метода Шварца. Более общий подход к оптимизации итерационных методов путем решения краевой задачи на сгущающейся последовательности сеток продемонстрирован в рамках метода переменных направлений в работе (Варданянц, 1978).

Определенные перспективы в настоящее время связываются с комбинированными схемами, сочетающими достоинства прямых и итерационных методов. Примером такого подхода в двумерном случае может служить быстрая приближенная (неполная) пятидиагональная факторизация матрицы системы (1.21) (Meijerink, Van der Vorst, 1981):

$$A \approx L^+ U^+$$

с последующим решением эквивалентной системы с матрицей $(L^+)^{-1} A (U^+)^{-1}$ с помощью трехслойных итерационных методов (сопряженных направлений, трехслойного чебышевского и др.) (Варенцов, 1985; Smith, Booker, 1988).

В трехмерных задачах прямые методы оказываются слишком громоздкими для современных массовых ЭВМ, хотя, видимо, уже подходит время для их реализации на высокопроизводительных системах разряда суперЭВМ. Недостатки же традиционных реализаций итерационных методов здесь (Юдин, 1983; Спичак, 1983 и др.) еще более усугубляются и надежность таких итерационных решений представляется низкой. Большие надежды в данном случае можно связывать с многосеточными методами.

1.3.4. Трансформации разностного решения

Как уже отмечалось выше, достаточно решить краевую задачу для одной скалярной компоненты электромагнитного поля (в каждой из поляризаций двумерного случая) или одной векторной компоненты (в трехмерном случае), остальные компоненты могут быть вычислены с помощью простых дифференциальных соотношений вида (1.16), вытекающих из исходной системы уравнений Максвелла (1.1). Здесь возникают две проблемы: точности и устойчивости получаемых дискретных уравнений. На грубых сетках непосредственная разностная аппроксимация указанных дифференциальных формул порождает большие ошибки. В двумерном случае разумное сгущение сетки позволяет значительно уменьшить эти ошибки, кроме того, предложены способы повышения точности численного дифференцирования (Weaver et al., 1985, 1986). Поэтому эти проблемы не являются столь существенными.

В трехмерном случае приходится все еще решать задачу на весьма грубых сетках и надежному дифференцированию разностного решения необходимо уделять большое внимание. Радикальный выход здесь заключается в применении интегрального оператора (1.8) для пересчета избыточных токов, рассчитанных по разностному решению в аномальной области V^a , в необходимые компоненты решения, однако в этом случае мы уходим от чисто разностной задачи и попадаем в класс гибридных схем (п. 1.4). Представляет интерес интегральная оценка вертикальной магнитной компоненты:

$$(H_z)_{ijk} = (1/V) \int_{S_{ijk}^+} H_z dV = (i\omega\mu V)^{-1} \int_{\partial S_{ijk}^+} [dS \times E], \quad (1.22)$$

в которой V - объем ячейки V_{ijk} , с последующим нахождением горизонтальных компонент магнитного поля с помощью преобразования Гильbertа (Жданов, 1984).

Наконец, как в двумерном, так и в трехмерном случае представляется удобным построение локальной аналитической аппроксимации разностного решения, допускающей явное вычисление необходимых производных. В двумерном случае успешно применяется аппроксимация решения полем плоской волны (Jones, Pascoe, 1971; Варенцов, Голубев, 1985). Такой подход, возможно, с использованием поля наклонно падающей плоской волны заслуживает внимания и в трехмерном случае.

1.3.5. Контроль точности моделирования

Важнейшей проблемой является контроль точности численного моделирования. Погрешности образуются при постановке краевых задач, их дискретной аппроксимации, в ходе решения систем линейных алгебраических уравнений и, наконец, на этапе трансформации разностного решения.

При использовании асимптотических краевых условий и прямых методов решения линейных систем доминирующими являются погрешности, связанные с дискретной аппроксимацией уравнений поля. Естественный способ их контроля - анализ разностного решения на сгущающейся последовательности сеток. В двумерном случае Е-поляризации имеется также два полезных интегральных критерия точности: преобразование Гильберта, связывающее магнитные поля на поверхности Земли, и интегральное уравнение (1.9) в области неоднородности. Невязка выполнения данных интегральных соотношений для разностного решения характеризует погрешность моделирования (Жданов и др., 1982).

Наконец, важным средством исследования и контроля точности является сравнение различных методов и программ моделирования на серии тестовых моделей. Такая работа и составляет сущность описываемого в данной монографии Международного проекта по сравнению методов численного моделирования в задачах электромагнитной индукции (СОММЕМІ).

1.3.6. Метод конечных элементов

Метод конечных элементов является одним из основных методов численного решения краевых задач. Он был предложен еще в 1943 году (Courant, 1943), а свое нынешнее название получил после публикации (Turner et al., 1956). Широкую известность метод приобрел благодаря работам (Zienkiewicz, Cheung, 1967; Зенкевич,

1975). Пионерские работы по приложению метода в задачах геоэлектрики появились значительно позже (Coggon, 1971; Silvester, Haslam, 1972; Reddy, Rankin, 1973). В настоящее время существует ряд различных программ моделирования электромагнитных аномалий методом конечных элементов как в двумерно, так и в трехмерно неоднородных средах (Kizak, Silvester, 1975; Kaikkonen, 1977; Pridmore et al., 1981). Наиболее полно теория метода в приложении к задачам электродинамики изложена в монографии (Сильвестер, Феррари, 1986).

Основным принципом метода конечных элементов является разбиение области, в которой решается краевая задача, на ряд относительно небольших подобластей (конечных элементов) и аппроксимация неизвестной функции на каждом элементе комбинацией некоторых базовых функций.

Рассмотрим простейший случай применения метода для решения двумерной краевой задачи геоэлектрики при помощи аппроксимации области моделирования треугольными элементами первого порядка. Модель возбуждается Е-поляризованной плоской волной. В центре модели находится локальная неоднородность V^a . Электрическое поле E_y в данной модели удовлетворяет двумерному скалярному уравнению Гельмгольца (1.14). На верхней и нижней границах области моделирования V , достаточно удаленных от локальной неоднородности, заданы краевые условия Дирихле первого рода: $E_y = E_y^n$. На удаленных боковых границах задаются однородные краевые условия Неймана: $\partial E_y / \partial n = 0$.

Разобьем область решения на треугольные элементы и рассмотрим один из них с координатами вершин (r_1, r_2, r_3). Положим, что внутри треугольника поле аппроксимируется выражением

$$E_y = a + bx + cz. \quad (1.23)$$

Истинное решение, таким образом, заменяется кусочно-планарной аппроксимацией, непрерывной на сторонах треугольных элементов. Выражение (1.23) для элементарного треугольника можно переписать в виде

$$E_y = \sum_{i=1}^3 E_y^i \alpha_i(x, z), \quad (1.24)$$

где E_y^i - значения поля в вершинах треугольника, а $\alpha_i(x, z)$ - линейные функции, зависящие только от положения вершин треугольника. При такой аппроксимации решение краевой задачи сводится к определению значений поля E_y^i в узлах треугольных элементов, покрывающих область решения задач. Данная трансформированная задача обычно решается вариационными методами или методами взвешенных невязок.

Остановимся сначала на первой группе методов. Из теории вариационных методов известно, что граничной задаче для дифференциального уравнения ставится в соответствие стационарный функционал от неизвестной функции. Функция, при которой функционал принимает минимальное значение, удовлетворяющая при этом краевым условиям, является решением краевой задачи. Для двумерной задачи моделирования, поставленной ранее, соответствующий функционал имеет вид

$$F(E_y) = 0,5 \int_V [(\operatorname{div} E_y)^2 - k^2 E_y^2] dv. \quad (1.25)$$

Решив дискретную задачу о минимуме функционала (1.25), в котором E_y аппроксимируется согласно (1.24), определяем значения E_y в узловых точках, т.е. получаем приближенное решение краевой задачи. Функционал (1.17) можно представить как

$$F(E_y) = \sum_1^1 F^{(1)}(E_y) = (1/2) \sum_1^1 \int_V [(\operatorname{div} E_y)^2 - k^2 E_y^2] dv. \quad (1.26)$$

Составляющие функционала для элементарного треугольника V_1 принимают вид

$$F^{(1)}(E_y) = 0,5 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 E_y^i E_y^j \int_V [(\operatorname{div} \alpha_i)(\operatorname{div} \alpha_j) - k^2 \alpha_i \alpha_j] dv. \quad (1.27)$$

Введем определение матричных элементов:

$$S_{ij}^{(1)} = \int_V [(\operatorname{div} \alpha_i)(\operatorname{div} \alpha_j) - k^2 \alpha_i \alpha_j] dv. \quad (1.28)$$

Таким образом, выражение (1.27) можно записать в матричной форме:

$$F^{(1)}(E_y) = 0,5 E_y^T S^{(1)} E_y, \quad (1.29)$$

где $S^{(1)}$ – матрица (3×3), определенная в (1.28), а индекс Т означает транспонирование. Элементы матрицы $S^{(1)}$ легко вычисляются, и выражение (1.29) позволяет получить приближенное значение стационарного функционала для одного элемента. Конкретный вид матриц $S^{(1)}$ для случаев соприкасающихся и несоприкасающихся элементов приведен в работе (Сильвестер, Феррачи, 1986). В итоге функционал F будет выражен через значения во всех узловых точках. Задача минимизации данного квадратичного функционала сводится к решению линейной системы

$$\frac{\partial F}{\partial E^i} = 0, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (1.30)$$

где N - общее число узлов в области. Функционал (1.17) является положительно определенным, и система (1.30) имела бы тривиальное решение $E_y^i = 0$, если бы не учитывались граничные условия Дирихле на верхней и нижней границах. В соответствии с этими условиями значения E_y^i в узлах, принадлежащих этим границам, считаются известными и соответствующие уравнения исключаются из (1.30). Таким образом размерность получаемой системы линейных уравнений (1.30) равна общему количеству узлов N области V , за вычетом узлов, принадлежащих горизонтальным границам. Следует заметить, что однородные условия Неймана на боковых границах являются естественными для этой задачи и выполняются автоматически.

Система уравнений (1.30) имеет матрицу с ленточной структурой и решается известными прямыми или итерационными методами. В результате ее решения получаем значения E_y^i во всех узлах и соответственно кусочно-планарное приближение E_y во всей области.

Кусочно-планарная аппроксимация часто бывает довольно грубой для получения хорошего приближения неизвестной функции, и приходится сильно уменьшать размеры элементов. Кроме того, она порождает разрывность пространственных производных решения, что не отвечает природе электромагнитного поля. Очевидным способом улучшения аппроксимации является выбор треугольных элементов более высокого порядка. Это означает, что добавляются дополнительные узлы на треугольных элементах и функция E_y аппроксимируется на элементе комбинацией базовых полиномов с тем условием, что решение вместе с его производными непрерывно на границах элемента. Порядок полиномов определяется количеством дополнительных узлов. Такая аппроксимация позволяет получить более точное решение и уменьшить число элементов в области. Сейчас существуют программы моделирования электромагнитных аномалий, где порядок треугольных элементов доходит до 6.

В трехмерных моделях область решения обычно разбивается на тетраэдрические элементы или прямоугольные призмы. Аппроксимация неизвестных компонент векторного поля ведется трехмерными базисными функциями. В вариационной постановке задачи обычно применяют функционал, минимизирующий энергию поля (Coggon, 1971):

$$F = 0,5 \int [k^2 E^2 - (\text{rot } E)^2] dv, \quad (1.31)$$

где E - искомое векторное поле. Задача, как и в двумерном случае, сводится к решению системы линейных уравнений. Отличие состоит в том, что система имеет гораздо большую размер-

ность, так что, в частности, применение прямых методов решения на современных ЭВМ практически невозможно.

Необходимо сказать несколько слов о втором способе решения краевой задачи, применяемом в рамках метода конечных элементов – методе взвешенных невязок. Обычно к нему прибегают в том случае, когда построение стационарного функционала для задачи затруднено или нецелесообразно.

Рассмотрим, например, уравнение для H_y в двумерном случае Н-поляризации

$$L[H_y] = R. \quad (1.32)$$

Определим невязку $T = H_y - R$, где H_y – приближенное решение, построенное на конечных элементах. Краевая задача (1.32) заменяется следующим уравнением:

$$\int_V WT dV = 0, \quad (1.33)$$

где W – весовая функция. Граничные условия остаются аналогичными рассмотренному выше случаю Е-поляризации.

Наибольшую известность приобрела одна из модификаций метода взвешенных невязок, известная под названием метода Галеркина, где в качестве весовых функций берутся сами базисные функции. Как показано многими авторами, в этом случае результирующая система линейных уравнений аналогична системе, получающейся в результате вариационного подхода. Таким образом, оба метода дают одинаковое приближение неизвестной функции.

В заключение попытаемся оценить преимущества и недостатки метода конечных элементов по сравнению с другими методами и прежде всего методом конечных разностей. Несомненным преимуществом данного метода по сравнению с конечно-разностным является возможность более естественной аппроксимации сложных границ неоднородности. Второе преимущество – аппроксимация неизвестной функции строится во всей области решения, а не только в дискретной сети узлов, что имеет место в конечно-разностных методах. Это позволяет не прибегать к дальнейшей аппроксимации поля для действий над ним после получения решения. К недостаткам метода можно отнести зачастую сложность выбора хорошего разбиения области на треугольные элементы. Формализация этого процесса ведет к применению сложных и времязатратных процедур, не всегда обеспечивающих требуемое качество триангуляции. Ручная триангуляция также имеет недостатки, прежде всего большой объем рутинной работы. Плохой выбор сети конечных элементов зачастую ведет к значительным искажениям поля, например несимметричность поля в симметричных моделях и т.д. Так же как и в конечно-разностных методах,

плохое влияние на точность решения оказывают неизометричные сильно вытянутые в одном направлении элементы. В трехмерных задачах, где поля имеют сильные градиенты, тетраэдрические элементы зачастую не удовлетворяют требованиям к аппроксимации, и многие исследователи вынуждены пользоваться разбиением на прямоугольные призмы, что сводит к нулю первое преимущество метода. В ряде случаев и в двумерных методах приходят к прямоугольным элементам. Большие размеры матриц в трехмерной задаче часто делают практически невозможными прямые методы решения и вынуждают исследователей пользоваться итерационными методами, что тоже ведет к потерю точности. Особое сомнение вызывает применение большинством исследователей естественных граничных условий Неймана на боковых границах области. Это по всей вероятности объясняется не столь давним проникновением метода в геоэлектрику из механики, где объекты исследования сильно ограничены по размерам. В обычных задачах геоэлектрического моделирования такие условия могут применяться только на очень значительных расстояниях от неоднородности. Это приводит к вытянутости элементов и ухудшению аппроксимации. В противном случае граничные условия выполняются с большими погрешностями, что также ухудшает точность решения.

Из всего изложенного следует, что метод конечных элементов может стать одним из основных орудий в решении задач электромагнитного моделирования в геоэлектрике при условии применения более точных граничных условий и создания эффективного алгоритма разбиения области на элементы.

1.4. Гибридные схемы моделирования

Рассмотрим алгоритмы моделирования, сочетающие элементы методов интегральных и дифференциальных уравнений. Как уже отмечалось, естественный путь построения гибридных схем заключается в выборе интегральных краевых условий, порождаемых оператором (1.8), при постановке краевых задач моделирования. Эта идея развивалась рядом авторов (Patrick et al., 1981; Lee et al., 1981; Best et al., 1985). Первые численные результаты были представлены в работе (Lee et al., 1981).

В рамках данного подхода образуются системы дискретных линейных уравнений специфического вида. Для электрического поля имеем:

$$\begin{vmatrix} A_{ii} & A_{ib} \\ A_{bi} & A_{bb} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ E_b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_i \\ R_b \end{vmatrix}, \quad (1.34)$$

где индексы i, b соответствуют уравнениям во внутренних и

границых узлах. Квадратные матрицы A_{ii}, A_{bb} – соответственно ленточная и единичная. Прямоугольные матрицы A_{ib}, A_{bi} – соответственно разреженная и заполненная.

Разрешая систему (1.34) относительно внутреннего поля (Lee et al., 1981), получаем:

$$(A_{ii} - A_{ib}A_{bi})E_i = R_i - A_{ib}R_b.$$

В упомянутой работе предложен специальный метод решения данной системы, основанный на обращении ленточной матрицы A_{ii} и последующем итерировании. В отличие от стандартного трехмерного разностного подхода количество внутренних уравнений значительно ниже и определяется дискретизацией области неоднородности. В этом алгоритме, однако, отмечаются трудности со сходимостью итераций, несмотря на использования специальных процедур ускорения сходимости (Lee et al., 1981).

Другой подход основан на разрешении системы (1.34) относительно граничных значений поля (Best et al., 1985):

$$(I - A_{bi}A_i^{-1}A_{ib})E_b = R_b - A_{bi}A_i^{-1}R_i.$$

Размерность полученной заполненной системы определяется числом граничных уравнений, и здесь мы имеем некоторую аналогию с методом поверхностных интегральных уравнений. Поэтому требует исследования вопрос устойчивости решения данной системы. Для ее решения применимы прямые методы при числе уравнений примерно до 1000. Решив систему, с помощью первого уравнения в (1.34) можно восстановить решение во внутренних узлах.

Еще одним примером гибридной схемы является алгоритм (Юдин, 1983), в котором на фоне итерационного решения трехмерной разностной задачи производится уточнение граничных значений в условиях Дирихле первого рода с помощью явных формул аналитического продолжения. При этом удается значительно приблизить границу области моделирования к неоднородностям. Остаются проблемы с обоснованием сходимости такой процедуры, однако вычислительные эксперименты с аналогичными двумерными схемами, представленными в проекте СОММЕМ1, выглядят достаточно обнадеживающими.

1.5. Аналитические и квазианалитические решения

Первые математические модели неоднородной геоэлектрической среды были рассчитаны на основании аналитических решений, полученных в начале шестидесятых годов, когда в геоэлектрике еще не существовало строгих методов численного решения прямой задачи на ЭВМ. Аналитические модели позволили начать изучение

Свойства электромагнитных полей в неоднородных средах. Они не потеряли своего значения в настоящее время как эталоны при тестировании более сложных и универсальных методов моделирования. К сожалению, оказалось, что подобные решения можно получить только для очень ограниченного класса простейших двумерных моделей - см. каталог в работе (Porstendorfer, 1976), а именно двумерной, однородной вдоль горизонтальной оси ОУ и состоящей из плоского пласта, лежащего на абсолютно проводящем или абсолютно непроводящем полупространстве. Пласт может быть разделен несколькими вертикальными границами на блоки с различными постоянными электропроводностями. Модель возбуждается Н-поляризованной плоской вертикально падающей волной. Решение для простейшего случая одной вертикальной границы раздела было разработано в работе (d'Erceville, Kunetz, 1962) и затем распространено (Rankin, 1962) на случай однородной вставки в однородном пласте. Более общие формулы для пластиа, состоящего из трех блоков с различной электропроводностью, получены (Wait, Spies, 1974). Упомянутыми решениями пользовались в дальнейшем многие исследователи, в частности, на их основе была рассчитана по аналитическим формулам и предложена в качестве тестовой для проекта COMMEMI модель 2D-O (Weaver et al., 1985, 1986).

Рассмотрим кратко основные этапы построения аналитического решения. Пусть на идеально проводящем нижнем полупространстве лежит горизонтальный пласт, в который входят слева направо три блока с различной постоянной проводимостью ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$). Блоки разделены плоскостями $x = -a$, $x = a$, мощность пластиа d . В рассматриваемом случае Н-поляризации в каждом блоке слоя справедливы двумерные уравнения Гельмгольца для магнитного поля H_y :

$$\Delta H_y^j = k_j^2 H_y^j, \quad j = 1, 2, 3, \quad (1.35)$$

где $k_j^2 = i\omega\mu_0\sigma_j$ - квадрат волнового числа, а H_y^j - магнитное поле в j -м блоке пластиа. Магнитное поле удовлетворяет следующим граничным условиям:

- 1) $H_y^j = \text{const} = H_0$ при $z = 0$;
- 2) $\partial H_y^j / \partial z = 0$ при $z = d$;
- 3) $H_y^1 = H_y^2$ при $x = -a$ и $H_y^2 = H_y^3$ при $x = a$;
- 4) $\sigma_2 \partial H_y^1 / \partial x = \sigma_1 \partial H_y^2 / \partial x, \quad \sigma_2 \partial H_y^3 / \partial x = \sigma_3 \partial H_y^2 / \partial x$ при $x = -a$ и $x = a$

соответственно.

Первое условие объясняется отсутствием вертикальной составляющей тока на поверхности Земли, остальные - непрерывностью тангенциальных компонент электрического и магнитного полей на поверхностях раздела.

Решение задачи ищем в виде

$$H_y^j(x, z) = H_y^{(n)j}(z) + f_j(x, z)$$

при условии нормировки $H_y^{(n)j}(0) = 1$, где $H_y^{(n)j}$ - одномерное решение (нормальное поле) для j -го блока пласта:

$$H_y^{(n)j} = ch[(d - z)k_j]/ch(dk_j).$$

Функция $f_j(r)$ является решением (1.35) и удовлетворяет условиям: $f_j=0$ при $z=0$ и $\partial f_j/\partial z=0$ при $z=d$. Функция может быть найдена методом разделения переменных. Зависящая от z часть функции выражается через ряды Фурье, а зависящая от x - через экспоненты. В общем виде решение для трех блоков выглядит следующим образом:

$$f_1(x, z) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m \exp(x\eta_1^m) \sin(l_m z),$$

$$f_2(x, z) = \sum_{m=0}^{\infty} [Q_m \exp(x\eta_2^m) + R_m \exp(-x\eta_2^m)] \sin(l_m z), \quad (1.36)$$

$$f_3(x, z) = \sum_{m=0}^{\infty} S_m \exp(-x\eta_3^m) \sin(l_m z),$$

где $l_m = (2m + 1)\pi/2d$, $\eta_j^m = (l_m^2 + k_j^2)^{1/2}$. Коэффициенты P_m , Q_m , R_m , S_m определяются при сравнении рядов Фурье на границах $x=a$ и $x=-a$ с использованием граничных условий 3 и 4 и даны в работе (Weaver et al., 1985). Для того чтобы получить решение для случая абсолютно непроводящего основания модели необходимо заменить граничное условие 2 на следующее: $H_y^j = 0$ при $z=d$. Решения остается таким же, а конечные формулы отличаются тем, что d меняется на $d/2$ и суммирование в рядах Фурье ведет только по четным членам.

Таким образом, решение в обоих случаях имеет следующий вид

$$H_y^j(x, z) = H_y^{nj}(z) + \sum_{m=0}^{\infty} B_m^j(x) \sin(l_m z). \quad (1.37)$$

Выражения для остальных компонент поля E_x и E_z получаются из уравнений (1.35) при дифференцировании H_y^j . Хотя слева и стоит сумма с бесконечными пределами, приближенное вычисление форм

лы (1.37) легко реализуется на ЭВМ, причем существует возможность достижения требуемой точности при малых затратах машинного времени. Эти свойства решения сделали аналитическую модель весьма привлекательной для тестирования программ численного решения прямой задачи в геоэлектрике.

Попытки получить аналитическое решение для описываемой модели в случае Е-поляризации не приводят к успеху, так как в этом случае отсутствует простое граничное условие на поверхности Земли. Однако в данной модели удается свести к минимуму численные расчеты путем ряда аналитических преобразований исходной задачи, в результате которых она сводится к решению достаточно простых одномерных интегральных уравнений. Вследствие этого подобные решения получили название "квазианалитические". Первые результаты для пласта разделенного одной вертикальной границей получены в работе (Weidelt, 1966). В дальнейшем метод был развит в трудах (Klugel, 1977; Rodemann, 1978; Mann, 1970). В работе (Weaver et al., 1986) при помощи сложных математических преобразований сильно упрощена задача численного решения интегральных уравнений и получено общее решение для пласта, состоящего из трех блоков.

Приведем схему решения задачи для рассматриваемой в этом разделе модели в случае Е-поляризации методом последовательных приближений (Weidelt, 1966). В каждом блоке модели справедливо двумерное уравнение Гельмгольца, но теперь для E_y компоненты электрического поля, удовлетворяющей следующим граничным условиям:

$$1) E_y^j=0 \text{ при } z=D;$$

$$2) E_y^1=E_y^2 \text{ при } x = -a \text{ и } E_y^2=E_y^3 \text{ при } x = a;$$

$$3) \frac{\partial E_y^1}{\partial x}=\frac{\partial E_y^2}{\partial x} \text{ при } x = -a \text{ и } \frac{\partial E_y^2}{\partial x}=\frac{\partial E_y^3}{\partial x} \text{ при } x = a.$$

Первое граничное условие объясняется исчезновением электрического поля на поверхности абсолютного проводника, а остальные - непрерывностью тангенциальных компонент электрического и магнитного полей на границах раздела. Дополнительным условием является стремление к нулю $\frac{\partial E_y}{\partial x}$ при $x \rightarrow \infty$, что соответствует исчезновению вертикальной компоненты магнитного поля на бесконечности. Как уже отмечалось, в случае Е-поляризации не существует условия постоянства какой-либо компоненты поля на поверхности, что вынуждает нас прибегнуть к помощи интегрального соотношения, основанного на преобразовании Гильберта:

$$kH_x(x,0) = (1/\pi) \int_{-\infty}^{\infty} H_z(\xi,0)/(x - \xi) d\xi. \quad (1.38)$$

Введем функцию Грина $G_{ij}(r|r')$, где точка r принадлежит i -му блоку, а r' j -му блоку. Функция Грина является решением в i -м блоке уравнения

$$(\Delta - k_i^2)G_{ij}(r|r') = \delta(r - r') \quad (1.39)$$

и удовлетворяет следующим граничным условиям:

$$G_{ij}(x, d|r') = 0, \quad \partial G_{ij}(x, 0|r')/\partial z = 0.$$

Если теперь умножить E_y^i на (1.39), а G_{ij} на уравнение Гельмгольца и затем проинтегрировать по i -му блоку, получим:

$$\iint \{E_y^i(r)\Delta G_{ij}(r|r') - G_{ij}(r|r')\Delta E_y^i(r)\} dx dz = \begin{cases} E_y^i(r'), & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (1.40)$$

Левая часть (1.40) может быть сведена при помощи формулы Грина к замкнутым линейным интегралам по границам блоков:

$$\iint \{E_y^i(r)\partial G_{ij}(r|r')/\partial n - G_{ij}(r|r')\partial E_y^i(r)/\partial n\} dl_i = E_y^i(r'). \quad (1.41)$$

Здесь контуры ϵ_1 и ϵ_3 простираются на бесконечность, а $\partial/\partial n$ означает нормальную производную на контуре. Равенство (1.41) сильно упрощается, если учесть все граничные условия для E_y и G_{ij} :

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^a G_{1j}(x, 0|r') [\partial E_y^1(x, 0)/\partial z] dx + \int_{-a}^{\infty} G_{2j}(x, 0|r') [\partial E_y^2(x, 0)/\partial z] dx + \\ & + \int_a^{\infty} G_{3j}(x, 0|r') [\partial E_y^3(x, 0)/\partial z] dx = E_y^j(r'), \end{aligned} \quad (1.42)$$

или в общем виде, используя уравнения Максвелла:

$$E_y(r) = -i\omega \int_{-\infty}^{\infty} G(x, z, u) H_x(u, 0) du, \quad (1.43)$$

где $G = G_{ij}$. Дифференцируя (1.43) согласно уравнениям Максвелла, получаем для других компонент:

$$H_x(r) = \int_{-\infty}^{\infty} [\partial G(r, u)/\partial z] H_x(u, 0) du, \quad (1.44)$$

$$H_z(r) = \int_{-\infty}^{\infty} [\partial G(r, u)/\partial x] H_x(u, 0) du. \quad (1.45)$$

Подставляя (1.45) в (1.38), получаем:

$$H_x(x, 0) = H^0 + k \int_{-\infty}^{\infty} \partial G(r, u) / \partial x H_x(u, 0) du, \quad (1.46)$$

что ведет к схеме последовательных приближений Вайдельта:

$$H_x^{n+1}(x, 0) = H^0 + k \int_{-\infty}^{\infty} [\partial G(r, u) / \partial x] H_x^n(u, 0) du. \quad (1.47)$$

Выбирая первое приближение $H_x^0(x, 0) = H^0$, определяем $H_x(x, 0)$ как

$$H_x(x, 0) = \lim_{N \rightarrow \infty} H_x^N(x, 0). \quad (1.48)$$

Такая схема обеспечивает сходимость процедуры. Полное электромагнитное поле в проводящем пласте определяется затем из соотношений (1.43), (1.44), (1.45). В дальнейшем другие исследователи предложили ряд альтернативных схем последовательных приближений, основанных на (1.43)-(1.45).

Наконец, последней задачей является определение функций Грина. Они находятся методом разделения переменных из уравнения (1.39) с учетом краевых условий для функций Грина и имеют общий вид

$$G(x, z, u) = (1/d) \sum_{m=0}^{\infty} G_{ij}^*(x, u) \cos(l_m z), \quad (1.49)$$

где

$$G_{ij}^*(x, u) = A_m^{ij} \exp(x \eta_i^m) + B_m^{ij} \exp(-x \eta_i^m) - \delta_{ij} \exp(-\eta_j^m |x-u|) / \eta_j^m,$$

δ_{ij} - символ Кронекера.

Таким образом, все функции в (1.43)-(1.48) выражены аналитически и осуществление процедуры последовательных приближений на ЭВМ не представляет особого труда.

Сложнее обстоит дело, когда в основании лежит абсолютно непроводящее полупространство. В этом случае процедура с уверенностью сходится, если мощность пласта в несколько раз превышает мощность скин-слоя. Фактически это соответствует отсутствию подстилающего однородного полупространства, т.е. частному случаю предыдущей модели при $d \rightarrow \infty$.

Итак, мы рассмотрели методы получения аналитических и квазианалитических решений для простейших моделей. Очевидно, что простота реализации этих решений на ЭВМ и возможность получения высокой точности позволяют успешно использовать их для тестирования программ двумерного моделирования, основанных на различных методах численного анализа. Поэтому первым тестом в двумерной части проекта стала модель 2Д-0, подготовленная по инициативе проф. Вивера.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ СРАВНЕНИЯ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ

2.1. Принципы сравнения программ

2.1.1. Источники погрешностей численного моделирования электромагнитных полей

Многообразие методов численного моделирования ЭМ полей в неоднородных средах в конечном итоге сводится к реализации следующей вычислительной схемы:

построение дискретной модели геоэлектрической среды;

аппроксимация уравнений электромагнитного поля в построенной модели системой дискретных уравнений;

решение полученной дискретной системы уравнений;

вычисление различных операторов от полученного решения.

На каждом этапе используются те или иные приближения и допущения, соответственно накапливаются вычислительные ошибки, ограничивающие в конечном итоге точность численного моделирования. Рассмотрим последовательно наиболее существенные источники погрешностей.

Построение дискретной модели. На данном этапе исходную геоэлектрическую модель необходимо описать в некотором заданном классе дискретных структур. Чаще всего используются регулярные или нерегулярные системы (сети) дискретных элементов простой формы (треугольников и прямоугольников в двумерном случае, тетраэдров и гексаэдров в трехмерном), с постоянным распределением электропроводности внутри. Выбор простых элементов обусловлен тем, что использование более сложных дискретных моделей ведет к прогрессивному усложнению последующих этапов расчета электромагнитных полей.

Для различных дискретных структур можно указать классы моделей, в которых они наиболее эффективны. Например, для двумерных моделей с криволинейными границами раздела слоев нерегулярные сети треугольных элементов существенно эффективнее прямоугольных (с точки зрения аппроксимации модели). Отметим, что достаточно сложные геоэлектрические объекты невозможно описать безошибочно в рамках рассматриваемой схемы дискретизации. Увеличивая размерности сетей и усложняя структуру элементов, можно уменьшить возникающие погрешности, однако следует учитывать, что сложности, возникающие на последующих этапах моделирования (из-за усложнения структуры дискретных систем уравнений и увеличения их размерности, а значит, ухудшения обусловленности и устойчивости численного решения) могут безнадежно испортить конечный результат.

Аппроксимация системы уравнений электромагнитного поля. Для выбранной нами дискретной модели среды можно использовать различные аппроксимации исходных уравнений. Дискретная система уравнений зависит от множества факторов, начиная от основной

полагающего выбора интегральных или дифференциальных подходов к описанию задачи и завершая использованием шаблонов с различным числом узлов и различных предположений при определении коэффициентов системы.

Получаемая система дискретных уравнений в конечном итоге есть результат компромисса между желанием использовать модели среды, позволяющие точно аппроксимировать сложные реальные геоэлектрические разрезы, и трудностью решения больших систем линейных уравнений высокой заполненности и сложной структуры. В результате большинство исследователей ограничиваются моделями среды с кусочно-постоянным распределением электропроводности, приводящим в рамках метода дифференциальных уравнений к матрицам ленточного типа.

Решение дискретной системы уравнений. На этапе решения систем уравнений еще более возрастает число возможных реализаций метода, так как даже в рамках одного подхода можно использовать различные численные методы. На этом этапе исследователя снова ожидает выбор между универсальными, но не слишком эффективными методами, и мощными, но узко специализированными. Так, например, среди итерационных методов широкое распространение получил метод верхней релаксации, практически не накладывающий ограничений на класс решаемых систем, однако его эффективность при решении систем с комплексными переменными коэффициентами оставляет желать лучшего. Развивающиеся в последнее время более мощные методы требуют выполнения ряда условий и, соответственно, сужают возможный выбор на предыдущих шагах.

Аналогично обстоит дело и с методами исключения. Методы, использующие заполненную матрицу, позволяют решать системы с размерностями, не превышающими первых сотен. Более эффективные методы, использующие разреженность матрицы и известную структуру ее элементов, также накладывают ограничения на исходную модель.

Итерационные методы сравнительно лучше прямых учитывают структуру ненулевых элементов матрицы. Однако трудности формализации критерия окончания итерационного процесса резко снижают эффективность этой группы методов. При этом достаточно вероятно получение неправильных результатов, находящихся в зависимости от практической квалификации конкретного пользователя.

Как правило, большинство разработчиков программ моделирования имеет свои собственные программы, реализующие численные методы. Это связано с тем, что в конкретных геоэлектрических ситуациях эффективность универсальных пакетов прикладных программ ниже, чем у специализированных алгоритмов. Однако существует опасность, что уровень тестирования таких самостоятельных разработок может быть ниже, чем в стандартных пакетах.

Вычисление операторов от полученного решения. В результате решения системы уравнений мы получаем основное решение (одну

или несколько компонент поля), а остальные компоненты и функции от них требуют дальнейших расчетов. На этапе их вычисления возможно появление дополнительных погрешностей. Типичным примером является этап численного дифференцирования дискретного решения в методе конечных разностей.

Из всего изложенного следует, что погрешности моделирования накапливаются на каждом этапе. Теоретическая оценка возможного уровня погрешности очень сложна и поэтому на практике часто бывает проще экспериментально оценить точность созданной программы. Для каждой модели среды наиболее сложным представляется сбалансированный выбор схем аппроксимации модели, построения дискретных уравнений и метода их решения, направленный на получение эффективного алгоритма.

Программы моделирования электромагнитных полей представляют собой сложные комплексы, тестирование которых требует большой работы и не всегда в полной мере доступно разработчику. Как правило, тщательно исследуются составные части комплекса, окончательное же тестирование требует знания истинного поля для целого ряда моделей, что крайне осложняет проверку одной отдельно взятой программы.

Еще одна трудность оценки погрешностей заключается в том, что при использовании различных вычислительных систем (например с разной длиной слова или различными методами округления при выполнении арифметических операций) результаты могут заметно меняться.

Ввиду указанных сложностей априорной оценки погрешностей моделирования следует признать наиболее эффективным включение в программы внутренней диагностики и оценки погрешностей моделирования. Однако в большинстве алгоритмов не удается получить всеобъемлющий и надежный способ оценки погрешностей. Наиболее общий способ - исследование решений на сгущающейся последовательности дискретизаций. Вместе с тем большая размерность линейных систем очень затрудняет, а в случае трехмерного моделирования делает практически невозможным применение последовательности дискретизаций. Важным средством контроля может служить сравнение результатов с некоторыми эталонными расчетами. Для ряда простейших моделей могут быть получены аналитические решения, однако совпадение с ними не гарантирует правильной работы программы в более сложных ситуациях.

Итак, обеспечить контроль точности весьма затруднительно и качество численных алгоритмов моделирования может существенно зависеть от квалификации авторов. В этой ситуации наиболее приемлемым путем контроля качества моделирования представляется непосредственное сравнение программ. Сопоставление значительного количества результатов моделирования по некоторому набору моделей позволяет решить следующие задачи:

выявить программы, дающие наиболее близкие результаты;
создать численные эталоны, основанные на переходе от

простых моделей к сложным и выборе наиболее вероятных решений; накопить статистику соответствия расчетов и определить причины отклонения отдельных результатов; выработать рекомендации по использованию методов моделирования и технических приемов их реализации.

Эффективность решения этих задач в значительной степени зависит от набора тестовых моделей и метода анализа полученных результатов.

2.1.2. Опыт сравнения программ

Одним из важнейших этапов разработки математического обеспечения является тестирование программ. Разработка всеобъемлющей системы достоверных тестовых моделей - сложная задача, поэтому в последние годы широко используется проверка математического обеспечения на тестах, не имеющих эталонного решения. В этом случае для интересных с практической точки зрения задач получают решение всеми имеющимися в наличии средствами. Первоначально сравнения проводились для того, чтобы убедиться в идентичности работы программ в сложных ситуациях. Позже круг участников и моделей расширился, и сравнения стали носить новый характер - подготовки численных эталонов для опробования новых подходов. С ростом числа участников проявилась еще одна роль проектов сравнения - стандартизация средств моделирования, форматов представления результатов, способов их нормировки и т.д.

Одним из первых таких проектов было сравнение ряда алгоритмов двумерного моделирования. На достаточно простой геоэлектрической модели - однородной прямоугольной вертикально-вытянутой проводящей вставке. Электромагнитное поле возбуждалось бесконечно длинным кабелем, помещенным на поверхности Земли. Десять участников привели описание используемых ими алгоритмов и результаты расчета. Все эти статьи были опубликованы в одном номере журнала *Geophysics* (1971, №1) и предварены обзорной статьей (Ward, 1971). Такая организация позволила всем интересующимся проблемой ознакомиться с алгоритмами и самостоятельно сделать выбор, как лучше развивать это направление.

Позднее подобный проект был осуществлен Комиссией академий наук социалистических стран по планетарной геофизике (КАПГ) для двумерных моделей, возбуждаемых вертикально-падающей плоской волной. Видные ученые-геоэлектрики выдвинули по одной, наиболее для них интересной модели, и все участники сравнения их рассчитали. После изучения результатов, полученных по различным программам, были выявлены основные трудности, возникающие при моделировании. К числу этих трудностей были отнесены, прежде всего, проблемы аппроксимации сложных геоэлектрических структур, использование сильно неравномерных

сеток, построение критериев окончания итерационного процесса и т.д. Подведение итогов данного проекта проходило на рабочем совещании КАПГ в Дрездене, ГДР, в 1978 г. Даже в условиях только качественного, визуального сравнения результатов была получена ценная информация, привлечено внимание исследователей к проблемам развития технологии расчетов, совершенствование алгоритмов моделирования.

В начале восьмидесятых годов под руководством М.Н. Бердичевского в СССР проводился еще один проект сравнения программ. Основной целью этого проекта было не просто подтверждение эквивалентности алгоритмов, а изучение возможности их применения для расчета экстремальных по сложности теоретических моделей, а также моделирования и интерпретации реальных региональных разрезов. Были разработаны модели, отличающиеся сложной структурой, имеющие значительные контрасты электропроводностей, вытянутые по горизонтали неоднородности, требующие изучения в очень широком диапазоне частот. Эти свойства моделей обусловили использование различных дискретизаций геоэлектрической среды для разных периодов моделирования. В результате этого сравнения были выявлены наиболее сложные для моделирования объекты и определены программы, которые наиболее часто давали отклонения от результатов ряда других программ, практически совпадавших для всех моделей. Однако проект не получил завершения и рекомендаций конструктивного порядка не было опубликовано.

Эксперименты по сравнению программ численного моделирования проводились и для трехмерных моделей. Одним из первых примеров деятельности в этой области является проект сравнения методов моделирования трехмерных сред с контролируемым возбудителем, обсуждавшийся на Международном рабочем совещании по электромагнитному моделированию в Бэркли, США, в 1978 г.

В результате предыдущей работы по сравнению программ моделирования был накоплен опыт выбора моделей, формы представления результатов и сформировались объективные предпосылки для проведения проекта сравнения на новом качественном уровне.

2.2. Программа международного проекта СОММЕМІ

2.2.1. Задачи проекта

Международный проект по сравнению методов моделирования в задачах электромагнитной индукции (СОММЕМІ) рассмотрен и принят на У1 Международном симпозиуме по электромагнитной индукции (Виктория, Канада, 1982г.) под эгидой рабочей группы I/3 Международной Ассоциации по Геомагнетизму и Аэрономии (МАГА). Основная цель проекта состоит в сравнении точности и вычислительной эффективности алгоритмов и программ численного моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах.

Рассматривается возбуждение плоской вертикально - падающей волной, с зависимостью от времени $\exp(-i\omega t)$ в квазистационарном приближении.

Проект должен решить целый ряд насущных практических задач. В первую очередь это изучение работоспособности конкретных программ, сравнение результатов численного моделирования с аналитическим решением, сравнение ряда алгоритмов для набора простых моделей, а также моделирование геоэлектрических структур, приближенных к реальным. Обобщение большого числа результатов для целого ряда моделей позволяет выделить наиболее работоспособные алгоритмы, стабильно работающие в различных ситуациях. Появляется возможность выявить влияние аппроксимации геоэлектрических структур на модельные поля. Могут быть также определены наиболее эффективные на настоящий момент методические решения при аппроксимации моделей, решении систем линейных уравнений, вычислении компонент поля и передаточных функций среды. Анализ результатов, полученных множеством участников по различным программам дает также возможность определить некоторое стандартное решение для сложных моделей и в ряде случаев определить, какими свойствами алгоритма или методики его применения могут объясняться те или иные отклонения от этого решения.

Таким образом, еще одним результатом проекта является создание сложных эталонных моделей (не имеющих аналитического решения). Такие эталоны очень полезны при разработке и тестировании новых методов и алгоритмов моделирования ЭМ полей.

Надо отметить, что за предыдущие годы сложилось некоторое общее мнение, какие компоненты поля и передаточные функции необходимы для нужд практики. Проекты сравнения внесли свою лепту в стандартизацию набора компонент и их нормировки, однако до настоящего времени возникают программы, имеющие свои индивидуальные особенности представления результатов, что очень затрудняет сравнение.

Основной целью проекта было выявление универсальных программ, позволяющих точно и надежно моделировать различные геоэлектрические структуры. Количественные показатели эффективности работы программ не оценивались, так как это работа для специального исследования. Сложность этой задачи объясняется рядом причин. Расчеты проводились на различных ЭВМ, скомпоставить производительность которых - само по себе трудная задача. Многие участники не представляли сведений о производительности, так как это резко повышает объем расчетов (необходимо выбрать наименьшую размерность сетки, при которой не падает точность). Некоторые участники принципиально против сравнения эффективности, так как считают это коммерческой рекламой продукта, что несовместимо с исследовательскими целями проекта.

2.2.2. Структура тестовых моделей

В 1983 году набор двумерных и трехмерных моделей с краткой инструкцией, описывающей параметры моделей, стандартные форматы представления результатов, требуемые компоненты и их нормировки, был распространен в кругу потенциальных участников проекта. Вместе с первыми результатами поступили предложения по совершенствованию проекта сравнения. Как результат такой активности участников, в 1985 году был выработан новый набор моделей, включающий шесть двумерных и две трехмерные модели. Рассмотрим кратко эти модели. Из шести двумерных структур первые четыре относились к достаточно простым теоретическим моделям, а две последние приближались по сложности к реальным геоэлектрическим структурам.

Модель 2Д-0 (рис.2.1,а) представляет собой слой, состоящий из трех блоков различной электропроводности, лежащий на основании из абсолютного проводника. Наличие аналитического решения (Weaver et al., 1985, 1986) позволяет оценить, насколько хорошо исходная геоэлектрическая задача описывается дискретными уравнениями, используемыми участниками. С ее помощью удается проверить корректность постановки задачи.

Модель 2Д-1 (рис.2.1,б) - симметричная, прямоугольная вставка высокой электропроводности размещена в однородном проводящем полупространстве. В этой модели достаточно велики значения аномального поля, значителен контраст электропроводностей, вставка расположена близко к поверхности. Несмотря на внешнюю простоту она предъявляет высокие требования к аппроксимационной способности алгоритмов, методам решения линейных систем с сильно меняющимися коэффициентами.

Модель 2Д-2 (рис.2.2,а) отличается еще более высоким контрастом электропроводностей и малой толщиной вставок, имеющих значительную протяженность. Возникающая в результате система линейных уравнений также должна иметь высокое число обусловленности.

В модели 2Д-3 (рис.2.2,б) все аномалиеобразующие объекты приповерхностные. Модель состоит из четырех блоков. Первоначально крайние блоки имели одинаковое сопротивление, во втором варианте электропроводность правого блока была резко уменьшена. Модель 2Д-3 имеет значительные изменения поля в случае Н-поляризации. Она также дает большие возможности для применения пленочных алгоритмов моделирования. Наибольшие сложности должны возникать при дифференцировании основного поля, в условиях выхода на поверхность вертикальных границ электропроводности.

Модель 2Д-4 (рис.2.3) в отличие от предыдущих, имеет более сложную структуру, в ней есть наклонные границы областей с различной электропроводностью, тонкий приповерхностный слой.

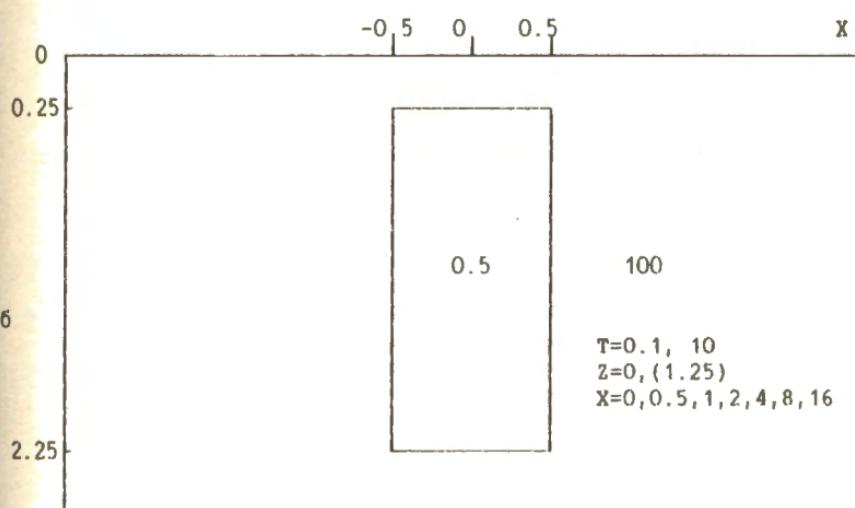
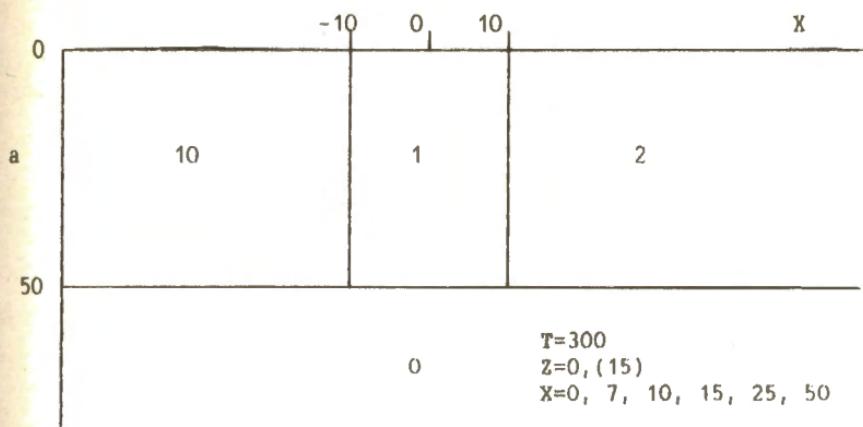


Рис. 2.1. Структура тестовых моделей СОММЕМІ 2Д-0(а), 2Д-1(б), координаты даны в км, периоды – в с, сопротивления в Ом·м. Необходимые периоды и координаты точек наблюдения даны в скобках

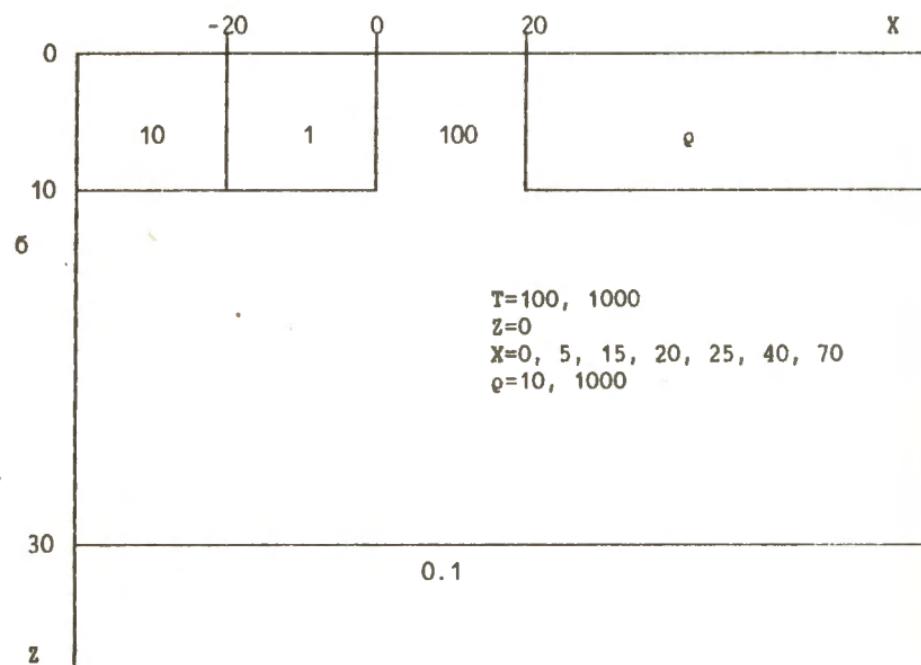
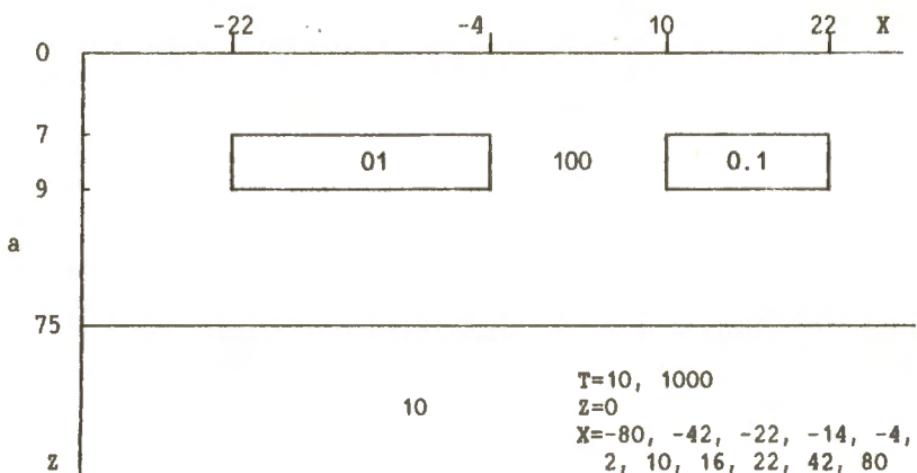


Рис. 2.2. Структура тестовых моделей СОММЕМІ 2Д-2(а), 2Д-3(б)

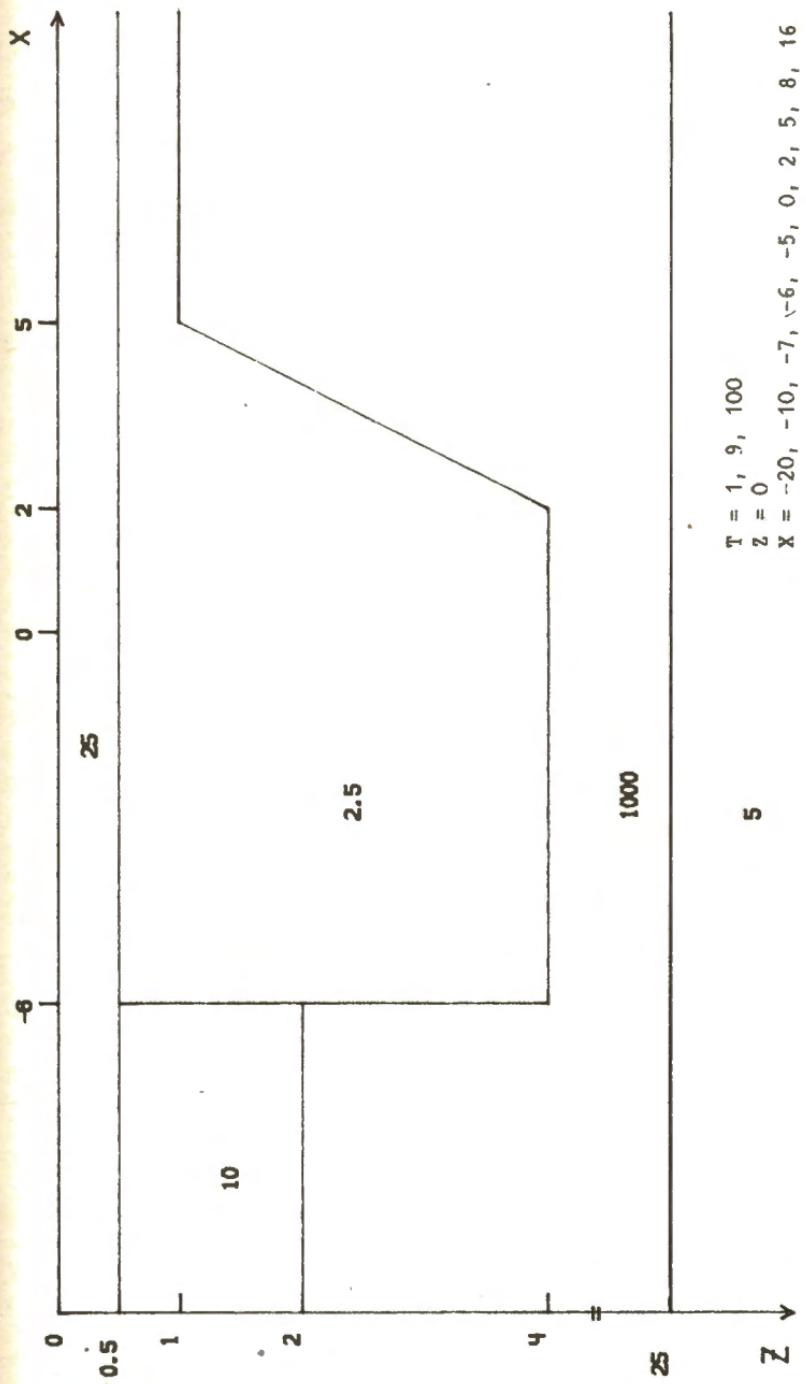


Рис. 2.3. Структура тестовой модели коммента 2Д-4

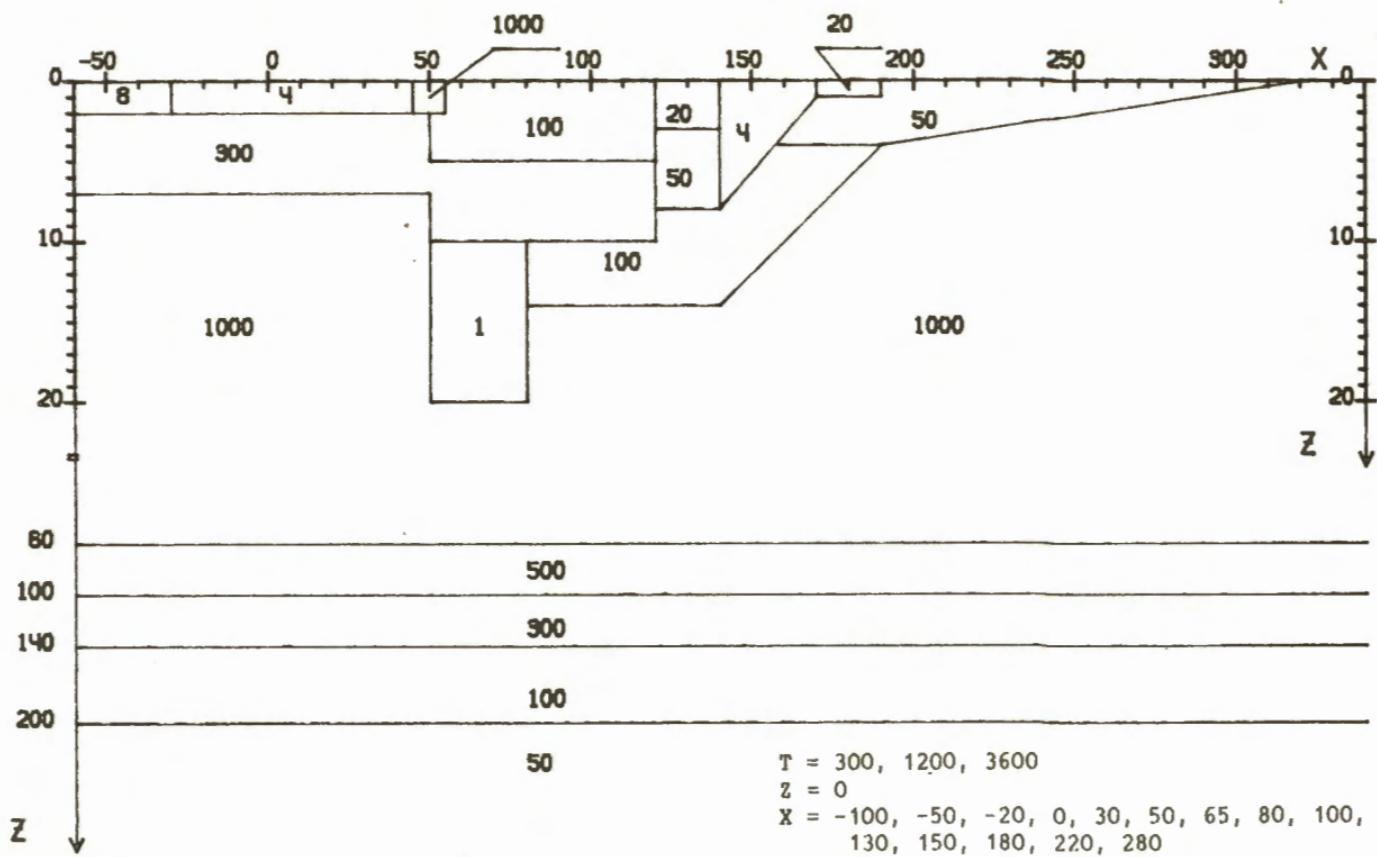
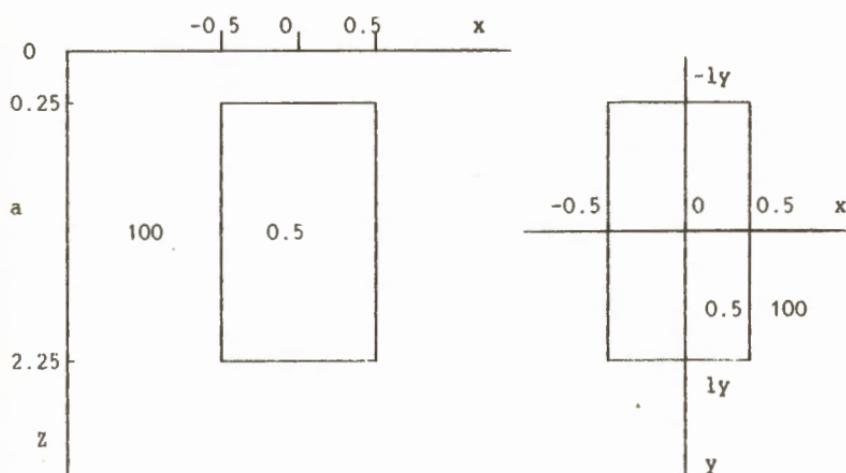


Рис. 2.4. Структура тестовой модели СОММЕИ 2Д-5

$T=0.1, 10$
 $z=0; ly=1, (5)$
 $x=0; y=(0, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2)ly$
 $y=0; x=(0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 4)$



$T=100, 1000$
 $\langle ly^1, ly^2 \rangle = \langle 20, 20 \rangle, \langle 100, 20 \rangle$
 $z=0$
 $y=0, 30; x=0, 5, 15, 20, 25, 40, 70$

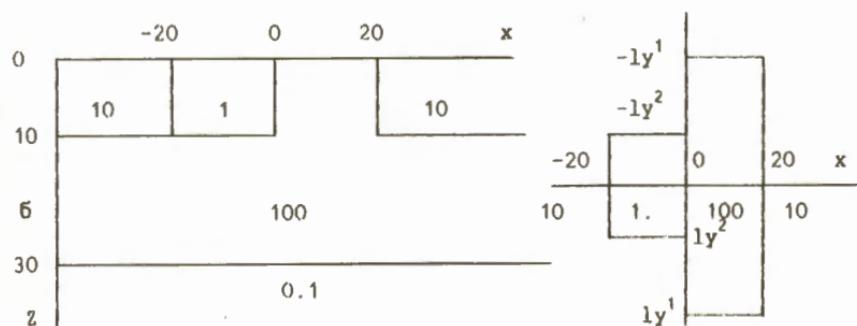


Рис. 2.5. Структура тестовых моделей СОММЕМИ ЗД-1(а), ЗД-2(б)

этой модели на результат существенно влияют не только выбор дискретных уравнений и метода решения, но и аппроксимационные возможности программы при описании модели и, может быть, даже в большей степени - субъективный фактор.

Модель 2Д-5 (рис.2.4) представляет собой наиболее сложную модель этого ряда. Это - идеализированная модель Карпатской геомагнитной аномалии, в которой в области положительных ординат расположен Украинский щит, характеризующийся высоким сопротивлением пород до больших глубин, а в области отрицательных ординат - Паннонская депрессия, с достаточно мощным проводящим чехлом осадочных пород. Модель сложна по структуре, требует детальной аппроксимации разреза. Ввиду ее обширности необходима сетка с большим числом узлов. Таким образом модель позволяет получить определенные представления о возможностях программ при расчете реальных геоэлектрических структур.

Трехмерные модели были представлены двумя структурами.

Модель 3Д-1 (рис.2.5,а) - прямоугольная вставка в однородном полупространстве. В плоскости XOZ сечение этой модели совпадает с моделью 2Д-1, что обеспечивает преемственность двумерной и трехмерной частей СОММЕП. Эта геометрически простая модель имеет, однако, довольно высокий контраст электропроводности и близко расположенную к поверхности неоднородность. Это обеспечивает достаточно высокие значения аномального поля. Предлагаются два варианта этой модели: почти изометрическая вставка с отношением горизонтальных размеров 1:2 и более вытянутая с отношением 1:10. Значения поля представляются только на поверхности на осях координат.

Вторая модель - 3Д-2 (рис.2.5,б) - значительно сложнее. Она состоит из двух прямоугольных вставок, осложняющих верхний слой трехслойного разреза. В сечении по оси OX модель точно соответствует первому варианту модели 2Д-3. В этой модели также предусмотрены два варианта вытянутости вставок.

2.2.3. Форма представления результатов

В двумерном случае расчеты выполнялись для двух поляризаций поля для стандартного и дополнительного набора периодов и точек наблюдения. Сопоставлялись следующие компоненты поля :

$$\cdot \tilde{E}_y = E_y^n / E_x^n, \quad \tilde{H}_x = H_x^n / H_x^n, \quad \tilde{H}_z = H_z^n / H_x^n, \quad (\text{EP})$$

$$\cdot \tilde{H}_y = H_y^n / H_x^n, \quad \tilde{E}_x = E_x^n / E_x^n, \quad (\text{HP})$$

здесь $E_x^n, E_y^n, H_x^n, H_y^n$ - нормальные поля, рассчитанные по одномерным формулам на поверхности Земли для левой модели

нормального разреза ($z = 0$, $x = -\infty$). В точках разрыва электрического поля (НР) представлялись по возможности два предельных значения поля. При моделировании аномальных полей результаты пересчитывались в полные поля. Электромагнитные поля представлялись в комплексной форме (Re, Im). Кажущиеся сопротивления вычислялись по формуле

$$\rho_k = |z|^2 / (\omega \mu),$$

$$Z = - \frac{E_y}{H_x}, \quad (\text{EP})$$

$$Z = \frac{E_x}{H_y}. \quad (\text{НР})$$

При трехмерных расчетах также рассматривались две поляризации нормального поля (EXN и EYN):

$$E^n = (E^n, 0, 0), \quad H^n = (0, H^n, 0), \quad (\text{EXN})$$

$$E^n = (0, E^n, 0), \quad H^n = (H^n, 0, 0). \quad (\text{EYN})$$

Компоненты полного электрического и магнитного полей нормировались на комплексные величины E^n , H^n и представлялись в виде (Re, Im). В точках, лежащих на поверхности разрыва электрического поля, рассматривались предельные значения с каждой стороны.

Кроме компонент поля, рассчитывался тензор кажущегося сопротивления. В модели ЗД-1, имеющей две вертикальные плоскости симметрии, основной анализ результатов велся в точках на координатных осях, где отличны от нуля лишь два элемента этого тензора (ρ_{xy}, ρ_{yx}).

Получаемые результаты сравнительных расчетов тестовых моделей заносились в банк данных и далее проводилась обработка результатов. В банк данных вносились все имеющиеся для данной модели результаты, при этом указывались номер участника из сводных таблиц 2.1.-2.2, период, идентификатор компоненты, уровень по Z , горизонтальные координаты точек, в которых определены результаты. Такое представление результатов позволило автоматизировать их обработку и опробовать различные алгоритмы сравнения.

Основным средством работы с банком данных была процедура, позволяющая по указанным периоду, уровню, спискам компонент и координат выбирать все имеющиеся к данному моменту результаты моделирования. Далее применялись процедуры, реализующие тот или иной алгоритм расчета статистических характеристик полученных наборов результатов, и, наконец, процедуры печати таблиц и построения диаграмм.

Такая организация работы позволила опробовать несколько алгоритмов расчета статистик и построения диаграмм и выбрать

Таблица 2.1

Список участников проекта СОММЕМІ (двумерные расчеты)

#	Страна Организация	Метод расчетов	Авторы		Рассчитанные модели
			программ	расчетов	
1	2	3	4		5
1	Канада (ун-т, г. Виктория) Швейцария (обсерватория Невшатель)	A	Вивер, Фишер, Ле Кон		2Д-0
2	Канада Швейцария	KР(П)	Вивер, Бревитт- Тейлор	Вивер, Фишер, Ле Кон	2Д-1, 2Д-3
3	Канада (ун-т, г. Виктория)	KР(П)	- " -	Вивер	2Д-0 - 2Д-5
4	Финляндия (ун-т, г. Оулу)	KР(П)	- " -	Кайкконен и др.	2Д-2, 2Д-5
5	Финляндия	KЭ(П)	Кайкконен		2Д-4 (EP)
6	Польша (Ин-т геофизики АН)	KР(П)	Тарловский	Янковский и др.	2Д-1 - 2Д-5
7	Венгрия (Ин-т геодезии и геофизики АН)	KР(И)	Татралья	Адам и др.	2Д-2
8	СССР (ИЗМИРАН)	KР(П)	Варенцов, Голубев		2Д-0 - 2Д-5
9	СССР (ИЗМИРАН)	ИУ(П)	Варенцов, Голубев, Черняк		2Д-1, 2Д-2
10	СССР (ТашГУ)	KР(И)	Варенцов, Голубев	Белянский	2Д-1 - 2Д-4
11	СССР (ЛГУ)	KР(И-МГ)	Варданянц		2Д-1 - 2Д-5
12	Чехословакия (Геофизический ин-т АН)	KР(П)	Черв, Пек, Праус		2Д-1 - 2Д-5
13	ГДР (Горная академия, г. Фрайберг)	KР(И)	Веллер, Порстендорфер, Рослер		2Д-1 - 2Д-5
14	СССР (МГРИ)	KР(И)	Юдин, Ананевич, Веселовский		2Д-1 - 2Д-4
15	СССР (МГРИ)	KЭ(И)	Юдин, Ананевич, Веселовский		2Д-1
16	СССР (МГРИ)	KР(И)	Юдин, Казанцева	Кузнецов и др.	2Д-1 - 2Д-5

Таблица 2.1(продолжение)

1	2	3	4		5
17	США (ун-т, г. Юта)	КЭ(П)	Ванамейкер и др.		2Д-0, 2Д-1 2Д-3, 2Д-5
18	ФРГ (ун-т, г. Геттинген)	КР(П)	Шмукер		2Д-1 - 2Д-5
19	ФРГ (ун-т, г. Геттинген)	ИУ(П)	Флюхе		2Д-1 - 2Д-3
20	СССР (МГУ)	КР(И)	Дмитриев, Барашков		2Д-0 - 2Д-4 (НР)
21	Канада (ун-т, г. Виктория)	ИУ(П) (ТС)	Вивер и др.		2Д-1 - 2Д-3
22	Канада (ун-т, г. Альберта)	ИУ(П) (ТС)	Вивер и др.	Маккерди	2Д-0 - 2Д-4
23	Канада (ун-т, г. Виктория)	КЭ(П)	Кизак, Сильвестер	Вивер .	2Д-0
24	СССР (МГУ)	ИУ(П)	Дмитриев, Мерщикова		2Д-0
25	СССР (Краснояр- ский ВЦ СО АН)	КЭ(И)	Бабурина, Берсенев		2Д-0 - 2Д-5
26	СССР (Краснояр- ский ВЦ СО АН)	КЭ-И, П, МГ	Богданов		2Д-0 - 2Д-5
27	СССР (ИЗМИРАН)	КР(И-МГ)	Варенцов, Голубев		2Д-1, 2Д-4

Таблица 2.2

Список участников проекта СОММЕРИ (трехмерные расчеты)

#	Страна Организация	Метод расчетов	Авторы		Рассчитанные модели
			программ	расчетов	
1	2	3	4		5
1	Чехословакия (Геоф. ин-т САН) СССР (ИЗМИРАН)	ИУ(П)	Варенцов, Гвождара		3Д-1
2	Чехословакия (Геоф. ин-т САН) СССР (ИЗМИРАН)	ИУ(П) (С)	Гвождара, Варенцов		3Д-1
3	СССР (ИЗМИРАН)	КР(П)	Жданов, Сличак		3Д-1 - 3Д-2
4	СССР (МГРИ)	КР(И)	Юдин, Ананевич, Веселовский		3Д-1

Таблица 2.2(продолжение)

1	2	3	4	5
5	СССР (МГРИ)	КЭ(И)	Юдин, Веселовский, Ананевич	ЗД-1
6	СССР (МГУ)	ИУ(П)	Дмитриев, Позднякова	ЗД-1
7	США (ун-т, г. Юта)	ИУ(П)	Ваннамейкер, Хоманн и др.	ЗД-1
8	Канада (ун-т, г. Виктория)	ИУ(П) (ТС)	Вивер и др.	ЗД-2
9	ФРГ (ун-т, г. Геттинген)	ИУ(И)	Зонг Ху, Шмукер	ЗД-1
10	СССР (ЦГЭ)	КР(И)	Друскин и др.	ЗД-1
11	СССР (МГУ)	ИУ(П) (С)	Яковлев, Модин	ЗД-1
12	СССР (ИО АН)	КЭ(П)(ТС)	Вайдельт Пальшин	ЗД-2
13	Канада (ун-т, г. Альберта)	ИУ(П) (ТС)	Маккерди и др.	ЗД-2
14	СССР (ИЗМИРАН)	ИУ(И)(ТС)	Зингер, Файнберг	ЗД-2
15	Венгрия (ун-т, г. Будапешт) СССР (МГУ)	ИУ(И)	Фарзан, Дмитриев	ЗД-1

Обозначения:

A - аналитическое решение	C - приближение стационарного поля
КР - конечно-разностный метод	И - итерационное решение
КЭ - метод конечных элементов	П - прямое решение
ИУ - метод интегральных уравнений	МГ - решение на последовательности сеток
ТС - приближение тонкого слоя	

Таблица 2.3

Соответствие номеров участников символам в графических приложениях 2 и 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	+	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

наиболее приемлемый с точки зрения авторов. Наличие банка данных и процедур работы с ним обеспечило простоту включения новых результатов и обновления всех таблиц.

В настоящее время мы остановились на следующей процедуре вычисления статистик. Отдельно для действительной и мнимой частей выбранной компоненты в каждой точке вычислялись средние значения и среднеквадратическая невязка результатов b_0 , равная корню из дисперсии. Эта невязка в определенной степени характеризует качество расчета модели, однако средние значения могут быть заметно смещены влиянием сильно отскочивших результатов, особенно при небольшом числе участников. Для того чтобы облегчить анализ результатов и получить менее смещенное среднее значение, результаты, отличающиеся от среднего более чем на две невязки b_0 , отбрасываются и вычисление статистик повторяется. Новые значения невязки обозначаются b_1 .

Следует отметить, что и данный алгоритм не гарантирует правильных средних значений. Если несколько результатов сильно отличаются от среднего, то невязка b_0 может быть велика и эти значения не отбракуются. Поэтому анализ таблиц компонент не всегда удобен для получения численного эталона. В связи с этим в конце книги дополнительно приводятся графические диаграммы результатов. Пунктирными линиями на графиках изображены минимальные и максимальные значения, а тремя сплошными линиями среднее значение и интервал двойной невязки b_1 .

В нижней части рисунков для ряда координат результаты представлены в более крупном масштабе. Для каждой точки дана своя шкала, и символами представлены результаты, полученные после отбраковки резко отскакивающих значений. Для них даны новые средние значения и интервал среднеквадратической невязки b_1 . На этих диаграммах легко определить поведение разных решений вдоль профиля, их взаимоотношения и группу наиболее хорошо совпадающих алгоритмов.

2.3. Пакеты программ моделирования

Рассмотренные в первой главе книги методы решения задач моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах являются лишь теоретической основой моделирования. Конкретные же результаты получаются с помощью компьютерных программ. Различные реализации одного и того же метода зависят от выбранного алгоритма, используемых численных методов и стандартных программ, применяемой ЭВМ и, может быть, даже в большей степени от мастерства автора. Поэтому в дальнейшем, при сравнении тех или иных алгоритмов, мы будем ссылаться на конкретную программу, написанную определенным автором.

Первые программы двумерного моделирования для всех трех основных методов: интегральных уравнений (Дмитриев, 1969; Кауфман, 1974; Hohmann, 1971), конечных элементов (Coggon, 1971; Silvester, Haslam, 1972) и конечных разностей (Мадден, Свифт, 1972; Jones, Price, 1970; Jones, Pascoe, 1971; Pascoe, Jones, 1972; Cerv, Fraus, 1972) работали уже в самом начале семидесятых годов. С той поры все три метода получили большое развитие, но в применении к двумерному моделированию - неодинаковое распространение. Программы, использующие метод интегральных уравнений, применяются в настоящее время реже всего. Это связано в первую очередь с трудностями расчета сложных геоэлектрических моделей, особенно моделей, выходящих за рамки горизонтально-слоистой структуры нормального разреза. В то же время следует отметить, что именно благодаря программам данного класса, обладающим высокой точностью и вычислительной эффективностью для простых моделей локальных тел, за прошедшие двадцать лет получены фундаментальные представления о структуре искажений электромагнитного поля в неоднородных средах.

Несколько шире представлены программы метода конечных элементов. Этот метод предоставляет широкие аппроксимационные возможности при описании модели. Однако для их реализации необходимо использовать треугольные конечные элементы и, соответственно, программы автоматической триангуляции. Требуется также эффективно решать возникающие в этом случае линейные системы с нерегулярной структурой. Возрастающая сложность сервисных систем метода конечных элементов привела к тому, что разработку программных средств широкого назначения ведут математики, имеющие весьма общие представления о возможных приложениях. Эффективность и удобство таких средств при решении специфических задач геоэлектрики не всегда оказываются на высоте. Разработки же, предназначенные непосредственно для геоэлектрики, выполняемые чаще всего геофизиками, тяготеют к использованию прямоугольных регулярных конечных элементов как наиболее простых, что снижает аппроксимационные возможности метода.

Наибольшее распространение получили конечно-разностные программы, сделанные специально для решения задач геоэлектрики. Их простота и доступность, возможность легко вносить необходимые усовершенствования, достаточная надежность результатов привели к тому, что большинство участников проекта сравнения программ воспользовалось ими.

Для трехмерного моделирования распределение участников по методам моделирования выглядит иначе. Наибольшее число применяемых программ относится к методу интегральных уравнений. Как уже отмечалось в п. 1.2, основная задача здесь решается в пределах аномального тела, что позволяет построить достаточно аккуратную дискретизацию. Конечно-разностные и конечно-элементные

тные программы использовались лишь тремя участниками трехмерной части проекта.

Рассмотрим подробнее, какие программы моделирования в рамках каждого подхода участвовали в проекте СОММЕМІ.

2.3.1. Программы, использующие метод интегральных уравнений

Двумерные программы. Первые программы данного метода были рассчитаны на узкий класс геоэлектрических аномалий простой формы (Дмитриев, 1969; Кауфман, 1974; Таборовский, 1975). Без изменения программ удавалось варьировать лишь ограниченный набор параметров модели: диаметр и глубину кругового цилиндра, его электропроводность и проводимость вмещающего полупространства или, например, размеры прямоугольной вставки в приповерхностном слое, ее электропроводность, электропроводности и мощности трех слоев нормального разреза. В последнем случае при переходе к четырехслойной модели нормального разреза требовалось перерабатывать программу. Позже появились более гибкие и универсальные программы.

Прежде всего следует отметить в их ряду программу, участвовавшую в сравнении под номером 24 (Дмитриев, Мерцкова, 1979, 1980). Возможности данной программы в последние годы заметно выросли и обеспечивают эффективный расчет однородных включений в произвольном слоистом разрезе.

Весьма сходную структуру с предыдущей имеет программа 9, позволяющая моделировать несколько неоднородных включений в произвольной слоистой среде.

Наконец, единственное решение методом интегральных уравнений в случае Н-поляризации, где приходится вместо скалярной решать векторную задачу, представлено участником 19 (Флюхе, ФРГ).

Сложность применения программ метода интегральных уравнений для моделей с различными нормальными разрезами на бесконечности привела к тому, что в двумерном случае метод интегральных уравнений имеет ограниченное распространение. Более эффективен в этом случае приближенный подход с аппроксимацией верхней неоднородной части разреза бесконечно тонким слоем или, еще лучше, тонким слоем конечной толщины. Этот подход представлен результатами 21 и 22 (Green, Weaver, 1978; McKirdy, Weaver, 1984). Программы, использующие аппроксимацию тонким слоем, могут эффективно моделировать поля над достаточно сложными приповерхностными структурами, имеющими различную электропроводность слоя на бесконечности слева и справа, не только на низких частотах, но и в более широком диапазоне.

Во всех двумерных программах дискретные системы решались прямыми методами.

Трехмерные программы. В трехмерном случае подавляющее число

участников использует метод интегральных уравнений. В то же время на настоящем этапе развития вычислительной техники большинство исследователей в рамках этого метода еще не могут моделировать реальные распределения электропроводности и программы используются в основном для изучения простых трехмерных эффектов, анализа информативности различных трехмерных данных и опробования интерпретационных методов. В этих ситуациях можно ограничиться моделями локальных тел простой формы. Эффективность метода интегральных уравнений для таких задач не вызывает сомнений, тем более, что учет плоскостей симметрии модели может значительно повысить эффективность решения исследовательских задач.

Участники 1 и 2 представили две программы трехмерного моделирования: одну для общего случая переменного поля (Hvozdara, 1981; Hvozdara et al., 1987; Hvozdara, Varentsov, 1988), а другую - для частного, предельного случая стационарного поля (Hvozdara, 1982, 1983, 1985).

Программа под номером 1 максимально использовала аналитические возможности метода интегральных уравнений в классе моделей, содержащих неоднородную вставку в однородном полупространстве. Алгоритм специально учитывал свойства операторов Грина и их объемных интегралов для однородного проводящего полупространства, снижая тем самым размерность многих численных процедур при построении дискретной системы. Эта программа обеспечила поэтому детальное исследование модели ЗД-1 при умеренных вычислительных затратах.

Алгоритм 6 (Дмитриев, Позднякова, 1989) близок к предыдущему и обладает большей универсальностью, допуская произвольную слоистую модель нормального разреза. Результаты более раннего алгоритма 15 (Дмитриев, Фарзан, 1980) оказались очень грубыми и не рассматривались.

Американская программа под номером 7 (Wannamaker et al., 1981a,b) представляется наиболее универсальной, поскольку обеспечивает неравномерную дискретизацию неоднородности. Вычисление коэффициентов дискретной системы в ней ведется на основе трехмерной интерполяции предварительно табулированных значений операторов Грина. Допускается произвольная слоистая модель нормального разреза и неоднородная структура вставки.

Результаты участников 9 по программе (Xiong et al., 1986), реализованные на суперЭВМ, характеризуются максимальной размерностью дискретизации в модели ЗД-1.

Все упомянутые выше программы обеспечивают учет симметрии геоэлектрической модели.

Второе решение для приближения стационарного поля предложено участниками 11 (Яковлев, Модин, 1988).

Алгоритмы метода интегральных уравнений в классе тонких пленок представлены участниками 8 (Agarwal, Weaver, 1987; Dawson, Weaver, 1979), 12 (Weidelt, 1977), 13 (McKirdy et al.,

1985) и 14 (Зингер, Файнберг, 1985). Результаты этих алгоритмов получены в модели ЗД-2, и их анализ выходит за рамки данной книги.

В большинстве алгоритмов трехмерного моделирования методом интегральных уравнений дискретные линейные системы решаются прямыми методами. Исключение составляют программы 9 и 14. Программа 1 позволяет выбирать как прямой, так и итерационный метод.

2.3.2. Программы, использующие метод конечных разностей

Двумерные программы. В проекте СОММЕМ1 представлено значительное число результатов применения двумерных конечно-разностных программ. Часть из них получена с помощью различных вариантов программ одних и тех же авторов. Несколько алгоритмов, созданных в разное время, имеют близкую структуру и отличаются лишь отдельными, часто не очень существенными деталями. Этими алгоритмами получены результаты 2, 3, 4, 6, 8, 12. Их прежде всего характеризуют решение системы разностных уравнений методами исключения и устойчиво высокое качество расчетов. Вторая значительная группа представлена программами, использующими итерационные методы решения (7, 10, 11, 13–16, 20, 27). Эта группа очень неоднородна по качеству результатов моделирования.

Кратко охарактеризуем основные программы.

Результаты 2 – 4 получены по канадской программе (Weaver, Brewitt-Taylor, 1978; Brewitt-Taylor, Weaver, 1976), получившей широкое распространение в мире. Отличительными чертами этой программы являются: метод исключения при решении систем линейных уравнений, асимптотические краевые условия первого порядка в атмосфере и условия Дирихле первого рода на остальных границах, методы дифференцирования разностного решения (при вычислении вторичных компонент поля), учитывающие границы раздела областей различной электропроводности.

Результат 6 получен по польской программе (Tarlowsky, 1977), использующей также прямой метод решения разностной системы и краевые условия первого рода. Расчеты выполнены для подробных сеток с числом узлов больше 5000.

Результат 7 получен по довольно старой венгерской программе (Tatrallyay, 1978). В ней также используются обычные краевые условия Дирихле первого рода, а разностная система решается итерационным методом верхней релаксации.

Этот же итерационный метод применен и в программе 10 (Варенцов, Голубев, 1980а, б, 1982; Жданов и др., 1982). В ней, как и в программе 2, используются асимптотические краевые условия в непроводящей атмосфере.

Совершенствование данной программы привело к качественно новой разработке 8 – пакету программ моделирования FDM2D (Ba-

ренцов, Голубев, 1982, 1985). Особенность программ этого пакета прежде всего составляет переход к эффективному прямому решению разностной системы, а также последовательная реализация концепции асимптотических краевых условий, в т.ч. в однородном проводящем или непроводящем основании разреза (а также и в неоднородном основании разреза за счет учета кажущейся электропроводности в граничных точках). Пакет FDM2D позволяет строить разностное решение как для полного, так и для аномального поля, учитывать симметрию модели, минимизировать вычислительные затраты путем оптимальной нумерации разностных уравнений, аккуратно вычислять производные сеточного решения с учетом их возможных разрывов. Этот пакет внедрен в целом ряде геофизических организаций СССР.

Алгоритм 27 (Варенцов, 1985) отличается от алгоритма 10 лишь одной существенной деталью - в нем метод прямого решения заменен комбинированными методами, сочетающими достоинства прямых и итерационных. Здесь используется неполная (приближенная) факторизация матрицы разностной системы, а затем применяются трехслойные итерационные схемы (чебышевская или сопряженных направлений) для трансформированной системы с матрицей, близкой к единичной, что обуславливает быструю и надежную сходимость процесса. Данная программа позволяет вести расчеты на сгущающейся последовательности сеток.

Весьма интересны результаты алгоритма 11 (Варданянц, 1978, 1979, 1983). Его основные особенности заключаются в использовании краевых условий второго рода (равенство нулю нормальной производной поля) на боковых границах и импедансных краевых условий (третьего рода) на нижней границе и решении разностной задачи на сгущающейся последовательности сеток итерационным методом переменных направлений. Эта программа используется целым рядом исследователей.

Алгоритм 12 основан на применении методов исключения (Cerv, Praus, 1972, 1978; Cerv et al., 1984). Краевые условия в нем всюду заданы Дирихле первого рода.

В программе 13, разработанной в ГДР, используется метод верхней релаксации и краевые условия Дирихле первого рода.

Широко известен в СССР алгоритм 14 (Юдин, 1981б, 1983). В нем строится итерационное решение разностной системы (метод Зейделя и верхней релаксации). Краевые условия Дирихле первого рода динамически корректируются в ходе итераций по методу Шварца. Результаты нормируются на модуль нормального поля. Вариант расчетов 14.1 получен в результате адаптации данного алгоритма на другой машине (ЕС ЭВМ).

Расчет 16 сделан по старой адаптации (Юдин, Казанцева, 1977) известной программы Джонса (Jones, Pascoe, 1971). Данная программа унаследовала многие недостатки своего прототипа и, несмотря на широкое распространение в СССР в семидесятые и ранние восьмидесятые годы, сейчас используется редко.

Алгоритм 18 (Шмукер, ФРГ) отличается применением интегральных краевых условий, что позволяет выбирать минимальной область моделирования, в нем строится прямое решение системы разностных уравнений на сетке с постоянным шагом.

Программа под номером 20 (Дмитриев, Барашков, 1979) разработана специально для случая Н-поляризации. Здесь разностные уравнения в задаче с условиями Дирихле первого рода решаются методом переменных направлений.

Трехмерные программы. Алгоритм 3 (Жданов, Спичак, 1980; Жданов и др., 1982; Спичак, 1983) в первую очередь характеризуется асимптотическими краевыми условиями в непроводящей атмосфере, семиточечной векторной разностной схемой и ее итерационным решением методом верхней релаксации. Он близок по структуре к двумерному разностному алгоритму 10 и в настоящее время реализован в виде достаточно мощного программного пакета.

Результат 4 получен по программе (Юдин, 1981б, 1983; Ваньян и др., 1984). В данном подходе, как и в двумерном алгоритме 14, строится простейшее итерационное решение, и в процессе итераций производится уточнение краевых условий Дирихле первого рода по методу Шварца.

Остановимся, наконец, на результатах 10 (Друскин, Книжнерман, 1987). Особенность проведенных расчетов заключается в построении решения для гармонического поля с помощью программы моделирования нестационарных полей во временной области. Рассматривается установившееся нестационарное решение при гармоническом возбуждении модели. Пространственная аппроксимация оператора нестационарного моделирования осуществляется методом конечных разностей. Векторное дифференциальное уравнение по времени аппроксимируется в заданном временном диапазоне методом Галеркина и решается с помощью схемы Ланцша.

2.3.3. Программы, основанные на методе конечных элементов

Двумерные программы. Данные программы представлены в проекте СОММЕМИ шестью участниками.

Канадская программа 23 (Kizak, Silvester, 1975; Kisak et al., 1977) разработана на основе стандартного пакета конечно-элементного моделирования общего назначения (Сильвестер, Феррари, 1986) и представляет собой ведущую программу, вызывающую отдельные стандартные модули: описания модели, триангуляции области моделирования, формирования и решения системы дискретных уравнений. Использованы треугольные элементы высокого порядка, имеющие хорошие аппроксимационные способности, и естественные краевые условия.

Напротив, американская программа 17 (Wannamaker et al., 1986, 1987) является узко специализированной для решения задач геоэлектрики и не использует стандартное матобеспечение метода конечных элементов. В ней применяются прямоугольные

элементы, аппроксимация ведется методом взвешенных невязок линейными функциями, постановка задачи включает учет токов смещения. Обеспечивается аккуратное вычисление разрывных пространственных производных решения системы линейных уравнений, а также анализ и учет топографических эффектов на границе Земли и атмосферы.

В алгоритме 15 (Юдин, 1981а, б, 1983) также реализуется схема с прямоугольными элементами, но аппроксимация ведется на основе вариационного принципа линейными базисными функциями по горизонтали и экспоненциальными по вертикали. Решение дискретной системы такое же, как и в разностном алгоритме 14. Вариант расчетов 15.1 получен в результате адаптации данного алгоритма на другой машине (ЕС ЭВМ).

В программе 5 из Финляндии (Kaikkonen, 1977, 1983) рассматриваются треугольные элементы с линейными базисными функциями, решение дискретной системы ведется методом исключения, используются краевые условия Дирихле первого рода.

Алгоритм 25 (Алексеев и др., 1986; Берсенев, 1988) также характерен выбором треугольных элементов с линейными базисными функциями, аппроксимация ведется методом Галеркина, а решение линейной системы - методом верхней релаксации.

Результаты участника 26 (Богданов, 1988) получены по программе, отличающейся от предыдущей лишь методами решения дискретной системы. Здесь используется классическая схема решения на сгущающихся сетках (прямой и обратный ход на четырех уровнях) с прямым решением на грубых сетках. Необходимые итерации делаются также методом верхней релаксации.

Конечно-элементные алгоритмы 15 и 17 структурно очень близки разностным алгоритмам 6, 12 и 14 соответственно.

Трехмерные программы. В трехмерном случае только алгоритм 5 (Юдин, 1981б; Ваньян и др., 1984) носит черты метода конечных элементов. В нем в качестве элементов выбраны прямоугольные призмы с линейными функциями по горизонтали и экспоненциальными по вертикали. Аппроксимация, как и в его двумерном аналоге 15, ведется вариационным методом. Краевые условия Дирихле первого рода корректируются в процессе решения дискретной системы методом верхней релаксации по методу Шварца так же, как в трехмерном разностном методе 4.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

3.1. Модельные расчеты

3.1.1. Участники сравнения

Всего для набора двумерных моделей было представлено двадцать семь результатов из десяти стран. В большей части это расчеты, произведенные авторами алгоритмов. В нескольких случаях были представлены расчеты, выполненные различными исследователями (в том числе и авторами собственных алгоритмов) по чужим программам. Лишь немногие авторы прислали расчеты для всего набора двумерных моделей, а большинство ограничились лишь отдельными расчетами.

Для удобства рассмотрения материала основные сведения об участниках сведены в табл. 2.1, в которой указаны:

номер участника, по которому в дальнейшем, для краткости, мы будем ссылаться на результат;

страна и организация, где выполнялись расчеты;

метод вычислений и символ, которым результат отмечен на диаграммах в приложении 2 (в скобках указан вид решения возникающей системы линейных уравнений);

автор программы и автор вычислений, если они не совпадают;

список моделей, для которых присланы результаты. Характеристика алгоритмов, заложенных в рассматриваемые программы моделирования, дана более подробно выше в п. 2.3.

Наиболее полно представлены участники из СССР и Канады. Весьма широк спектр подходов к решению задач моделирования. Пять алгоритмов основаны на методе интегральных уравнений, из них три - для произвольных моделей и две - в плечочном приближении. Шесть алгоритмов используют конечно-элементный подход. Наиболее массовым оказался метод конечных разностей - 15 результатов.

Все представленные результаты сведены в таблицы по компонентам. Таблицы содержат информацию о модели, периоде, уровне наблюдения, компоненте поля и координатах по профилю. Далее в них для каждого участника, приславшего результаты, приведены все полученные данные по этой выборке. Таблицы пронумерованы последовательно и приведены в приложении 1. Приложение 2 содержит графики и диаграммы наиболее интересных компонент поля.

3.1.2. Аналитическая модель 2Д-0

Модель 2Д-0 представляет собой слой, состоящий из трех блоков разной электропроводности, лежащих на поверхности абсолютного проводника (см. рис.2.1,а). Расчет поля в этой модели производился для одного периода ($T = 300$ с) на поверхности Земли и на глубине 15 км (табл.П1.1-П1.5). Наибольшие сложности при расчете возникают, на наш взгляд, при вычислении компонент поля над вертикальными границами областей с однородной электропроводностью и при дискретной аппроксимации абсолютного проводника в основании модели.

Результаты, часть из которых опубликована ранее, были присланы десятью участниками. Имеется одно аналитическое (квазианалитическое в случае ЕР) решение - (1), один алгоритм метода интегральных уравнений (аппроксимация толстым слоем) - (22), четыре конечно-элементных алгоритма - (17,23,25,26) и четыре конечно-разностных - (3,8,18,20). Три участника (20,25,26) используют итерационные методы решения систем линейных уравнений, остальные - прямые.

В случае Е-поляризации представлено 8 результатов, все с решением как для поверхности Земли, так и для уровня 15 км. Сравнительно небольшое число участников сравнения в данной модели определяется, по-видимому, двумя факторами: во-первых, модель была включена в набор дополнительно, значительно позже других, когда наиболее активные участники проекта свои результаты уже прислали; во-вторых, модель имеет различные геоэлектрические разрезы слева и справа и трудна для метода интегральных уравнений.

Рассмотрим конкретно представленные расчеты.

Компонента E_y по всем алгоритмам рассчитана без заметных отклонений от эталонного решения (1), что хорошо видно на графике в верхней части сводного рисунка (см., например, рис.П2.1). Штриховые линии на этом графике соединяют максимальные и минимальные значения в каждой точке сравнения. В различных точках минимальное и максимальное значения могут принадлежать разным решениям, но в среднем они неплохо диагностируют возможные грубые отклонения. Три сплошные линии определяют среднее значение E_y для всех участков и интервал в две невязки δ_1 (см. п.2.2.3) вокруг него. Они дают качественное представление о среднеквадратическом разбросе решений. Конкретную информацию о распределении различных решений можно найти на диаграмме в нижней части сводного рисунка. На нем символами, соответствие которых участникам можно найти в табл.2.3, изображены результаты для ряда точек сравнения. Здесь же приведено среднее значение и интервал в две невязки δ_1 . Рассмотрение нижнего графика позволяет определить, что часть данных (1,3,8 - символы А,С,Н) почти во всех точках лежат недалеко от среднего значения, а данные (23 - символ W)

регулярно ниже, хотя и на небольшую величину. Результат же расчетов по алгоритму (22 - символ V) непредсказуемо отскакивает от среднего (лежит где-то выше, а где-то ниже). Следует отметить, что значения, не попавшие в интервал $2\delta_0$, не изображаются на графике.

Полную информацию о поведении E_y можно получить из табл. П1.1. В ней приведены все присланные результаты (отдельно действительная и мнимая части). После результатов участников, для каждой точки напечатаны среднее значение и невязка δ_0 . При вычислении статистических характеристик полученных данных результаты, отличающиеся от среднего сильнее чем на $2\delta_0$, отбраковывались, после чего повторялся расчет статистик по ограниченной выборке. Таким образом, изменение δ_1 относительно δ_0 указывает на наличие сильных расхождений результатов.

Анализ таблиц позволяет заметить завышение значений мнимой части E_y в алгоритме 18 (табл. П1.1) в точках горизонтальных разрывов электропроводности, однако на диаграмме модуля E_y это почти не заметно.

Невязки компоненты E_y на уровне 15 км по абсолютной величине такие же, как и на поверхности, причем все алгоритмы дают близкие результаты, что свидетельствует об отсутствии значительных погрешностей в записи и аппроксимации краевых условий на нижней границе.

Магнитные компоненты поля в этой поляризации имеют больший разброс значений. Компонента H_x имеет невязки δ_0 , на порядок большие, чем у E_y . Даже после отбраковки резко отличающихся значений невязка остается большой. Иногда сразу три результата сильно уклоняются от эталонного решения и невязка δ_0 настолько велика, что неточные данные не отбраковываются даже при повторном счете статистик. Чаще всего грубые отклонения от эталона наблюдаются у алгоритмов 25, 26, реже у 23.

Разброс значений компоненты H_z имеет примерно такую же величину, как и для H_x , причем наиболее велик он в точках вертикальных границ электропроводности (рис. П2.2). В этих точках H_z имеет экстремумы, и их амплитуда зависит от метода дифференцирования сеточного решения и шагов сетки вокруг рассматриваемого узла. Большинство результатов закономерно лежат ниже аналитического решения (ближе или дальше в зависимости от качества численного дифференцирования), и лишь алгоритм метода интегральных уравнений 22 дает значения, превышающие аналитические. Кажущиеся сопротивления близки по всему профилю (см. рис. П2.3), за исключением его самой левой части.

В случае H -поляризации среди десяти результатов разброс значений E_x компоненты сравнительно мал (около 0,005). Заметное отклонение в левой части профиля дает алгоритм 23 (рис. П2.4). Наибольшие невязки приурочены к точке - 10 км (граница блоков). Заметные отклонения от эталонного решения возникают только в алгоритме 25. Поведение кажущегося

сопротивления лишь подчеркивает выявленные закономерности.

В целом по модели 2Д-0 можно сделать следующие заключения. Значительная часть алгоритмов (1, 3, 8, 17, 20) дает результаты во всех случаях очень близкие к эталонному решению 1. Алгоритмы 18 и 22 имеют в отдельных точках умеренные отклонения. Алгоритм 23 в Н-поляризации дает существенные отклонения, связанные с погрешностями вычисления H_y в Земле, вблизи левой границы области моделирования (по-видимому, из-за краевых условий). Алгоритмы 25 и 26 дают множественные отклонения от эталонного решения, что наиболее вероятно связано с дифференцированием дискретного решения.

3.1.3. Модели простых геоэлектрических структур

Модель 2Д-1. Эта модель имеет самую простую геометрическую форму - содержит симметричную прямоугольную вставку в однородном полупространстве (см. рис. 2.1, б). Расчеты по этой модели проводились на двух периодах - $T=0,1$ и 10 с на поверхности Земли и на двух уровнях, пересекающих вставку. Результаты получены от двадцати участников, из них на глубинных уровнях представлено семь расчетов. Три алгоритма основаны на методе интегральных уравнений - (9, 19, 22), пять используют конечные элементы - (15, 17, 23, 25, 26), и двенадцать - конечно-разностные - (2, 3, 6, 8, 10-14, 18, 20, 27). Из двадцати представленных алгоритмов в семи применяются итерационные методы решения линейных систем, в остальных - методы исключения.

Интересно отметить, что невязки δ_1 , после отбраковки сильно отличающихся результатов уменьшаются незначительно (табл. П1.6), что объясняется большим числом участников.

В случае Е-поляризованного поля на периоде $T = 0,1$ с компонента E_y имеет невязку δ_0 в пределах 0,022, заметные отклонения от среднего результата имеют участники 10, 18 и 24. Алгоритм 10 использует итерационное решение, и заниженная аномалия объясняется недостаточным числом итераций и грубой сеткой. Аналогичный эффект в алгоритме 24 связан, вероятно, с грубой аппроксимацией аномального тела (4×6 элементов). В этом случае скин-толщина оказывается меньше, чем размер ячейки во вставке. На более длинном периоде совпадение результатов расчетов по этому алгоритму с другими участниками заметно лучше.

В результатах, представленных участником 18, аномалия H_y завышена, и это связано, вероятно, с сильным влиянием боковой границы, на которой используются интегральные краевые условия.

Невязки H_x в среднем вдвое больше. Алгоритмы 14 и 15 имеют нестандартную нормировку поля на амплитуду соответствующего нормального поля, поэтому сравнивать их удается только по кажущимся сопротивлениям. Участники 25 и 26, как и в модели 2Д-0, дают значительные погрешности.

Расхождения в H_z ниже и невязка δ , не превышает 0,03.

В случае Н-поляризации отклонения от среднего многочисленны и отбраковываются лишь наиболее резкие отскоки (рис.П2.5, табл.П1.7). Над центром вставки к ним относятся результаты 6, 15, 18 и 26.

В случае Е-поляризации кажущиеся сопротивления определяются с большим разбросом. Над вставкой наименьшие значения кажущегося сопротивления у алгоритмов 14 и 18, а наибольшие у 10 и 24.

На периоде $T = 10$ с картина заметно изменяется. Поле проникает во вставку, становится более плавным вдоль профиля, и соответственно меняется механизм возникновения погрешностей. В случае Е-поляризации наибольшие отклонения в поле E_y наблюдаются у алгоритмов с итерационным решением систем (10, 13, 15, 25, 26) (табл.П1.9). Однако, само по себе, итерационное решение не является причиной ошибок. Достаточно долго продолжающийся итерационный процесс (14) или использование специальных методов (11 и 27) обеспечивают результаты, неотличимые от получаемых прямыми методами исключения.

Магнитные компоненты поля в основном несут в себе погрешности, унаследованные от сеточного решения. Наибольшие отклонения здесь также отмечаются у алгоритмов с итерационным решением (см. табл.П1.9). В кажущихся сопротивлениях погрешности, заметные в компонентах поля, несколько сглаживаются, однако ряд результатов отклоняется от средних значений достаточно сильно (14, 15, 25, 26) (табл.П1.11).

Н-поляризованное поле доставило участникам в модели 2Д-1 в целом меньше хлопот. Различия и в компоненте E_x (табл.П1.10), и в кажущихся сопротивлениях (табл.П1.11) невелики.

Наибольшее число погрешностей в этой модели возникало у алгоритмов с итерационным решением систем линейных уравнений. Отсутствие четких критериев остановки итерационного процесса в методах Зейделя, верхней релаксации и им подобных, а также трудность априорного задания достаточного для требуемой точности числа итераций, часто приводит к заниженным значениям аномальных эффектов в модели. В ряде случаев, особенно на коротком периоде, возникали погрешности из-за недостаточно аккуратной аппроксимации верхней части модели.

Различия результатов, полученных для глубинных уровней, намного больше, чем на поверхности, а число их колеблется от восьми до трех, поэтому опираться на получаемые статистические оценки можно лишь условно. Эти результаты представлены в табл.П1.12-П1.15.

Модель 2Д-2. В этой модели (см. рис.2.2,а) представлены расчеты 16 участников. Среди них: четыре алгоритма, использующие метод интегральных уравнений (19, 21, 22, 24), три - метод конечных элементов (15, 25, 26), девять - конечные разности (3, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 18, 20). В восьми из этих

алгоритмов использовались итерационные методы решения. Моделирование велось для двух периодов: $T = 10$ и 1000 с. Для периода $T = 10$ с при Е-поляризации невязки δ_0 и δ_1 , компоненты E_y выше, чём в предыдущих моделях, - около $0,02$ - $0,03$ (табл.П1.16). Причем получить достаточно точное представление о среднем решении трудно - результаты не имеют плотных групп. В то же время лишь отдельные алгоритмы в ограниченном числе точек выходят за доверительный интервал в $2\delta_0$. Магнитные компоненты поля на этом периоде невелики по амплитуде, поэтому небольшая по абсолютной величине невязка не отражает существенных расхождений результатов. Кажущиеся сопротивления представлены более полным составом участников (добавились алгоритмы 5 и 7, а также участники 14, 15, 16, не включенные в сопоставление магнитных компонент из-за нестандартной нормировки) (табл.П1.17), и в них результаты также довольно равномерно распределены в пределах доверительной полосы.

В случае Н-поляризации аномальные поля малы и невязка в них достигает 25% от максимальной аномалии, а вот кажущиеся сопротивления, наоборот, совпадают вполне хорошо, хотя числа результатов невелико - только восемь (табл.П1.17). На периоде $T = 1000$ с в решении приняли участие также исследователи, использующие алгоритмы, основанные на пленочной аппроксимации верхней горизонтально неоднородной части разреза. Большинство таких алгоритмов дают очень близкие значения E_y , заметно отличается лишь алгоритм 21 - из-за грубой аппроксимации тонкой пленкой он существенно завышает аномалию электрического поля. Еще одна группа участников (16, 25, 26) имеет заниженное значение аномального поля (табл.П1.18). Магнитные компоненты поля характеризуются значительными невязками, достигающими 0,14. Здесь также наиболее отличается пленочный алгоритм 21, а еще ряд алгоритмов дает завышенное значение H_x и H_z (13, 25, 26). При расчете кажущихся сопротивлений ошибки нивелируются и невязки невелики (табл.П1.20). Если рассматривать диаграмму (рис.П2.9), то заметно, что часть алгоритмов в большинстве точек по профилю образует плотную группу (символы С, F, I, K, L, H - участники 3, 6, 8, 9, 11, 12). Остальные алгоритмы дают отличающиеся результаты, многие из них во всех точках закономерно лежат ниже.

В случае Н-поляризации разброс значений очень велик из-за алгоритма 21 (рис.П2.10). Кривые, описывающие максимальное и минимальное значения, очень сильно отличаются от средних и намного превышают невязку. В кажущихся сопротивлениях картина в целом сохраняется.

Наибольшие отличия в этой модели возникают у некоторых алгоритмов с итерационным решением. Влияние аппроксимации тонких высококонтрастных слоев на результат выделить из остальных погрешностей не удается.

Модель 2Д-3. Данная модель (см. рис.2.2,б) представлена

двуумя вариантами А и В. В первом электропроводности поверхности слоя слева и справа равны, во втором - отличаются. Расчеты велись на периодах $T = 100$ и 1000 с. Получено семнадцать результатов, из которых методом интегральных уравнений - три результата ($19, 21, 22$), методом конечных элементов - четыре результата ($15, 17, 25, 26$) и методом конечных разностей - десять результатов ($2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 16, 18$).

Эта модель является одной из наиболее показательных для сравнения. Рассмотрим по порядку оба варианта модели. В первом варианте в случае Е-поляризации на периоде $T = 100$ с невязки компоненты E_y не превышают $0,01$ (приблизительно 2% от нормалии) (табл.П1.21). Магнитная компонента H_x имеет невязку того же порядка, лишь в отдельных точках (-25, -20, -15 км) невязка растет. Компонента H_z имеет большие невязки, причем заметнее всего это в точках -20 и 0 км, где находятся вертикальные границы областей различной электропроводности. Над такой границей H_z компонента имеет экстремум, и его величина тем больше, чем значительнее контраст электропроводностей. Очевидно, что точность вычисления H_z тем выше, чем меньше горизонтальные шаги сетки вблизи границы. Для количественной оценки влияния шага на величину H_z в табл.П1.21 приведены результаты алгоритма 8 для двух величин шага (рис.П2.11): вариант 8.4 с величиной шага на контакте 2 км и вариант 8.5 с шагом 0,15 км. Мы видим, что с уменьшением шага значения H_z стремятся к результату, представленному участниками 2 и 3, в алгоритме которых заложен метод дифференцирования, более аккуратно учитывающий различие сопротивлений слева и справа от точки расчета. В этой ситуации статистические характеристики указывают лишь на места наибольшего расхождения результатов, однако помочь найти правильные значения не могут из-за явно несимметричного распределения данных.

Значения кажущихся сопротивлений получаются со сравнительно небольшими невязками (табл.П1.24), так что выделить кого-либо из участников не представляется возможным (рис.П2.12).

Не менее интересна модель и в случае Н-поляризации. При обсуждении модели 2Д-0 мы касались вопроса о вычислении поля E_y непосредственно над вертикальными контактами, где данная компонента терпит разрыв. В той теоретической модели все участники использовали односторонние производные. В модели 2Д-3 вариантов больше: некоторые участники представляли обе односторонние производные, некоторые - одну из них (с одной определенной стороны или максимальную из двух) (рис.П2.13). Остальные вычисляли производную над контактом так же, как и в обычных точках, получая осредненный результат. В табл.П1.22 представлены значения E_x в большинстве точек сравнения. Наибольшие невязки наблюдаются над контактами (рис.П2.14). В

табл.П1.23 специально сведены все значения E_x над контактами (как односторонние, так и обычные). Кажущиеся сопротивления в этой поляризации также хорошо совпадают (табл.П1.24), причем они рассчитаны большим числом участников проекта.

На более длинном периоде число результатов растет за счет появления пленочных решений. Кажущиеся сопротивления в Е-поляризации близки по всему профилю, отличия есть лишь у участников 21 и 26 (табл.П1.26). В случае Н-поляризации заметно отличаются участники 13, 16, 21 и 26.

Во втором варианте - модели 2Д-ЗВ сопротивление правого блока поверхностного слоя равно 1000 Ом. Число участников здесь меньше, чем в модели 2Д-ЗА, - только девять. Однако результаты характеризуются очень высоким качеством, отдельные отклонения дают только алгоритмы 21 и в ряде случаев - 25, 26.

На периоде $T = 100$ с хорошее совпадение результатов имеет место для компонент E_y и H_x (табл.П1.27), где у пяти алгоритмов (3, 8, 17, 18, 22) отличия не превышают 0,02 и только результаты 25 и 26 имеют более значительные отклонения. В компоненте H_z расхождения, как и в варианте А, наиболее значительны над контактом. Кажущиеся сопротивления тоже близки между собой (рис.П2.15). В случае Н-поляризации совпадение результатов также хорошее (рис.П2.16).

На периоде $T = 1000$ с общие тенденции сохраняются с тем отличием, что алгоритм 27 вносит свой вклад в увеличение невязки. Результаты приведены в табл.П1.31, П1.32.

Рассмотренная модель дает большую информацию о методах дифференцирования сеточного решения. В случае Е-поляризованного поля становится очевидной зависимость точности вычислений магнитных компонент от разбиения сетки у поверхности Земли. Для H_x компоненты основные погрешности возникают из-за нелинейного поведения электрического поля в проводнике вследствие экспоненциального затухания. Этот эффект наиболее заметен на коротких периодах и подтверждается уменьшением невязки H_x на более длинных периодах сравнительно с E_y . Основной метод борьбы с погрешностями - уменьшение вертикальных шагов сетки у поверхности и использование процедур дифференцирования, учитывающих экспоненциальное поведение поля. Для H_z компоненты наибольшее значение имеет величина горизонтальных шагов сетки возле вертикальных геоэлектрических границ. Расхождения в этих точках очень велики, а методы борьбы с погрешностями - те же: построение подробных сеток и использование специализированных методов расчета, принимающих во внимание изменения электропроводности на границе.

В случае Н-поляризации вертикальные геоэлектрические границы оказывают еще более сильное влияние. Наименее точные центральные производные в этих точках, так как они дают осредненный результат, и это осреднение зависит от схемы построения разностных коэффициентов (и значит осреднение

электропроводностей) и разбиения сетки. При взятии односторонних производных целесообразно рассчитывать обе производные или максимальную из двух, так как при больших контрастах электропроводности меньшая производная может иметь значительные погрешности.

При рассмотрении этой модели наиболее здраво возникает проблема оценки статистических характеристик. Во-первых, в H_z компоненте мы сталкиваемся с несимметричным распределением результатов, так как все погрешности имеют один знак. Статистические оценки δ здесь сильно искажены и лишь качественно помогают оценить величину разброса, поскольку истинное решение заведомо смещено от среднего. Эти искажения усугубляются наличием нескольких алгоритмов с сильно различающимися результатами (21, 25, 26). Невязка δ_0 получается столь велика, что отбраковываются не все плохие результаты и окончательная невязка δ_1 не отражает истинной точности моделирования.

В этой ситуации можно выделить ряд алгоритмов, результаты которых совпадают с очень высокой точностью, причем большинство из них имеет столь же хорошее совпадение с аналитическим решением в модели 2Д-0. Как правило, это алгоритмы с прямым решением систем (3, 6, 8, 11, 12, 17, 22). Их хорошее соответствие между собой позволяет выделять наиболее вероятное решение даже в моделях, статистически непредставительных или имеющих до половины сильно отличающихся результатов.

3.1.4. Модели сложных геоэлектрических структур

Прежде чем приступить к сравнению результатов моделирования для сложных моделей геоэлектрических структур, необходимо кратко обсудить набор поступивших расчетов. В модели 2Д-4 поступило шестнадцать наборов расчетов (табл. 2.1). Из них двенадцать получены по конечно-разностным программам, три результата рассчитаны методом конечных элементов и один - методом интегральных уравнений в модели толстого неоднородного слоя. В семи случаях системы линейных уравнений решались прямыми методами, в остальных итерационными. Для модели 2Д-5 прислано всего девять наборов расчетов, из них семь - по методу конечных разностей и два по методу конечных элементов. В семи случаях использованы прямые методы решения систем линейных уравнений.

Таким образом видно, что для моделей сложных геоэлектрических структур (особенно для модели 2Д-5) поступило меньше расчетов, чем для первых более простых моделей (2Д-0 - 2Д-3). Это закономерно и объясняется, по-видимому, сложностью аппроксимации этих моделей. Следует также отметить, что далеко не все участники проекта прислали полные наборы расчетов: некоторые ограничились одной из поляризаций, другие дали

расчеты для неполного набора требуемых периодов и точек по профилю. Ряд расчетов выпадает из анализа вследствие несогласованной с требованиями проекта формы представления результатов (например, магнитные поля у участников проекта 14, 16 представлены в нестандартной нормировке). Небольшое количество присланных результатов несколько затрудняет их анализ, однако большая доля конечно-разностных расчетов с прямым методом решения системы линейных уравнений, которые хорошо себя зарекомендовали на простых моделях, позволяет провести достоверный анализ. Результаты расчетов в данных моделях представлены в табл. П1.33-П1.41 и на рис. П2.17-П2.20.

При расчете двух последних двумерных моделей появляются специфические проблемы, порождающие в результатах дополнительные ошибки, не характерные для простых моделей. Основной проблемой можно назвать сложность дискретного представления геоэлектрической структуры. Уже в модели 2Д-4 (см. рис. 2.3), которая является относительно простой, ошибки описания геометрии геоэлектрической структуры (особенно наклонных границ) проявляются в достаточной мере и накладываются на погрешности, объясняемые другими причинами. Чтобы описать сложную модель, исследователь вынужден применять сетки большой размерности, что зачастую не соответствует возможностям его вычислительных средств. В связи с этим приходится упрощать модель или сокращать область моделирования. И то, и другое ведет к росту погрешностей моделирования. При итерационном решении систем линейных уравнений резко снижается скорость сходимости итераций и возрастает время на одну итерацию, поэтому достижение точного решения чрезвычайно затруднительно и требует большого опыта вычислителя.

Модель 2Д-4. Рассмотрим расхождения, присутствующие в результатах расчетов по модели 2Д-4. Моделирование производилось для двух поляризаций на периодах $T = 1, 9, 100$ с. Наилучшее совпадение достигается в Е-поляризации для первичного поля E_y на периоде $T = 1$ с (невязка 1-2%). При увеличении периода до 100 с невязка E_y увеличивается до 5-6%. В случае вторичных полей эта величина достигает 5-10%, а в ряде точек для H_z и E_x и более того. Невязка при определении кажущегося сопротивления находится в пределах 10%, причем в Н-поляризации значительно больше, чем в Е-поляризации. Следует заметить, что ошибки проявляются наиболее сильно в зоне вертикального контакта при $x = -6$ км (особенно для Н-поляризации на периоде $T = 9$ с) и в зоне наклонной границы $x = 2-5$ км. Первое связано с резким изменением электрического поля при переходе через границу, разделяющую сильно различающиеся по электропроводности области (на периоде $T = 9$ с влияние этой границы на поверхности Земли наиболее заметно). Второе связано с различной аппроксимацией наклонной границы разными исследователями. Значительные ошибки часто возникают на краях области моделирования, что

объясняется в первую очередь неточными граничными условиями. Перейдем к конкретному разбору результатов, полученных по различным программам. Практически во всех наборах расчетов хорошее совпадение дали программы 3, 4, 6, 8, 11, 12, 22, 14(КР). Эти результаты были взяты за основу сравнения. Результаты 13, 18, 20 лишь в некоторых случаях давали большую погрешность, остальные же результаты во многих случаях сильно отличались от основной массы. Наиболее значительные погрешности присутствуют в расчетах по программе 26. Характер распределения погрешностей этой программы (значительное систематическое отклонение на всем профиле, включая края области моделирования и приближение к основным результатам в точках перегиба) свидетельствует о наличии двух основных причин ошибок. Первая причина, дающая значительные ошибки на краях области моделирования и характерная для конечно-элементных алгоритмов, заключается в использовании неточных граничных условий. Вторая - явно недостаточное количество итераций при решении системы линейных уравнений. По-видимому, применение здесь методики решения на последовательности сеток со значительным сокращением числа итерации на начальной грубой сетке не дает достаточного эффекта.

Характерным недостатком для программ 25, 26 являются явные погрешности при расчете вторичных полей в некоторых точках профиля (одинаковые значения в соседних точках), что, по всей вероятности, свидетельствует о слишком грубой линейной аппроксимации на крупных элементах.

Значительные ошибки, обусловленные недостаточным количеством итераций, присущи также результатам 10, 14.1(КЭ), 16, 25, в меньшей степени - 13, 20. О неточных граничных условиях свидетельствуют расхождения вблизи границ области моделирования в результатах 14.1, 25. Особенно отчетливо ошибки в аппроксимации геоэлектрической структуры заметны в конечно-разностных результатах участника 18. Классифицировать эти ошибки позволяет то, что они в основном проявляются в районе вертикального и наклонного контактов на фоне очень незначительных ошибок другого происхождения. Можно также предположить, что при применении программы 18 не всегда достаточно далеко удалялся правый край области моделирования и граничные условия оказывались не точными. Следует еще упомянуть о том, что в программе 11 часто случайным образом изменяются знаки при расчете поля H_z (значения в таблицах исправлены). В то же время это единственная из упомянутых итерационных программ, в результатах которой ошибка из-за недостаточного количества итераций не встречается.

Таким образом, анализ расчетов по модели 2Д-4 позволил выявить и классифицировать наиболее распространенные ошибки в результатах и построить достаточно узкую полосу "наилучшего совпадения" для всех наборов расчетов.

Модель 2Д-5. В данной модели (см. рис. 2.4) влияние сложности геоэлектрического разреза на точность результатов проявляется еще в большей степени. Как правило, невязка по сравнению с моделью 2Д-4 увеличивается на 1-3%, а в некоторых характерных точках, например $x = -50$ км, может достигать значительных величин. В качестве эталона принятые результаты расчетов по программам 3, 6, 8, 11, 17, которые практически всегда принимают близкие значения. Программа 12 в некоторых случаях дает незначительные погрешности, хуже выглядят результаты, полученные по программам 4, 18, 25. Как уже упоминалось, различия в аппроксимации модели особенно явно проявляются в таких точках, как $x = -50$ км для случая Н-поляризации. В области этой точки находится приповерхностная вставка с большим контрастом электропроводности и очень малых размеров. Неудивительно поэтому сильное расхождение значений поля E_x в окрестности этой точки, рассчитанных разными исследователями. Самые большие отклонения в этой точке у результатов 4, 18. По всей вероятности основные отклонения по программам 4, 12, 18 объясняются именно неточностями в аппроксимации модели, что в свою очередь является следствием недостаточной размерности сетки. В ошибочности результатов 25 основную роль, как и в модели 2Д-4, играют неточные краевые условия и недостаточное количество итераций. В целом результаты расчетов по модели 2Д-5 можно считать удовлетворительными и позволяющими получить эталонные кривые для тестирования программ моделирования.

Подводя итоги анализа расчетов по сложным моделям, следует заметить, что качество результатов оказалось намного лучше, чем можно было ожидать. Это можно объяснить двумя причинами: во-первых, в сравнении участвовали в основном наиболее эффективные программы с более точными прямыми методами решения системы линейных уравнений и, во-вторых, исследователи внимательней отнеслись к решению задачи аппроксимации моделей и попытались наиболее эффективно использовать возможности своей вычислительной техники.

3.2. Анализ результатов

3.2.1. Типичные расхождения результатов и их причины

За исключением случайных ошибок, которые объясняются различными причинами (ошибки ввода-вывода информации, сбои при решении задач, мелкие ошибки в программах и т.д.) все погрешности можно разделить на три основные группы: 1) приближения при постановке задачи моделирования, 2) погрешности, возникающие при переходе к дискретной задаче, и, наконец, 3) ошибки решения дискретной задачи.

Случайные ошибки не поддаются систематизации и в данной работе обсуждаться на будут.

Погрешности первой группы возникают из-за определенных допущений и упрощений в постановке задачи. Один из примеров алгоритм 21, в котором проводящая среда аппроксимируется тонкой пленкой. Одно из наиболее распространенных допущений в методах дифференциальных уравнений - определение краевых условий. Как правило, в качестве краевого условия используется решение для соответствующего одномерного разреза или равенство нулю нормальной производной на боковых границах. Очевидно, что точное выполнение таких условий возможно лишь при бесконечном удалении боковых границ области моделирования. Следствием неточного задания граничных условий может явиться значительное отклонение результата расчетов от истинного решения.

Во второй группе погрешности возникают из-за грубого разбиения области решения на дискретные элементы. Здесь действуют сразу несколько механизмов:

аппроксимация неоднородностей. Слишком малое число используемых элементов занижает аномалии поля. В простых моделях в результате оказывается существенным слишком грубое разбиение даже лишь только граничного ряда элементов (ячеек) аномальной области;

наличие сильно вытянутых элементов. Такие элементы возникают обычно на краях области моделирования. Для более точного выполнения краевых условий границу области моделирования приходится относить на значительное расстояние от неоднородностей, что достигается обычно прогрессивным увеличением шага. Тогда прямоугольные ячейки на уровне неоднородностей становятся очень вытянутыми. При этом коэффициенты системы линейных уравнений пропорциональны квадратам размера сторон ячеек. Следовательно, из-за вытянутости ячеек сильно ухудшается обусловленность матрицы системы линейных уравнений. При итерационных методах решения аномалия поля как бы не распространяется через короткие стороны ячеек;

дифференцирование сеточного решения. Грубое разбиение сетки вблизи поверхности Земли приводит к значительным погрешностям при вычислении производных. Причем, если точность горизонтальных производных практически зависит только от шага сетки, то вертикальные производные чувствительны также и к электропроводности приповерхностного слоя. Для высокопроводящих приповерхностных структур требуется более аккуратное разбиение;

аппроксимация наклонных границ. В сложных моделях при разбиении прямоугольными ячейками наклонные границы электропроводности вносят значительные погрешности в аппроксимацию модели.

Необходимо отметить, что практически все эти проблемы возникают и при разбиении области на треугольные элементы.

Ошибки третьей группы в основном возникают из-за применения итерационных методов решения. Большинство методов итерацион-

ного решения систем, применяемых в геоэлектрике, не имеют достаточно надежных критериев остановки, а количество итераций обычно ограничено некоторыми технологическими и экономическими пределами. В связи с этим многие алгоритмы (10, 13, 15, 25, 26) в сложных ситуациях не доводят итерационный процесс до конца и в качестве конечного результата дают неустановившееся решение. Наиболее перспективным представляется использование более сложных итерационных схем (27), переход к организации итераций на последовательности сеток (11, 25, 26) или использование методов исключения.

В целом чаще всего ошибки моделирования возникают из-за ранней остановки итерационного процесса, вторая по величине группа ошибок обусловлена неудачной аппроксимацией области решения дискретными элементами. Остальные ошибки занимают значительно меньший объем по сравнению с этими двумя группами.

Целый ряд алгоритмов, основанных на разных подходах и методах решения систем, дают во всех моделях хорошее совпадение (3, 6, 8, 11, 12, 17, 22) и, по всей видимости, определяют истинное решение независимо от совпадения со среднестатистическим значением. Сам набор этих алгоритмов свидетельствует, что все подходы хороши, если они качественно реализованы и используются квалифицированными специалистами. Следующий шаг исследования программ - это проверка их эффективности и работоспособности в руках исследователей, не имеющих большого опыта моделирования. На этом этапе будут проверяться и состязаться не только сами программы, но и методическая документация по их применению.

В завершение отметим, что алгоритмы 25, 26 из-за погрешностей в реализации дают результаты значительно хуже ожидаемых. Также и алгоритм 21 имеет чисто познавательное значение, так как использование тонких пленок приводит к утрированию аномалий поля. В то же время алгоритм 22, использующий модели приповерхностного неоднородного слоя конечной толщины, дает результаты, удивительно хорошо совпадающие с коллекцией лучших расчетов, полученных более строгими и универсальными методами.

3.2.2. Основные проблемы двумерного моделирования

Среди проблем двумерного моделирования следует выделить две основные проблемы - это отсутствие четких критериев для оценки точности моделирования и большое количество не связанных между собой разнородных программ моделирования, созданных разными исследователями.

Как известно, в силу некоторых исторических и экономических причин во многих научных и производственных центрах мира были независимо созданы несколько десятков различных программ геоэлектрического моделирования. Только в СССР таких программ существует более десяти. Отсутствие в большинстве моделей

аналитических решений и других критериев оценки точности результатов привело к тому, что каждый исследователь считал свое, часто отличное от других, решение правильным. В результате реализации проекта был получен набор различных (в том числе для достаточно сложных моделей) эталонных тестовых результатов, который позволяет отлаживать существующие и новые программы электромагнитного моделирования и определять их эффективность. Ряд недостатков существующих программ был выявлен уже в ходе выполнения нашего проекта. Однако последнее слово здесь за авторами конкретных алгоритмов и программ, получившими богатый материал для анализа.

Перейдем теперь к менее существенным проблемам двумерного моделирования. Одна из них порождена несовершенством имеющейся вычислительной техники. Не во всех исследовательских центрах быстродействие и объем памяти компьютеров позволяют рассчитывать достаточно сложные модели. Приходится идти на упрощения модели, что порождает в некоторых случаях значительные погрешности. Одним из выходов здесь может служить создание центров обработки с мощной вычислительной техникой.

Следующая проблема - ненадежные результаты программ с итерационными схемами решения. Погрешности возникают из-за преждевременной остановки итерационного процесса. Массовым потребителям на данном этапе, вероятно, проще отказаться от итерационных схем решения в пользу прямых, чем искать надежный критерий остановки итерационного процесса.

Необходимо отметить также проблему определения наиболее точных граничных условий. Как видно из изложенного, неточные граничные условия могут явиться причиной значительных погрешностей. Поскольку в задачах геоэлектрического моделирования простейшие граничные условия почти всегда неприменимы, исследователю приходится использовать более сложные условия (асимптотические, интегральные и др.). При создании программ моделирования необходимо уделять этому вопросу повышенное внимание.

Часто даже при использовании одной и той же программы разные исследователи получают разные результаты. Это обычно объясняется уровнем квалификации пользователей программ, тщательностью построения дискретной модели и выбора режимов и параметров численного расчета модели.

В заключение следует заметить, что выделенные проблемы двумерного моделирования можно наиболее эффективно решить только при тесном сотрудничестве ведущих разработчиков программ моделирования.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

4.1. Модельные расчеты

4.1.1. Участники сравнения

Набор результатов для трехмерных моделей значительно уже, чем для двумерных, хотя общее число участников трехмерных расчетов, представленных в табл. 2.2, всего в два раза с небольшим меньше числа участников двумерных расчетов. В рамках проекта сравнения была предложена весьма ограниченная программа тестирования (п. 2.2), поскольку трехмерное моделирование все еще связано с большими вычислительными затратами. Тем не менее практически никто из участников не смог выполнить всей программы, а многие участники представили лишь единичные результаты.

В итоге оказалось возможным провести достаточно представительное сопоставление различных методов и алгоритмов моделирования и сделать сколь-нибудь статистически обоснованные выводы только в рамках первой, самой простой модели ЗД-1. Наибольшее число результатов здесь предложено советскими и чехословацкими учеными. Анализ тестовых расчетов в более сложной модели ЗД-1 отложен из-за недостаточности и противоречивости материала.

В совокупности методов, привлеченных участниками сравнения (см. табл. 2.2), выделяется класс алгоритмов, построенных на базе метода интегральных уравнений (см. п. 1.2). Алгоритмы данного класса использованы в модели ЗД-1 шестью участниками. В их числе четыре алгоритма, реализующих метод объемных (векторных) интегральных уравнений для переменного электромагнитного поля. Это алгоритмы 1, 6, 7 и 9 (здесь и далее, по аналогии с главой 3, при ссылке на результаты участников и их алгоритмы и программы указывается номер участника в табл. 2.2), весьма сходные по своей структуре. Особенno близки два первых алгоритма, использующие равномерную по каждому направлению дискретизацию моделируемой геоэлектрической неоднородности. Алгоритм 7 отличается от них, в основном, лишь применением существенно неравномерных схем дискретизации (см. п. 1.2.1). Во всех трех алгоритмах (1, 6 и 7) используется прямое решение возникающей системы линейных уравнений, в четвертом же (9) применяется метод итераций. Еще два алгоритма (2 и 11) реализуют метод поверхностных интегральных уравнений для стационарной модели электромагнитного поля (см. п. 1.2.2). Отметим здесь, что еще шире спектр приложений метода интегральных уравнений в модели ЗД-2, где участниками 8 и 12–14 использованы различные пленоочные модификации данного метода. В большинстве расчетов методом интегральных уравнений учитывалась симметрия модели ЗД-1.

Результаты расчетов с помощью алгоритмов, относимых к классу

с методов дифференциальных уравнений, доминировавших в двумерной части проекта СОММЕМІ, предложены только четырьмя участниками. Тем не менее они демонстрируют весьма широкий диапазон подходов. Например, существенно различаются разностные схемы, предложенные участниками 3-5. Еще более специфичен и трудно сопоставим с предыдущими алгоритм 10, также имеющий разностную основу.

Сводка трехмерных результатов в модели ЗД-1, поступивших к нам до 1 июня 1989 г., представлена в приложениях 3 (табл. П3.1-П3.24) и 4 (рис. П4.1-П4.10). Структура итоговых таблиц и рисунков близка к структуре иллюстративного материала, использованного в главе 3. Расчеты в трехмерных моделях также представлены для двух поляризаций поля, однако в отличие от двумерного случая сопоставляется большее число компонент поля вдоль двух осей координат (см. п.2.2). Напомним, что номер участника в таблицах результатов совпадает с его номером в списке участников. В том случае, когда участником представлены несколько дополнительных вариантов расчетов, полученных с помощью одного и того же алгоритма, номер дополнительного варианта указывается после номера участника через точку (например 1.2). Символьный индекс на рисунках в приложении 4 связан с номером участника таблицей соответствия (см. табл. 2.3).

4.1.2. Модель ЗД-1 (вариант А)

Данная модель представляет собой призматическую проводящую вставку в однородном полупространстве (см. рис. 2.5а) и описана в п.2.2. Ее сечение в плоскости ХОZ совпадает с двумерной моделью 2Д-1, исследованной в п.3.1.3. Расчеты для этой модели требовалось провести на поверхности Земли вдоль координатных осей для двух периодов ($T = 0,1$ и 10с) и двух вариантов геоэлектрической структуры, отличающихся протяженностью вставки по оси ОУ (рис. 2.2). Модель при всей простоте своей структуры характеризуется высоким контрастом электропроводности ($\sigma_1/\sigma^n=200$) и близостью неоднородности к поверхности наблюдения, что в значительной степени затрудняет проведение численных расчетов.

Рассмотрим первый вариант - модель ЗД-1А с изометричной формой вставки ($l_y=1$) и размерами $1\times 2 \times 2$ км. Напомним, что в соответствии с оценками, проведенными в п.3.1.3, для короткого периода $T = 0,1$ с скин-толщина во много раз меньше размера вставки, т.е. имеет место значительный скин-эффект, порождающий существенную неоднородность электромагнитного поля в области вставки. Для длинного периода $T = 10$ с скин-эффект мал, поле меняется достаточно плавно, в нем доминирует гальваническая мода, аномальные магнитные поля становятся

пренебрежимо малыми, а электрические поля теряют частотную зависимость и приближаются к предельному решению для стационарного поля ($\omega=0$).

Таким образом, результаты тестовых расчетов для периода $T = 0,1$ с информативны для анализа качества применимых схем аппроксимации в случае интенсивно затухающего электромагнитного поля. Результаты для периода $T = 10$ с в первую очередь свидетельствуют о способности различных алгоритмов правильно учитывать стационарную составляющую решения, а для алгоритмов метода дифференциальных уравнений – правильно выбирать размеры области моделирования и вид краевых операторов на ее границе.

Для периода $T = 0,1$ с число различных расчетов изменяется от 5 до 10 (табл.П3.1-П3.4, П3.9, П3.10 и рис.П4.1-П4.5), в каждой таблице указаны средние значения и стандартные невязки результатов δ_0, δ_1 (см. п.2.1.2), на рисунках также проведены итоговые средние линии и показаны полосы наилучшего соответствия (ширина $2\delta_1$) и максимального разброса. Наиболее полное сопоставление можно провести для электрических полей и кажущихся сопротивлений. Наилучшее совпадение результатов отмечается в ЕУ-поляризации ($E=(0, E_y, 0)$) для поля E_y (см. табл.П3.2, рис.П4.3). Здесь результаты 8 участников (1, 3-7, 9, 10) укладываются в полосу с невязкой δ_1 , не превышающей величины 0,03-0,04. Хорошее совпадение по всем компонентам демонстрируют алгоритмы метода интегральных уравнений (1, 6, 7, 9). Результаты 1.1 и 6, полученные близкими алгоритмами при одинаковой дискретизации вставки (с равномерным по всем направлениям шагом 0,250 км и размерностью $4 \times 8 \times 8 = 256$) практически совпадают. Результат 1 отличается от варианта 1.1 вдвое более подробной дискретизацией по вертикали, вертикальный шаг разбиения 0,125 км при этом становится сравнимым со скрин-толщиной. Это позволяет уточнить значения компонент электромагнитного поля в области над вставкой на величину порядка 0,02-0,05. Размерность дискретизации неоднородности в решении 9 составляет $8 \times 16 \times 10 = 1280$ и является максимальной по сравнению с другими решениями. Постоянные шаги разбиения по каждому направлению здесь соответственно равны 0,125; 0,125 и 0,1 км. Решение 7 получено при достаточно подробной неоднородной дискретизации неоднородности с общим числом элементов 216 и минимальным шагом 0,125 по каждому направлению. Ранние, несколько более грубые результаты данного участника представлены вариантом 7.1. Расчеты 7 и 7.1 обычно совпадают с точностью первых процентов, при этом качественно более поздние результаты выглядят предпочтительнее. Результаты 1, 7 и 9 различаются для компонент поля в пределах 0,01-0,03 в случае ЕУ-поляризации и в пределах 0,01-0,05 в случае ЕХ-поляризации. Здесь следует учитывать, что в решении 7 нижняя часть неоднородности аппроксимируется более грубо. Кажущиеся сопротивления (табл.П3.9, П3.10), рассчитанные методом интегральных уравнений

ний, укладываются в полюсу шириной 1-2 Ом·м (ЕУ-поляризация) и 2-5 Ом·м (ЕХ-поляризация). Важно подчеркнуть, что рассмотренные результаты 1, 6, 7 и 9 практически совпадают за пределами вставки.

Результаты метода дифференциальных уравнений характеризуются существенно большим разбросом. Решение 10, представленное только в случае ЕУ-поляризации, качественно соответствует структуре решений 1, 6, 7 и 9, однако систематически отличается от них на величину до 0,05-0,07 для электрических полей и на величину до 0,03-0,05 для магнитных полей. Решения 3-5 в целом удовлетворительно совпадают с предыдущими только для электрических полей. Для магнитных полей такое совпадение отмечается лишь для компонент $\text{Re } H_x$, $\text{Re } H_z$ (табл. П3.2; рис. П4.4, П4.5). Это в первую очередь свидетельствует о значительных погрешностях процедур пересчета разностных решений (электрического поля) в компоненты магнитного поля и необходимости тщательного анализа и совершенствования данных процедур.

Анализ отклонений в результатах 3-5 от среднего уровня расчетов 1, 6, 7 и 9 для электрических полей показывает приуроченность максимальных расхождений к точкам разрывного изменения электропроводности - вертикальным границам вставки ($x=0,5$ км, $y=1$ км). В области над вставкой наблюдается систематическое занижение полей. Эти эффекты скорее всего связаны с грубой дискретизацией вставки, например всего $2 \times 2 \times 4 = 16$ элементов в решении 3, и, возможно, недостаточно эффективной аппроксимацией электромагнитного поля в области резкого изменения электропроводности. В то же время в периферийной области модели рассматриваемые расхождения постепенно исчезают по мере удаления от вставки. Для таких высокочастотных расчетов проблема выбора краевых условий мало существенна, большее влияние на решение в периферийной области оказывает структура разностной сетки.

Для второго периода $T = 10$ с общая картина сравнения результатов сильно не изменяется. По-прежнему хорошо совпадают результаты алгоритмов метода интегральных уравнений 1, 6, 7, 9 (табл. П3.5, П3.6, П3.11, П3.12), причем соответствующие значения аномальных магнитных полей крайне малы по абсолютной величине (не превосходят 0,02-0,04). Эти результаты для магнитных полей свидетельствуют о низком уровне вычислительных погрешностей при расчетах методом интегральных уравнений. Несколько ниже лежат результаты для электрического поля и кажущегося сопротивления в стационарном приближении (2 и 11). При этом решение 2 практически совпадает с решением 1.2, полученным с помощью общего алгоритма 1 для сверхбольшого периода $T=100000\text{с}$, для которого поле по существу также стационарно. В связи с этим стационарное решение 11 в ЕУ-поляризации представляется завышенным. Несколько настораживают результаты 7 и, особенно, 7.1 в точках над вставкой, лежащие для электрических полей и кажущегося сопротивления в ряде случаев заметно ниже решений

1,6,9 и очень близко к стационарным решениям 1.2 и 2.

Решение 10 для всех компонент в ЕУ-поляризации совпадает с решениями 1,6 7 и 9 значительно лучше, чем для предыдущего периода; оно практически неотличимо от них для электрического поля и кажущегося сопротивления. Разностные алгоритмы 3-5 не смогли представить удовлетворительных результатов для данного периода.

4.1.3. Модель ЗД-1 (вариант В)

Второй вариант модели ЗД-1 (рис.2.5,а) содержит вставку, вытянутую вдоль оси ОУ ($l_y=5$) и имеющую размеры $1 \times 10 \times 2$ км. Остальные параметры модели ЗД-1 остаются неизменными.

Данная модель в некотором смысле сложнее предыдущей, поскольку требует большего числа дискретных элементов для достижения сопоставимой точности аппроксимации электромагнитного поля. В то же время в пределах большей части вставки поле носит квазидвумерный характер. Степень двумерности поля над центром вытянутой вставки контролируется отношением полуразмера вставки l_y к длине волны вмещающей среды (Ting,Hohmann,1981; Ваньян и др., 1984). Для периодов $T = 0,1$ и 10 с это отношение составляет соответственно 0,5 и 5. Таким образом, для первого периода в ЕУ-поляризации поле в центральной части неоднородности носит выраженный двумерный характер, а для второго, более длинного, - существенно трехмерный.

В этой связи таблицы результатов в данной модели (табл.ПЗ.13-ПЗ.24) содержат наряду с трехмерными также двумерное решение, помеченное индексом 2Д и рассчитанное для вставки, бесконечно вытянутой вдоль оси ОУ. Это решение представляет собой результат участника 8 в модели 2Д-1. Для периода $T = 0,1$ с с.двумерным можно сопоставить только три трехмерных расчета (1,6 и 7), все получены методом интегральных уравнений. Использованы равномерные разбиения вставки $4 \times 10 \times 8 = 320$, $4 \times 8 \times 8 = 256$ и неравномерное с числом элементов 240 соответственно. Учитывалась симметрия модели. В рамках алгоритма 1 применялись как прямые, так и итерационные методы решения линейной системы, оба результата практически не отличались. Трехмерные результаты 1,6 и 7, как и в модели ЗД-1А, достаточно хорошо совпадают: расхождения электрических и магнитных полей обычно не превышают 0,02-0,03, а кажущихся сопротивлений - 2-3 Ом·м. Лишь для электрического поля и кажущегося сопротивления в ЕХ-поляризации решение 7 лежит заметно ниже остальных. Структура решений на оси ОХ близка к двумерной за пределами вставки, над вставкой расхождения между двумерным и трехмерными полями могут достигать величины 0,1 (табл.ПЗ.13, ПЗ.14). Соответствующие различия для кажущихся сопротивлений не превосходят 10 Ом·м.

Для второго периода $T = 10$ с мы имеем четыре трехмерных

решения - к трем, упомянутым выше, прибавилось стационарное решение 2. Для обеих поляризаций решения 1,6 и 7 лежат в полосе 0,02-0,05 для компонент электромагнитного поля и первых $\Omega \cdot m$ для кажущихся сопротивлений. Отметим, однако, что в данном случае решение 7 для электрического поля и кажущегося сопротивления над неоднородностью вдоль оси ОУ лежит уже ниже стационарных решений 2 и 1.2. Стационарное решение 2 качественно соответствует решениям 1,6 и 7, однако имеет более выраженные экстремумы. Частично последний факт может быть объяснен более подробной дискретизацией при стационарных расчетах ($8 \times 20 \times 16 = 2560$).

Решения методами дифференциальных уравнений в данной модели получены не были.

4.2. Итоги сопоставления трехмерных расчетов

Первый результат проведенного сопоставления заключается в том, что в модели ЗД-1А, простой по форме, но нетривиальной по геоэлектрической структуре (резкий контраст электропроводности, близость вставки к поверхности Земли), достигнуто количественное согласие результатов нескольких алгоритмов различной природы. Второй результат состоит в том, что большинство из этих алгоритмов относится к классу метода интегральных уравнений. Подчеркнем, что расхождения среди последних алгоритмов измеряются первыми процентами и определяются в первую очередь степенью дискретизации вставки. Хорошее соответствие трех алгоритмов метода интегральных уравнений (1,6 и 7) продемонстрировано также и в модели ЗД-1Б. Эти алгоритмы успешно выполнили полную программу расчетов в модели ЗД-1.

Следует, однако, заметить, что расчеты методом интегральных уравнений велись в моделях, порождающих линейные системы с числом комплексных уравнений порядка 200-300, близким к предельному при использовании современных массовых ЭВМ. Поэтому для применения данного метода в более сложных условиях, например в моделях с неоднородными вставками и системами включений, требуется значительно повысить его эффективность. Основные вычислительные затраты в рамках этого подхода связаны с решением заполненных систем линейных уравнений, поэтому для детального анализа более сложных моделей требуются более мощные ЭВМ, а также спецпроцессоры. Некоторый выигрыш может быть получен при замене прямых методов решения линейных систем итерационными, однако при этом возникает опасность потери точности и надежности. Альтернативный путь снижения размерности линейных систем за счет использования дискретных элементов более высокого порядка при аппроксимации интегрального уравнения в настоящее время недостаточно исследован и его перспективы оценить трудно.

Третий вывод касается методов дифференциальных уравнений.

Сравнение показало определенную недостаточность их теоретической и, главное, технологической разработки. Ни один из традиционных алгоритмов данного класса не выполнил полной программы сравнений ни в одной из тестовых моделей. Поэтому дать достаточно подробный и обоснованный анализ возможностей конкретных программ и метода дифференциальных уравнений в целом все еще не представляется возможным из-за ограниченности материала. Из недостатков этих алгоритмов в первую очередь отметим большие погрешности процедур вычисления магнитных полей по разностному решению для электрического поля. Требуют совершенствования и разностные схемы в области разрывов электропроводности. Наконец, необходимо, по-видимому, совершенствовать применяемые итерационные алгоритмы решения систем разностных уравнений - методы Зейделя и верхней релаксации, поскольку их медленная и ненадежная сходимость в первую очередь ограничивает размерность применяемых сеток. Представляется перспективным использовать более мощные итерационные методы, а также алгоритмы решения разностных систем на последовательности сеток.

Весьма интересны результаты алгоритма 10, в котором ищется установившееся в гармоническом режиме возбуждения решение более общей задачи моделирования нестационарного электромагнитного поля. В этом алгоритме также используется разностная аппроксимация оператора пространственной структуры поля. Несмотря на некоторую избыточность данной постановки задачи для целей моделирования гармонических полей, здесь равномерно по всем рассчитанным компонентам получены удовлетворительные результаты.

Последний вывод заключается в необходимости продолжить сравнительные трехмерные расчеты, в частности, расширить набор решений в модели ЗД-1 и завершить расчеты в модели ЗД-2, где можно дополнительno учсть результаты богатого семейства пленочных алгоритмов.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Настоящая монография имеет четыре приложения, в которых собран фактический материал проекта СОММЕМІ : 1 - таблицы сравнения компонент электромагнитного поля и кажущегося сопротивления для двумерных моделей, 2 - графики и диаграммы компонент электромагнитного поля для двумерных моделей; 3 и 4-аналогичные приложения для трехмерных моделей.

Условные обозначения. В первой строке каждой таблицы для двумерных моделей (прил.1) приведено название модели и далее в скобках - индекс поляризации поля, период Т и уровень Z=const, для которого рассчитано поле. Например, первая строка, в которой записано: Модель 2Д-0: (ЕР, T=300, z=15), показывает, что здесь приведены значения компонент поля и кажущегося сопротивления для модели 2Д-0 в случае Е-поляризации, рассчитанные на глубине 15 км для периода 300 с. Для обозначения Н-поляризации поля используется идентификатор НР.

Первая строка в таблицах трехмерных моделей (прил.3) имеет отличие только в индексах поляризации. Здесь употребляются два других обозначения поляризации: ЕХ (модель возбуждается электрическим полем, ориентированным в направлении оси ОХ) и ЕУ (модель возбуждается электрическим полем, ориентированным в направлении оси ОУ).

Во второй строке всех таблиц приведены значения Х в километрах для точек, в которых представлены данные. Например, строка: "участник /Х =0 .25 .5 .." означает, что данные сопоставляются в точках Х = 0 км, 0,25 км, 0,5 км и т.д. Соответствующие значения данных приведены ниже в столбцах основной части таблицы.

В трехмерных таблицах поле представляется также и на оси ОУ. В этом случае во второй строке таблицы указываются У-координаты точек сравнения. Основная часть таблиц одинакова для двумерных и трехмерных результатов и делится по горизонтали на области, соответствующие одной из компонент поля или кажущегося сопротивления, рассчитанной для одной модели, на одном периоде и одном уровне. В первой строке области указывается название компоненты поля, например Re Е_у- действительная часть компоненты Е_у.

В первой колонке таблиц приводятся номера участников сравнения, соответствующие табл.2.1 для двумерных моделей и табл.2.2 для трехмерных моделей. Во второй колонке дано название страны участника. Далее следуют результаты расчетов. Каждая область завершается четырьмя строками с некоторой статистикой сравнения результатов. Здесь даны средние значения и стандартные отклонения от среднего результатов, сравниваемых в каждой точке, до и после отбрасывания больших отскоков (см. п.2). Если отбрасывания отскоков не происходит, то приводятся только две строки статистической информации. При продолжении

таблицы в начале новой страницы повторяется вторая строка с координатами точек сравнения. Прочерк вместо данных в таблице означает, что участник не представил результат в соответствующей точке. Таблицы составлены с помощью ЭВМ, что позволяет избежать опечаток. Этим объясняются некоторые отличия от стандарта в представлении результатов. Вместо десятичной запятой используется точка, и нулевое значение в целой части числа не печатается (число начинается непосредственно с десятичной точки). Аналогично составлены подписи в графиках и диаграммах (прил.2 и 4).

Графики и диаграммы абсолютных величин компонент электромагнитного поля для двумерных и трехмерных моделей соответственно приведены в прил.2 и 4. Структура рисунков в обоих приложениях идентична. В верхней части рисунка помещаются графики модулей нормированных компонент поля по профилю ОХ (в случае трехмерных моделей возможно ОУ). Центральная сплошная линия проходит через средние значения поля в точках расчета. Две сплошные линии, лежащие выше и ниже центральной, ограничивают полосу шириной 2δ (δ - стандартное отклонение), получаемую после отбрасывания отскочивших значений в каждой точке сравнения. Верхняя штриховая линия проходит через максимальные значения поля в точках расчета, а нижняя - через минимальные. Горизонтальная шкала графиков указывает координаты точек сравнения в километрах.

В нижней части рисунка помещается диаграмма, предназначенная для детального представления результатов различных участников проекта в выбранных точках профиля. Вся диаграмма (рис.П.2.1) разделена на полосы, отделенные друг от друга вертикальными линиями. Каждая полоса предназначена для представления результатов в одной точке. Координата точки на профиле в километрах указана внизу полосы, а слева помещена вертикальная шкала поля. Горизонтальная штриховая линия отмечает среднее значение поля в данной точке, а две сплошные линии - полосу шириной 2δ, полученную после отбрасывания отскочивших значений. Величина результатов различных участников в данной точке показана буквами латинского алфавита, интерпретируемыми в соответствии с табл.2.3.

В подрисуночной подписи к каждому листу указано название модели, индекс поляризации, название компоненты поля, вертикальный уровень (z) и период (T), для которых представляются результаты.

МОДЕЛЬ 2Д-0 (EP, T=300.0, Z=0)

УЧАСТИК /X= -25.0 -15.0 -10.0 -7.0 .0 7.0 10.0 15.0 30.0 50.0

Т а б л и ц а П1.1

Re E_y

1	КАНАДА	.727	.606	.529	.483	.413	.397	.403	.418	.436	.441
3	КАНАДА	.726	.605	.528	.482	.412	.396	.402	.417	.435	.441
8	СССР	.728	.606	.528	.482	.411	.396	.402	.417	.439	.440

18	ФРГ	.725	.604	.528	-	.411	-	.402	.416	.436	.441
22	КАНАДА	.731	.608	.528	.479	.408	.394	.402	.419	.437	.441
23	КАНАДА	.714	.593	.522	.475	.406	.392	.397	.413	.438	.441

25	СССР	.722	.602	.528	.483	.415	.395	.399	.412	-	.434
26	СССР	.734	.608	.532	.486	.413	.397	.402	.417	-	.435

СРЕДНЕЕ (0)		.726	.604	.528	.481	.411	.395	.401	.416	.437	.439
НЕВЯЗКА (0)		.006	.005	.003	.004	.003	.002	.002	.002	.001	.003
СРЕДНЕЕ (1)		.726	.606	.529	.481	.411	.395	.402	.416	.437	.439
НЕВЯЗКА (1)		.006	.002	.001	.004	.003	.002	.001	.002	.001	.003

Im E_y

1	КАНАДА	-.106	-.056	.006	.043	.065	.050	.034	.012	.000	.000
3	КАНАДА	-.103	-.053	.009	.046	.068	.053	.037	.015	.003	.002
8	СССР	-.104	-.055	.008	.044	.066	.051	.035	.013	.001	.002

18	ФРГ	-.096	-.044	.024	-	.087	-	.054	.028	.014	.013
22	КАНАДА	-.107	-.059	.006	.045	.063	.048	.032	.010	-.001	.000
23	КАНАДА	-.097	-.048	.010	.046	.068	.055	.040	.019	.007	.011

25	СССР	-.089	-.045	.009	.046	.065	.052	.041	.016	-	-.001
26	СССР	-.095	-.042	.008	.047	.071	.054	.038	.015	-	.003

СРЕДНЕЕ (0)		-.100	-.050	.010	.045	.069	.052	.039	.016	.004	.004
НЕВЯЗКА (0)		.006	.006	.006	.001	.008	.002	.007	.006	.006	.005
СРЕДНЕЕ (1)		-.100	-.050	.008	.045	.067	.052	.037	.014	.004	.004
НЕВЯЗКА (1)		.006	.006	.002	.001	.003	.002	.003	.003	.006	.005

Re H_x

1	КАНАДА	.863	.929	1.140	1.295	1.313	1.242	1.159	1.058	1.031	1.032
3	КАНАДА	.863	.926	1.132	1.298	1.314	1.244	1.156	1.058	1.031	1.032
8	СССР	.861	.922	1.124	1.307	1.321	1.248	1.157	1.056	1.031	1.032

18	ФРГ	.859	.918	1.144	-	1.324	-	1.163	1.055	1.031	1.033
22	КАНАДА	.860	.914	1.135	1.321	1.316	1.247	1.151	1.052	1.031	1.032
23	КАНАДА	.860	.926	1.070	1.300	1.310	1.250	1.170	1.070	1.040	1.030

25	СССР	.890	.956	1.061	1.274	1.269	1.218	1.115	1.073	-	1.021
26	СССР	.895	.977	.977	1.216	1.284	1.247	1.114	1.114	-	1.026

СРЕДНЕЕ (0)		.869	.933	1.098	1.287	1.306	1.242	1.148	1.067	1.032	1.030
НЕВЯЗКА (0)		.015	.022	.058	.034	.019	.011	.021	.020	.004	.004
СРЕДНЕЕ (1)		.869	.927	1.115	1.299	1.306	1.246	1.148	1.060	1.031	1.031

НЕВЯЗКА (1)		.015	.014	.035	.015	.019	.003	.021	.008	.000	.002
-------------	--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

УЧАСТНИК /Х= -25.0 -15.0 -10.0 -7.0 .0 7.0 10.0 15.0 30.0 50.0

Im H_x

1	КАНАДА	.016	.073	.031	.008	.092	.095	.099	.093	.050	.027
3	КАНАДА	.018	.075	.034	.004	.091	.093	.100	.093	.051	.026
8	СССР	.017	.076	.046	.004	.094	.096	.103	.094	.040	.028
18	ФРГ	.021	.085	.020	-	.077	-	.091	.094	.049	.024
22	КАНАДА	.013	.072	.029	.003	.099	.095	.099	.089	.038	.026
23	КАНАДА	.017	.079	.088	.014	.100	.100	.101	.103	.053	.045
25	СССР	.028	.078	.059	.033	.076	.096	.092	.093	-	.019
26	СССР	.009	.057	.057	.030	.083	.095	.088	.088	-	.019
СРЕДНЕЕ (0)		.017	.074	.046	.014	.089	.096	.097	.093	.047	.027
НЕВЯЗКА (0)		.006	.008	.022	.013	.009	.002	.005	.005	.006	.008
СРЕДНЕЕ (1)		.017	.077	.046	.014	.089	.095	.097	.092	.047	.024
НЕВЯЗКА (1)		.006	.004	.022	.013	.009	.001	.005	.002	.006	.004

Re H_z

1	КАНАДА	-.175	-.335	-.492	-.321	-.079	.073	.150	.078	.008	-.002
3	КАНАДА	-.180	-.340	-.483	-.325	-.081	.075	.145	.080	.009	.000
8	СССР	-.170	-.335	-.476	-.322	-.079	.074	.142	.078	.006	-.002
18	ФРГ	-.167	-.332	-.459	-	-.069	-	.150	.091	.026	.009
22	КАНАДА	-.178	-.343	-.519	-.328	-.074	.078	.159	.078	.014	-.001
23	КАНАДА	-.137	-.284	-.381	-.273	-.060	.070	.116	.069	.006	-.001
25	СССР	-.187	-.316	-.396	-.285	-.085	.043	.132	.086	-	-.010
26	СССР	-.140	-.364	-.364	-.299	-.049	.060	.109	.109	-	-.011
СРЕДНЕЕ (0)		-.167	-.331	-.446	-.308	-.072	.068	.138	.084	.012	-.002
НЕВЯЗКА (0)		.018	.023	.058	.022	.012	.012	.018	.012	.008	.006
СРЕДНЕЕ (1)		-.167	-.338	-.446	-.308	-.072	.072	.138	.080	.012	-.002
НЕВЯЗКА (1)		.018	.014	.058	.022	.012	.006	.018	.007	.008	.006

Im H_z

1	КАНАДА	-.117	-.088	-.015	-.091	-.092	-.041	-.056	.000	.008	-.001
3	КАНАДА	-.114	-.083	-.010	-.087	-.092	-.043	-.056	.002	.008	-.004
8	СССР	-.121	-.090	-.004	-.094	-.093	-.040	-.049	.002	.008	-.003
18	ФРГ	-.102	-.066	.008	-	-.080	-	-.039	.009	.021	.011
22	КАНАДА	-.117	-.090	.012	-.100	-.092	-.034	-.052	.003	.008	-.002
23	КАНАДА	-.116	-.101	-.067	-.104	-.085	-.026	-.020	.011	.011	.000
25	СССР	-.120	-.092	-.053	-.101	-.104	-.046	-.044	-.013	-	.002
26	СССР	-.121	-.081	-.082	-.096	-.088	-.051	-.021	-	.003	
СРЕДНЕЕ (0)		-.116	-.086	-.026	-.096	-.091	-.040	-.042	-.001	.011	.001
НЕВЯЗКА (0)		.006	.010	.036	.006	.007	.008	.015	.011	.005	.005
СРЕДНЕЕ (1)		-.118	-.086	-.026	-.096	-.091	-.040	-.042	-.001	.011	-.001
НЕВЯЗКА (1)		.003	.010	.036	.006	.007	.008	.015	.011	.005	.003

МОДЕЛЬ 2Д-0 (НР, T=300.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X= -25.0 -15.0 -10.0 -7.0 .0 7.0 10.0 15.0 30.0 50.0

Т а б л и ц а П1.2

					Re E _x							
1	КАНАДА	1.006	1.076	1.230	.235	.301	.288	.247	.443	.424	.426	
3	КАНАДА	1.003	1.071	1.218	.239	.301	.289	.246	.442	.426	.426	
8	СССР	1.007	1.076	1.222	.238	.302	.290	.251	.443	.426	.427	
17	США	1.005	1.076	1.230	.235	.300	.287	.247	.443	.424	.426	
18	ФРГ	1.007	1.070	-	-	.303	-	-	.439	.426	.426	
20	СССР	1.010	1.080	1.230	.237	.301	.288	.249	.442	.427	.426	
22	КАНАДА	1.004	1.066	1.220	.254	.306	.294	.245	.438	.426	.426	
23	КАНАДА	.940	1.021	1.105	.236	.299	.291	.254	.443	.426	.426	
25	СССР	1.001	1.052	1.166	.216	.281	.269	-	.423	-	.408	
26	СССР	1.008	1.085	1.164	.244	.303	.291	-	.442	-	.426	
СРЕДНЕЕ (0)		.999	1.067	1.198	.237	.300	.287	.248	.440	.426	.424	
НЕВЯЗКА (0)		.021	.019	.044	.010	.007	.007	.003	.006	.001	.006	
СРЕДНЕЕ (1)		1.006	1.072	1.210	.240	.302	.290	.248	.442	.426	.426	
НЕВЯЗКА (1)		.003	.009	.028	.006	.002	.002	.003	.002	.001	.000	

Im E_x

1	КАНАДА	.033	.047	-.009	-.048	-.033	-.025	-.007	.002	-.009	-.011	
3	КАНАДА	.029	.046	-.007	-.052	-.036	-.028	-.008	.001	-.011	-.014	
8	СССР	.031	.047	-.005	-.049	-.034	-.026	-.011	.001	-.010	-.012	
17	США	.031	.047	-.009	-.048	-.029	-.020	-.005	.006	-.007	-.007	
18	ФРГ	.032	.050	-	-	-.056	-	-	-.013	-.022	-.024	
20	СССР	.028	.046	-.007	-.048	-.033	-.025	-.007	.001	-.008	-.011	
22	КАНАДА	.030	.050	-.004	-.052	-.029	-.024	-.006	.002	-.008	-.011	
23	КАНАДА	.005	.004	.004	-.053	-.034	-.027	-.013	.002	-.007	-.011	
25	СССР	.070	.109	.079	.007	.020	.033	-	.059	-	.034	
26	СССР	.031	.040	.032	-.054	-.036	-.028	-	.000	-	-.011	
СРЕДНЕЕ (0)		.031	.049	.008	-.044	-.030	-.019	-.008	.006	-.010	-.008	
НЕВЯЗКА (0)		.018	.025	.030	.019	.019	.020	.003	.019	.005	.015	
СРЕДНЕЕ (1)		.031	.042	-.001	-.051	-.036	-.025	-.008	.000	-.009	-.012	
НЕВЯЗКА (1)		.002	.015	.014	.003	.008	.003	.003	.005	.002	.005	

МОДЕЛЬ 2Д-0 (T=300.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X= -25.0 -15.0 -7.0 7.0 10.0 15.0 30.0

Т а б л и ц а П1.3

R_k(EP)

1	КАНАДА	8.00	4.70	1.50	1.10	1.30	1.70	2.00
3	КАНАДА	7.90	4.70	1.50	1.10	1.30	1.70	1.90
8	СССР	8.00	4.70	1.50	1.10	1.30	1.70	2.00
18	ФРГ	8.00	4.70	1.60	1.10	1.30	1.70	1.90
22	КАНАДА	8.10	4.88	1.45	1.11	1.34	1.73	1.97
23	КАНАДА	7.60	4.50	1.50	1.10	1.30	1.60	1.90

УЧАСТНИК / X=	-25.0	-15.0	-7.0	7.0	10.0	15.0	30.0
25 СССР	7.33	4.35	1.59	1.17	1.41	1.61	-
26 СССР	7.50	4.26	1.77	1.13	1.43	1.53	-
СРЕДНЕЕ (0)	7.80	4.60	1.55	1.11	1.34	1.66	1.94
НЕВЯЗКА (0)	.29	.21	.10	.03	.05	.07	.05
СРЕДНЕЕ (1)	7.80	4.60	1.52	1.11	1.34	1.66	1.94
НЕВЯЗКА (1)	.29	.21	.05	.01	.05	.07	.05
			R_k (HP)				
20 СССР	11.50	12.75	17.00	1.01	.68	2.15	2.03
22 КАНАДА	11.08	12.52	16.35	1.04	.66	2.11	1.99
25 СССР	11.05	12.30	15.00	.87	-	2.01	-
26 СССР	11.20	13.00	-	1.02	-	2.15	-
СРЕДНЕЕ (0)	11.21	12.64	16.12	.98	.67	2.11	2.01
НЕВЯЗКА (0)	.21	.30	1.02	.08	.01	.07	.03
СРЕДНЕЕ (1)	11.21	12.64	16.12	.98	.67	2.11	2.01
НЕВЯЗКА (1)	.21	.30	1.02	.08	.01	.07	.03

МОДЕЛЬ 2Д-0 (EP, T=300.0, Z=15.0)

Т а б л и ц а П1.4

УЧАСТНИК / X=	-25.0	-15.0	-10.0	-7.0	.0	7.0	10.0	15.0	30.0	50.0
---------------	-------	-------	-------	------	----	-----	------	------	------	------

		Re	E_y							
1 КАНАДА	.337	.204	.106	.049	-.016	-.017	-.004	.019	.041	.046
3 КАНАДА	.335	.203	.105	.048	-.017	-.018	-.005	.018	.040	.045
8 СССР	.337	.204	.106	.049	-.017	-.018	-.005	.018	.044	.045
18 ФРГ	.333	.200	.103	-	-.017	-	-.005	.016	.039	.043
22 КАНАДА	.337	.203	.107	.052	-.011	-.014	-.002	.019	.041	.046
23 КАНАДА	.338	.205	.106	.049	-.018	-.019	-.006	.018	.043	.044
25 СССР	.329	.203	.104	.052	-.019	-.015	-.004	.019	-	.048
26 СССР	.338	.202	.107	.050	-.017	-.017	-.004	.020	-	.047
СРЕДНЕЕ (0)	.335	.203	.105	.050	-.017	-.017	-.004	.018	.041	.045
НЕВЯЗКА (0)	.003	.002	.001	.002	.002	.001	.001	.001	.002	.002
СРЕДНЕЕ (1)	.336	.203	.105	.050	-.017	-.017	-.004	.018	.041	.045
НЕВЯЗКА (1)	.002	.002	.001	.002	.001	.002	.001	.001	.002	.002

		Im	E_y							
1 КАНАДА	.130	.131	.143	.144	.119	.102	.101	.103	.112	.122
3 КАНАДА	.131	.132	.144	.144	.118	.102	.101	.103	.112	.121
8 СССР	.131	.132	.144	.144	.119	.102	.101	.103	.116	.122
18 ФРГ	.133	.133	.144	-	.116	-	.099	.102	.113	.121
22 КАНАДА	.132	.134	.144	.143	.117	.102	.102	.105	.115	.122
23 КАНАДА	.132	.134	.145	.146	.120	.104	.103	.106	.120	.127
25 СССР	.135	.134	.147	.145	.122	.104	.102	.104	-	.121
26 СССР	.137	.134	.149	.149	.122	.105	.104	.104	-	.121
СРЕДНЕЕ (0)	.133	.133	.145	.145	.119	.103	.102	.104	.115	.122
НЕВЯЗКА (0)	.002	.001	.002	.002	.001	.001	.002	.001	.003	.002
СРЕДНЕЕ (1)	.133	.133	.145	.145	.119	.103	.102	.104	.115	.121
НЕВЯЗКА (1)	.002	.001	.002	.002	.002	.001	.002	.001	.003	.001

МОДЕЛЬ 2Д-0 (НР, Т=300.0, Z=15.0)

УЧАСТНИК /Х= -25.0 -15.0 -10.0 -7.0 .0 7.0 10.0 15.0 30.0 50.0

Т а б л и ц а П1.5

				Re	E_x							
1	КАНАДА	.514	.500	.475	.029	.007	.007	.013	.038	.045	.046	
3	КАНАДА	.513	.500	.476	.030	.009	.008	.015	.039	.047	.048	
8	СССР	.509	.488	.459	.050	.013	.010	.015	.033	.044	.045	
17	США	.515	.501	.478	.030	.007	.008	.014	.039	.047	.048	
18	ФРГ	.515	.503	-	-	.012	-	-	.044	.049	.051	
22	КАНАДА	.515	.496	.482	.042	.011	.010	.014	.036	.044	.046	
25	СССР	.470	.557	.472	.022	.002	.007	-	.045	-	.053	
26	СССР	.530	.520	.493	.047	.016	.015	-	.044	-	.055	
СРЕДНЕЕ (0)		.510	.508	.476	.036	.010	.009	.014	.040	.046	.049	
НЕВЯЗКА (0)		.017	.022	.010	.011	.004	.003	.001	.004	.002	.004	
СРЕДНЕЕ (1)		.516	.501	.476	.036	.010	.008	.014	.040	.046	.049	
НЕВЯЗКА (1)		.007	.010	.010	.011	.004	.001	.001	.004	.002	.004	
				Im	E_x							
1	КАНАДА	.306	.331	.354	.048	.059	.060	.060	.119	.117	.117	
3	КАНАДА	.307	.331	.353	.048	.058	.060	.060	.118	.116	.117	
8	СССР	.301	.327	.352	.051	.066	.067	.065	.124	.122	.122	
17	США	.306	.330	.355	.048	.058	.061	.060	.118	.117	.117	
18	ФРГ	.306	.330	-	-	.057	-	-	.114	.113	.113	
22	КАНАДА	.306	.331	.349	.048	.060	.061	.059	.117	.117	.117	
25	СССР	.319	.324	.355	.055	.056	.063	-	.124	-	.119	
26	СССР	.304	.322	.353	.054	.070	.070	-	.123	-	.121	
СРЕДНЕЕ (0)		.307	.328	.353	.050	.060	.063	.061	.120	.117	.118	
НЕВЯЗКА (0)		.005	.004	.002	.003	.005	.004	.002	.004	.003	.003	
СРЕДНЕЕ (1)		.305	.328	.353	.050	.060	.063	.061	.120	.117	.118	
НЕВЯЗКА (1)		.002	.004	.002	.003	.005	.004	.002	.004	.003	.003	

МОДЕЛЬ 2Д-1 (ЕР, Т=.1, Z=0)

УЧАСТНИК / Х= .0 .5 1.0 2.0 4.0 8.0 16.0

Т а б л и ц а П1.6

			Re	E_y								
2	КАНАДА			.399	.482	.660	.870	.986	.997	1.000		
3	КАНАДА			.401	.485	.664	.872	.988	1.000	1.000		
6	ПОЛЬША			.400	.484	.679	.914	1.000	1.000	1.000		
8	СССР			.384	.471	.654	.868	.985	.997	.998		
8.1	СССР			.385	.472	.656	.870	.987	1.000	1.000		
9	СССР			.401	.493	.672	.880	.995	1.000	1.000		
10	СССР			.440	.520	.680	.880	.990	.996	.997		
11	СССР			.386	.473	.655	.869	.987	.999	1.000		
12	ЧЕХОСЛОВ.			.393	.477	.659	.871	.987	.998	.998		
13	ГДР			.397	.480	.659	.870	.985	.997	.998		

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
14 СССР	.354	.446	.638	.852	.975	.998	1.000
15 СССР	.390	.477	.654	.866	.995	1.000	1.000
14.1 СССР	.399	.479	.657	.869	.987	1.000	1.000
15.1 СССР	.401	.487	.667	.877	.990	1.000	1.000
17 США	.405	.488	.665	.875	.990	1.000	1.000
18 ФРГ	.345	.440	.637	.856	-	-	-
19 ФРГ	.422	.502	.675	.881	.993	-	-
24 СССР	.449	.524	.690	.893	1.000	1.004	1.001
25 СССР	.389	.468	.636	.849	.979	.994	1.000
26 СССР	.374	.460	.587	.820	.999	.998	1.001
27 СССР	.399	.479	.657	.869	.987	1.000	1.000
27.1 СССР	.399	.479	.657	.869	.987	1.000	1.000
27.2 СССР	.399	.479	.657	.869	.987	1.000	1.000
 СРЕДНЕЕ (0)	.396	.480	.657	.870	.989	.999	1.000
НЕВЯЗКА (0)	.022	.019	.020	.017	.006	.002	.001
 СРЕДНЕЕ (1)	.396	.478	.660	.870	.990	.999	1.000
НЕВЯЗКА (1)	.017	.012	.014	.010	.005	.001	.001
	Im	E _y					
2 КАНАДА	-.115	-.129	-.169	-.148	-.060	-.011	.000
3 КАНАДА	-.116	-.131	-.172	-.151	-.064	-.013	-.004
6 ПОЛЬША	-.112	-.127	-.169	-.131	-.028	-.006	-.001
8 СССР	-.098	-.115	-.163	-.147	-.060	-.010	-.001
8.1 СССР	-.099	-.116	-.165	-.149	-.063	-.013	-.003
9 СССР	-.116	-.150	-.183	-.154	-.062	-.010	-.004
10 СССР	-.120	-.120	-.150	-.130	-.040	.000	.009
11 СССР	-.098	-.116	-.163	-.149	-.063	-.013	-.003
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.103	-.119	-.164	-.147	-.060	-.010	-.001
13 ГДР	-.101	-.113	-.154	-.137	-.054	-.008	-.001
14 СССР	-.095	-.104	-.155	-.145	-.065	-.012	.010
15 СССР	-.115	-.130	-.168	-.144	-.051	.000	.000
14.1 СССР	-.112	-.123	-.166	-.149	-.063	-.012	-.002
15.1 СССР	-.116	-.129	-.169	-.149	-.061	-.012	-.003
17 США	-.117	-.131	-.170	-.151	-.062	-.012	-.004
18 ФРГ	-.096	-.106	-.157	-.140	-	-	-
19 ФРГ	-.152	-.160	-.185	-.156	-.063	-	-
24 СССР	-.173	-.177	-.193	-.157	-.062	-.010	-.001
25 СССР	-.095	-.110	-.145	-.141	-.059	-.006	.000
26 СССР	-.088	-.103	-.120	-.143	-.066	-.006	.001
27 СССР	-.112	-.124	-.166	-.149	-.063	-.013	-.003
27.1 СССР	-.113	-.124	-.166	-.150	-.063	-.013	-.003
27.2 СССР	-.113	-.124	-.166	-.149	-.063	-.013	-.003
 СРЕДНЕЕ (0)	-.112	-.125	-.164	-.146	-.059	-.010	-.001
НЕВЯЗКА (0)	.019	.017	.014	.007	.009	.004	.004
 СРЕДНЕЕ (1)	-.107	-.123	-.166	-.148	-.061	-.011	-.002
НЕВЯЗКА (1)	.010	.014	.011	.005	.004	.003	.002

УЧАСТНИК / X=

		.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
		Re	H _x					
2	КАНАДА	1.419	1.308	.957	.904	.971	.997	1.000
3	КАНАДА	1.422	1.310	.950	.904	.970	.999	1.000
6	ПОЛЬША	1.422	1.311	.944	.911	.985	.992	.992
8	СССР	1.470	1.370	.928	.894	.968	.997	.999
8.1	СССР	1.470	1.370	.930	.895	.970	.999	1.000
8.2	СССР	1.510	1.370	.956	.907	.972	.999	1.000
9	СССР	1.483	1.256	.952	.907	.978	1.000	1.000
10	СССР	1.380	1.280	.960	.900	.960	.980	.980
11	СССР	1.440	1.330	.951	.902	.970	.998	1.000
12	ЧЕХОСЛОВ.	1.430	1.320	.953	.899	.965	.991	.992
13	ГДР	1.424	1.322	.961	.905	.971	.999	1.000
17	США	1.430	1.310	.957	.903	.972	.999	1.000
18	ФРГ	1.443	1.356	.944	.897	-	-	-
19	ФРГ	1.373	1.277	.966	.909	.974	-	-
24	СССР	1.347	1.266	.977	.919	.980	1.003	1.001
25	СССР	1.406	1.149	.986	.927	.967	1.000	1.000
26	СССР	1.330	1.077	1.077	.983	.960	1.000	1.000
27	СССР	1.440	1.350	.963	.905	.971	.999	1.000
27.1	СССР	1.440	1.350	.963	.905	.971	.999	1.000
27.2	СССР	1.440	1.350	.963	.905	.971	.999	1.000

СРЕДНЕЕ (0)

1.426 1.302 .962 .909 .971 .997 .998

НЕВЯЗКА (0)

.044 .074 .030 .019 .006 .005 .005

СРЕДНЕЕ (1)

1.431 1.323 .956 .905 .970 .998 .999

НЕВЯЗКА (1)

.038 .036 .014 .008 .005 .003 .003

Im H_x

2	КАНАДА	.371	.262	.107	-.021	-.045	-.014	-.009
3	КАНАДА	.373	.261	.104	-.025	-.044	-.014	-.005
6	ПОЛЬША	.379	.270	.105	-.028	-.019	.002	.006
8	СССР	.402	.267	.108	-.023	-.043	-.011	-.001
8.1	СССР	.400	.265	.106	-.025	-.045	-.013	-.003
8.2	СССР	.376	.258	.101	-.023	-.043	-.013	-.003
9	СССР	.341	.289	.106	-.023	-.045	-.010	.000
10	СССР	.420	.300	.140	.008	-.017	.010	.020
11	СССР	.375	.255	.108	-.020	-.044	-.013	-.003
12	ЧЕХОСЛОВ.	.376	.267	.117	-.011	-.033	-.003	.006
13	ГДР	.400	.282	.125	-.007	-.034	-.008	-.001
17	США	.382	.272	.111	-.022	-.045	-.012	-.004
18	ФРГ	.409	.254	.104	.016	-	-	-
19	ФРГ	.378	.277	.104	-.023	-.045	-	-
24	СССР	.380	.282	.104	-.023	-.043	-.011	-.001
25	СССР	.354	.180	.093	.000	-.032	-.008	-.001
26	СССР	.312	.115	.115	.049	-.032	-.007	-.001
27	СССР	.379	.259	.107	-.021	-.044	-.013	-.003

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
27.1 СССР	.379	.259	.107	-.021	-.044	-.013	-.003
27.2 СССР	.379	.259	.107	-.021	-.044	-.013	-.003

СРЕДНЕЕ (0)	.378	.257	.109	-.013	-.039	-.009	.000
НЕВЯЗКА (0)	.024	.041	.010	.019	.009	.006	.006
СРЕДНЕЕ (1)	.382	.264	.107	-.016	-.041	-.010	-.002
НЕВЯЗКА (1)	.018	.024	.007	.012	.005	.004	.004

Re Hz

2 КАНАДА	.000	.343	.278	.069	-.010	-.003	-.001
3 КАНАДА	.000	.346	.283	.071	-.010	-.003	-.001
6 ПОЛЬША	.000	.347	.264	.039	-.009	-.001	.000
8 СССР	.000	.375	.291	.061	-.012	-.003	.000
8.1 СССР	.000	.377	.293	.062	-.012	-.003	.000
9 СССР	.000	.360	.264	.060	.014	-	-
10 СССР	.000	.290	.240	.060	-.007	-.003	.000
11 СССР	.000	.355	.292	.073	-.009	.003	.000
12 ЧЕХОСЛОВ.	.000	.354	.287	.073	-.009	-.003	.000
13 ГДР	.000	.336	.282	.070	-.009	-.002	.000
17 США	.000	.339	.279	.076	-.008	-.004	-.001
18 ФРГ	.000	.424	.302	.067	.000	-	-
19 ФРГ	.000	.306	.259	.059	-.012	-	-
24 СССР	.000	.278	.243	.054	-.015	-.003	.000
25 СССР	.000	.326	.262	.067	-.005	-.002	.000
26 СССР	.000	.229	.229	.192	-.013	-.001	.000
27 СССР	.000	.346	.283	.067	-.013	-.003	.000
27.1 СССР	.000	.346	.283	.067	-.013	-.003	.000
27.2 СССР	.000	.346	.283	.067	-.013	-.003	.000

СРЕДНЕЕ (0)	.000	.338	.274	.071	-.009	-.002	.000
НЕВЯЗКА (0)	.000	.041	.020	.030	.006	.002	.000
СРЕДНЕЕ (1)	.000	.339	.276	.065	-.010	-.003	.000
НЕВЯЗКА (1)	.000	.027	.017	.009	.004	.001	.000

Im Hz

2 КАНАДА	.000	.196	.220	.142	.040	.003	.001
3 КАНАДА	.000	.196	.218	.142	.040	.003	.001
6 ПОЛЬША	.000	.198	.220	.117	.015	.001	.000
8 СССР	.000	.193	.220	.141	.036	.002	.000
8.1 СССР	.000	.193	.220	.141	.036	.002	.000
9 СССР	.000	.201	.233	.142	.036	-	-
10 СССР	.000	.190	.210	.130	.030	.003	.000
11 СССР	.000	.193	.218	.142	.040	.003	.000
12 ЧЕХОСЛОВ.	.000	.192	.219	.143	.040	.003	.000
13 ГДР	.000	.198	.219	.140	.038	.002	.000
17 США	.000	.196	.219	.143	.044	.003	-.001

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
18 ФРГ	.000	.227	.225	.140	.000	-	-
19 ФРГ	.000	.213	.232	.143	.037	-	-
24 СССР	.000	.217	.235	.144	.037	.002	.000
25 СССР	.000	.213	.199	.134	.047	.002	.001
26 СССР	.000	.173	.173	.163	.037	.002	-.001
27 СССР	.000	.201	.221	.141	.036	.002	.000
27.1 СССР	.000	.201	.221	.141	.036	.002	.000
27.2 СССР	.000	.201	.221	.141	.036	.002	.000
СРЕДНЕЕ (0)	.000	.200	.218	.141	.035	.002	.000
НЕВЯЗКА (0)	.000	.012	.013	.008	.011	.001	.001
СРЕДНЕЕ (1)	.000	.200	.221	.141	.037	.002	.000
НЕВЯЗКА (1)	.000	.008	.008	.003	.007	.001	.001

МОДЕЛЬ 2Д-1 (НР, Т=.1, Z=.0)

Т а б л и ц а П 1.7

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
---------------	----	----	-----	-----	-----	-----	------

Re E_x

2 КАНАДА	.282	.681	.975	.995	1.002	1.003	1.003
3 КАНАДА	.282	.679	.974	.992	.998	1.000	1.000
6 ПОЛЬША	.266	.659	.960	.978	.984	.984	.984
8 СССР	.290	.689	.971	.993	1.000	1.000	1.000
8.1 СССР	.289	.689	.971	.993	1.000	1.000	1.000
10 СССР	.320	.690	.930	.960	.970	.970	.970
11 СССР	.289	.687	.971	.992	.999	1.000	1.000
12 ЧЕХОСЛОВ.	.289	.680	.970	.992	1.000	1.000	1.000
17 США	.278	.670	.975	.992	.999	1.000	1.000
18 ФРГ	.315	.734	.966	.991	-	-	-
19 ФРГ	.249	.656	1.003	.997	.999	-	-
20 СССР	.290	.725	.980	.993	.997	.999	.999
25 СССР	.289	.761	.911	.994	.989	.997	.995
26 СССР	.313	.841	.909	.987	.999	1.001	1.000
СРЕДНЕЕ (0)	.289	.703	.962	.989	.995	.996	.996
НЕВЯЗКА (0)	.019	.049	.027	.010	.009	.010	.009
СРЕДНЕЕ (1)	.292	.692	.962	.991	.997	.999	.998
НЕВЯЗКА (1)	.015	.030	.027	.005	.005	.005	.005

Im E_x

2 КАНАДА	-.140	-.059	.003	.000	-.004	-.003	.000
3 КАНАДА	-.139	-.057	.006	.003	-.001	.000	.000
6 ПОЛЬША	-.126	-.045	.021	.016	.015	.015	.015
8 СССР	-.155	-.063	.004	.002	-.001	.000	.000
8.1 СССР	-.154	-.063	.004	.002	-.001	.000	.000
10 СССР	-.130	-.040	.020	.030	.024	.030	.030
11 СССР	-.156	-.064	.004	.003	-.001	.000	.000

УЧАСНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.148	-.058	.011	.006	-.001	.000	.000
17 США	-.139	-.059	.007	.003	-.001	.000	.000
18 ФРГ	-.190	-.068	.000	.002	-	-	-
19 ФРГ	-.124	-.059	.015	.008	.000	-	-
20 СССР	-.140	-.061	.006	.002	-.001	-.001	-.001
25 СССР	-.121	-.005	.016	.027	.029	.027	.012
26 СССР	-.156	-.036	-.016	.001	-.002	-.001	-.002
СРЕДНЕЕ (0)	-.144	-.053	.007	.008	.004	.006	.004
НЕВЯЗКА (0)	.018	.017	.009	.010	.011	.012	.010
СРЕДНЕЕ (1)	-.141	-.056	.009	.006	.002	.003	.002
НЕВЯЗКА (1)	.013	.010	.007	.008	.008	.009	.006

МОДЕЛЬ 2Д-1 (T=.1, Z=.0)

УЧАСНИК / X= .0 .5 1.0 2.0 4.0 8.0 16.0

		R _k (EP)					
2 КАНАДА	8.03	14.01	49.99	95.18	103.20	99.60	100.30
3 КАНАДА	8.07	14.10	51.50	95.70	104.00	100.00	100.00
6 ПОЛЬША	8.00	14.00	54.20	102.70	103.10	101.70	101.60
8 СССР	6.80	12.13	52.05	96.78	103.60	99.97	99.78
8.1 СССР	6.80	12.14	52.15	97.03	103.85	100.21	100.01
8.2 СССР	6.55	12.09	49.42	94.67	103.27	100.11	99.98
9 СССР	7.53	15.99	52.87	96.96	103.69	100.00	100.00
10 СССР	10.00	16.48	51.52	97.68	106.49	103.28	103.46
11 СССР	7.14	12.80	49.70	95.60	104.00	100.00	100.00
12 ЧЕХОСЛОВ.	7.50	13.37	50.00	96.66	105.00	101.40	101.10
13 ГДР	7.68	13.31	48.76	94.67	103.10	99.72	99.62
14 СССР	5.24	9.15	53.20	96.90	104.00	101.00	100.00
15 СССР	7.46	13.60	54.70	97.40	105.00	101.00	100.00
14.1 СССР	7.83	13.07	49.77	95.87	103.86	100.00	100.00
15.1 СССР	7.87	13.93	52.69	97.35	104.05	100.00	100.00
17 США	8.06	14.11	50.53	96.81	104.40	100.10	99.69
18 ФРГ	5.70	10.74	47.82	93.44	-	-	-
19 ФРГ	9.92	16.26	51.89	96.82	104.14	-	-
24 СССР	11.82	18.15	53.23	97.22	104.21	100.20	100.01
25 СССР	7.60	17.10	43.40	86.30	102.80	98.70	100.10
26 СССР	7.92	18.90	30.50	71.50	109.00	99.60	100.00
27 СССР	7.71	12.95	48.94	94.97	103.50	100.18	100.00
27.1 СССР	7.71	12.95	48.94	94.98	103.50	100.19	100.00
27.2 СССР	7.71	12.95	48.94	94.98	103.50	100.19	100.00
СРЕДНЕЕ (0)	7.78	13.93	49.86	94.92	104.14	100.33	100.26
НЕВЯЗКА (0)	1.34	2.26	4.79	5.67	1.32	.92	.84
СРЕДНЕЕ (1)	7.60	13.92	50.70	95.94	103.92	100.18	100.10
НЕВЯЗКА (1)	1.04	1.82	2.48	2.75	.80	.65	.44

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
	R _k (НР)						
2 КАНАДА	9.93	46.80	95.10	99.10	100.00	101.00	101.00
3 КАНАДА	9.86	46.40	94.80	98.30	99.70	100.00	100.00
6 ПОЛЬША	8.65	43.59	92.28	95.67	96.87	96.87	96.87
8 СССР	10.79	47.85	94.32	98.60	99.96	100.24	100.23
8.1 СССР	10.73	47.83	94.32	98.60	99.96	100.24	100.23
11 СССР	10.80	47.70	94.40	98.50	99.80	100.00	100.00
12 ЧЕХОСЛОВ.	10.55	46.59	94.16	98.47	101.00	100.40	100.40
14 СССР	10.90	49.50	94.30	98.50	99.70	100.00	100.00
15 СССР	8.23	47.60	94.20	97.80	99.50	99.80	100.00
14.1 СССР	10.22	48.57	94.75	98.54	99.66	99.92	99.91
15.1 СССР	9.50	45.28	93.65	98.16	99.79	100.00	100.00
17 США	9.64	45.19	95.13	98.48	99.78	100.00	100.00
18 ФРГ	13.54	54.37	93.22	98.28	100.00	100.00	100.00
20 СССР	10.10	45.90	95.10	98.40	99.10	99.50	99.90
25 СССР	9.80	57.90	83.00	98.80	97.90	99.40	98.90
26 СССР	12.20	70.90	82.40	97.40	99.80	100.00	99.90
СРЕДНЕЕ (0)	10.34	49.50	92.82	98.22	99.53	99.84	99.83
НЕВЯЗКА (0)	1.26	6.71	4.02	.78	.94	.87	.89
СРЕДНЕЕ (1)	10.13	48.07	94.27	98.40	99.71	100.03	100.03
НЕВЯЗКА (1)	.96	3.65	.79	.40	.64	.37	.42

МОДЕЛЬ 2Д-1 (ЕР, Т=10.0, Z=.0) Т а б л и ц а П1.9
УЧАСТНИК / X= .0 .5 1.0 2.0 4.0 8.0 16.0

	Re	E _y					
3 КАНАДА	.423	.440	.475	.543	.640	.751	.865
6 ПОЛЬША	.424	.441	.479	.562	.689	.803	.908
8 СССР	.419	.435	.470	.538	.634	.747	.862
8.1 СССР	.423	.439	.475	.543	.640	.754	.869
9 СССР	.420	.436	.472	.555	.639	.753	.869
10 СССР	.440	.460	.498	.570	.680	.790	.896
11 СССР	.426	.443	.478	.546	.643	.756	.871
12 ЧЕХОСЛОВ.	.429	.445	.478	.544	.640	.752	.867
13 ГДР	.524	.546	.592	.678	.791	.896	.964
14 СССР	.445	.461	.495	.561	.655	.768	.878
15 СССР	.475	.492	.531	.598	.690	.794	.893
14.1 СССР	.410	.427	.463	.532	.631	.746	.866
15.1 СССР	.422	.439	.474	.543	.642	.757	.874
17 США	.432	.449	.484	.553	.651	.765	.869
18 ФРГ	.410	.427	.462	.530	.628	.753	.861
19 ФРГ	.422	.439	.474	.543	.640	-	-
22 КАНАДА	.419	.437	.474	.543	.641	.754	.868
24 СССР	.423	.440	.476	.544	.642	.757	.873
25 СССР	.468	.486	.530	.611	.730	.864	.989

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
26 CCCP	.476	.494	.533	.612	.733	.863	.988
27 CCCP	.428	.444	.479	.547	.643	.756	.870
27.1 CCCP	.429	.445	.480	.548	.644	.757	.871
27.2 CCCP	.429	.446	.481	.548	.645	.757	.871

СРЕДНЕЕ (0)	.435	.453	.489	.561	.661	.777	.888
НЕВЯЗКА (0)	.027	.028	.030	.034	.041	.043	.039
СРЕДНЕЕ (1)	.431	.448	.485	.555	.655	.762	.878
НЕВЯЗКА (1)	.019	.019	.021	.023	.030	.016	.023

	Im	E _y						
3 КАНАДА	.228	.213	.184	.132	.066	.003	-.035	
6 ПОЛЬША	.222	.207	.175	.111	.028	-.027	-.047	
8 CCCP	.225	.211	.181	.130	.064	.001	-.038	
8.1 CCCP	.228	.213	.184	.132	.065	.001	-.039	
9 CCCP	.220	.212	.182	.130	.062	-.001	-.041	
10 CCCP	.306	.290	.260	.220	.150	.080	.030	
11 CCCP	.228	.213	.184	.132	.065	.001	-.039	
12 ЧЕХОСЛОВ.	.229	.215	.187	.136	.070	.005	-.036	
13 ГДР	.368	.350	.314	.249	.164	.081	.023	
14 CCCP	.225	.210	.180	.128	.064	.000	-.034	
15 CCCP	.169	.146	.115	.075	.028	-.017	-.038	
14.1 CCCP	.241	.227	.200	.152	.091	.033	-.003	
15.1 CCCP	.230	.216	.187	.136	.071	.009	-.027	
17 США	.234	.219	.189	.137	.071	.065	.028	
18 ФРГ	.230	.215	.186	.136	.070	.003	-.029	
19 ФРГ	.226	.212	.182	.131	.064	-	-	
22 КАНАДА	.228	.213	.182	.129	.063	.000	-.039	
24 CCCP	.224	.210	.180	.129	.062	-.002	-.041	
25 CCCP	.308	.294	.262	.207	.134	.061	.005	
26 CCCP	.295	.281	.254	.199	.122	.053	.004	
27 CCCP	.228	.213	.184	.132	.065	.000	-.040	
27.1 CCCP	.228	.214	.184	.132	.065	.000	-.040	
27.2 CCCP	.229	.214	.184	.132	.065	.000	-.039	

СРЕДНЕЕ (0)	.241	.226	.197	.145	.077	.016	-.023
НЕВЯЗКА (0)	.041	.041	.040	.038	.034	.031	.025
СРЕДНЕЕ (1)	.235	.221	.195	.140	.069	.009	-.029
НЕВЯЗКА (1)	.031	.031	.027	.031	.024	.024	.019

	Re	H _x						
3 КАНАДА	3.112	2.645	1.933	1.348	1.042	.943	.932	
6 ПОЛЬША	3.100	2.649	1.904	1.257	.977	.931	.948	
8 CCCP	3.210	2.690	1.930	1.340	1.040	.938	.931	
8.1 CCCP	3.240	2.710	1.940	1.340	1.040	.938	.931	
8.2 CCCP	3.220	2.710	1.950	1.350	1.040	.939	.931	

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
9 СССР	3.080	2.640	1.950	1.360	1.050	.944	.884
10 СССР	3.360	2.880	2.130	1.470	1.110	.990	.970
11 СССР	3.120	2.660	1.950	1.360	1.040	.942	.933
12 ЧЕХОСЛОВ.	3.230	2.720	1.950	1.360	1.060	.947	.938
13 ГДР	4.016	3.386	2.424	1.606	1.160	1.005	.981
17 США	3.180	2.710	1.980	1.360	1.040	.943	.938
18 ФРГ	3.060	2.608	1.923	1.351	.981	.938	.933
19 ФРГ	3.090	2.640	1.951	1.362	1.046	-	-
22 КАНАДА	3.157	2.656	1.912	1.338	1.038	.940	.931
24 СССР	3.090	2.644	1.956	1.366	1.051	.946	.936
25 СССР	3.435	2.527	2.092	1.576	1.230	1.046	1.001
26 СССР	3.173	2.167	2.167	1.754	1.189	1.047	1.002
27 СССР	3.180	2.700	1.950	1.350	1.040	.937	.929
27.1 СССР	3.190	2.700	1.960	1.350	1.040	.938	.931
27.2 СССР	3.190	2.700	1.960	1.350	1.040	.938	.931
СРЕДНЕЕ (0)	3.222	2.687	1.996	1.397	1.063	.957	.943
НЕВЯЗКА (0)	.209	.211	.123	.117	.063	.036	.028
СРЕДНЕЕ (1)	3.180	2.677	1.973	1.379	1.046	.947	.939
НЕВЯЗКА (1)	.095	.069	.073	.083	.040	.020	.015

	Im H _X	.304	.282	.246	.162	.092	.046	.009
3 КАНАДА	.288	.271	.235	.141	.068	.028	-.004	
6 ПОЛЬША	.315	.289	.251	.163	.092	.047	.010	
8 СССР	.317	.290	.252	.163	.092	.047	.009	
8.1 СССР	.311	.287	.249	.161	.091	.046	.009	
8.2 СССР	.307	.287	.248	.164	.087	.048	.007	
9 СССР	.680	.590	.450	.260	.140	.070	.030	
10 СССР	.294	.274	.242	.160	.091	.045	.008	
11 СССР	.303	.281	.247	.162	.094	.047	.011	
12 ЧЕХОСЛОВ.	.625	.529	.379	.192	.075	.030	.013	
13 ГДР	.319	.295	.254	.164	.090	.045	.018	
17 США	.332	.302	.262	.173	.086	.049	.014	
18 ФРГ	.317	.292	.250	.164	.092	-	-	
22 КАНАДА	.319	.286	.244	.158	.090	.045	.008	
24 СССР	.312	.286	.245	.161	.090	.044	.007	
25 СССР	.503	.387	.316	.208	.112	.040	.003	
26 СССР	.450	.298	.298	.232	.109	.047	.003	
27 СССР	.300	.277	.243	.160	.091	.047	.009	
27.1 СССР	.299	.277	.243	.160	.092	.047	.010	
27.2 СССР	.299	.277	.242	.160	.091	.047	.010	
СРЕДНЕЕ (0)	.360	.318	.270	.173	.093	.046	.010	
НЕВЯЗКА (0)	.114	.087	.054	.029	.014	.008	.007	
СРЕДНЕЕ (1)	.327	.291	.254	.165	.091	.045	.009	
НЕВЯЗКА (1)	.056	.025	.020	.014	.009	.004	.004	

УЧАСТНИК -/ X=

		.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
		Re Hz						
3	КАНАДА	.000	.897	1.048	.840	.514	.251	.093
6	ПОЛЬША	.000	.900	1.041	.757	.374	.166	.051
8	СССР	.000	.902	1.050	.829	.497	.245	.089
8.1	СССР	.000	.911	1.060	.837	.502	.247	.089
9	СССР	.000	.908	1.060	.840	.505	.237	.068
10	СССР	.000	.910	1.065	.840	.510	.250	.090
11	СССР	.000	.892	1.050	.837	.509	.250	.094
12	ЧЕХОСЛОВ.	.000	.835	.998	.827	.511	.253	.096
13	ГДР	.000	1.146	1.341	1.041	.585	.229	.059
17	США	.000	.910	1.060	.847	.519	.261	.133
18	ФРГ	.000	.907	1.040	.826	.494	.226	.087
19	ФРГ	.000	.909	1.060	.841	.509	--	--
22	КАНАДА	.000	.979	1.082	.845	.518	.259	.098
24	СССР	.000	.909	1.060	.841	.509	.249	.092
25	СССР	.000	1.209	1.185	.940	.625	.283	.126
26	СССР	.000	1.057	1.057	1.065	.534	.258	.124
27	СССР	.000	.920	1.060	.835	.498	.243	.090
27.1	СССР	.000	.921	1.070	.837	.499	.243	.090
СРЕДНЕЕ (0)		.000	.944	1.077	.861	.511	.244	.092
НЕВЯЗКА (0)		.000	.093	.073	.075	.047	.023	.021
СРЕДНЕЕ (1)		.000	.917	1.062	.839	.512	.249	.092
НЕВЯЗКА (1)		.000	.045	.035	.033	.021	.013	.021
		Im Hz						
3	КАНАДА	.000	.060	.107	.131	.113	.088	.064
6	ПОЛЬША	.000	.055	.105	.123	.097	.075	.049
8	СССР	.000	.061	.111	.135	.113	.088	.064
8.1	СССР	.000	.062	.111	.135	.113	.088	.064
9	СССР	.000	.065	.115	.136	.116	.091	.065
10	СССР	.000	.130	.201	.190	.130	.070	.031
11	СССР	.000	.056	.104	.128	.110	.087	.064
12	ЧЕХОСЛОВ.	.000	.054	.099	.123	.108	.086	.063
13	ГДР	.000	.115	.175	.154	.076	.022	.008
17	США	.000	.066	.113	.134	.114	.088	.061
18	ФРГ	.000	.073	.122	.142	.129	.091	.069
19	ФРГ	.000	.070	.118	.138	.116	--	--
22	КАНАДА	.000	.071	.116	.133	.113	.089	.065
24	СССР	.000	.070	.117	.136	.115	.089	.065
25	СССР	.000	.188	.205	.204	.161	.093	.054
26	СССР	.000	.184	.184	.192	.143	.092	.062
27	СССР	.000	.058	.106	.127	.108	.086	.064
27.1	СССР	.000	.057	.106	.127	.108	.086	.064
СРЕДНЕЕ (0)		.000	.082	.127	.143	.115	.083	.058
НЕВЯЗКА (0)		.000	.042	.035	.025	.017	.016	.016
СРЕДНЕЕ (1)		.000	.069	.118	.136	.115	.087	.061
НЕВЯЗКА (1)		.000	.021	.024	.016	.011	.006	.009

Re E_x

		.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
3	КАНАДА	.126	.687	1.069	1.079	1.039	1.014	1.006
6	ПОЛЬША	.118	.659	1.088	1.082	1.035	1.019	1.016
8	СССР	.124	.672	1.073	1.084	1.043	1.018	1.009
8.1	СССР	.124	.672	1.073	1.084	1.043	1.018	1.009
10	СССР	.176	.680	1.040	1.070	1.040	1.030	1.030
11	СССР	.122	.666	1.070	1.080	1.030	1.010	1.000
12	ЧЕХОСЛОВ.	.138	.690	1.080	1.090	1.050	1.020	1.010
17	США	.113	.644	1.070	1.080	1.030	1.010	1.000
18	ФРГ	.143	.711	1.048	1.073	1.034	1.008	1.001
19	ФРГ	.095	.613	1.080	1.080	1.040	-	-
20	СССР	.120	.690	1.100	1.080	1.040	1.020	1.010
22	КАНАДА	.101	.692	1.078	1.075	1.034	1.009	1.001
26	СССР	.151	.872	.966	1.062	1.031	1.007	1.000

СРЕДНЕЕ (0)	.127	.688	1.064	1.078	1.038	1.015	1.008
НЕВЯЗКА (0)	.021	.060	.033	.007	.006	.007	.009
СРЕДНЕЕ (1)	.123	.673	1.072	1.080	1.037	1.014	1.006
НЕВЯЗКА (1)	.016	.026	.016	.005	.005	.005	.006

Im E_x

3	КАНАДА	-.032	-.015	.000	.006	.004	.000	-.002
6	ПОЛЬША	-.029	-.006	.014	.020	.015	.012	.010
8	СССР	-.031	-.012	.005	.011	.009	.005	.003
8.1	СССР	-.031	-.012	.005	.011	.009	.005	.003
10	СССР	-.030	-.010	.003	.009	.008	.007	.010
11	СССР	-.031	-.012	.004	.011	.008	.004	.002
12	ЧЕХОСЛОВ.	-.030	-.012	.003	.010	.008	.005	.002
17	США	-.031	-.013	.003	.010	.008	.004	.001
18	ФРГ	-.032	-.012	.002	.009	.007	.004	.002
19	ФРГ	-.028	-.014	.002	.010	.008	-	-
20	СССР	-.029	-.017	-.007	-.001	-.002	-.006	-.006
22	КАНАДА	-.033	-.012	.005	.010	.008	.004	.001
26	СССР	-.032	-.009	-.005	.002	.003	.001	.000

СРЕДНЕЕ (0)	-.031	-.012	.003	.009	.007	.004	.002
НЕВЯЗКА (0)	.001	.003	.005	.005	.004	.004	.004
СРЕДНЕЕ (1)	-.031	-.012	.002	.009	.007	.005	.002
НЕВЯЗКА (1)	.001	.002	.004	.003	.002	.003	.004

		.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
		R_k (EP)						
3	КАНАДА	2.36	3.38	6.83	16.90	37.80	63.30	86.20
6	ПОЛЬША	2.40	3.30	7.10	20.50	49.50	74.30	92.40
8	СССР	2.17	3.19	6.74	16.86	37.60	64.30	85.76
8.1	СССР	2.18	3.21	6.80	17.06	38.19	64.47	87.40
8.2	СССР	2.21	3.21	6.74	16.99	38.10	64.34	87.28
9	СССР	2.35	3.33	6.62	17.32	37.13	63.46	96.84
10	СССР	2.44	3.42	6.66	16.75	38.74	64.01	85.34
11	СССР	2.37	3.37	6.77	16.70	37.80	64.00	86.90
12	ЧЕХОСЛОВ.	2.24	3.26	6.81	16.86	36.89	62.89	85.49
13	ГДР	2.48	3.58	7.46	19.96	48.29	80.09	96.70
14	СССР	1.98	3.05	7.02	18.40	40.30	66.90	87.70
15	СССР	1.70	3.76	10.20	24.20	45.30	70.60	89.30
14.1	СССР	2.23	3.20	6.51	16.09	35.67	59.81	81.69
15.1	СССР	2.29	3.28	6.68	16.66	37.42	62.99	85.58
17	США	2.35	3.33	6.68	16.80	37.78	63.28	83.45
18	ФРГ	2.33	3.31	6.59	16.13	41.26	64.25	85.36
19	ФРГ	2.38	3.37	6.66	16.58	37.52	-	-
22	КАНАДА	2.26	3.31	6.94	17.19	38.15	64.18	87.07
24	СССР	2.38	3.36	6.66	16.51	37.42	63.84	87.06
25	СССР	2.60	4.90	7.80	16.50	36.10	68.50	97.50
26	СССР	3.05	6.75	7.28	13.20	38.80	68.10	97.30
27	СССР	2.30	3.31	6.80	17.10	38.59	64.92	87.89
27.1	СССР	2.30	3.31	6.80	17.12	38.58	64.90	87.82
27.2	СССР	2.30	3.32	6.82	17.17	38.67	65.00	87.83
СРЕДНЕЕ (0)		2.32	3.53	7.00	17.31	39.23	65.76	88.52
НЕВЯЗКА (0)		.23	.77	.74	1.97	3.52	4.30	4.49
СРЕДНЕЕ (1)		2.31	3.39	6.86	17.19	38.35	65.11	88.52
НЕВЯЗКА (1)		.12	.36	.30	1.09	1.96	3.03	4.49

		R_k (HP)						
3	КАНАДА	1.68	47.20	114.00	116.00	108.00	103.00	101.00
6	ПОЛЬША	1.47	43.48	118.39	117.19	107.16	103.95	103.14
8	СССР	1.63	45.23	115.17	117.44	108.84	103.56	101.90
8.1	СССР	1.63	45.23	115.17	117.44	108.84	103.56	101.90
11	СССР	1.58	44.60	114.00	116.00	108.00	102.00	101.00
12	ЧЕХОСЛОВ.	2.00	47.66	115.90	118.50	109.70	104.50	102.80
14	СССР	1.59	43.90	107.00	110.00	103.00	99.70	100.00
15	СССР	1.37	54.00	108.00	116.00	106.00	101.00	99.80
14.1	СССР	1.72	47.66	119.40	121.90	113.10	107.60	105.70
15.1	СССР	1.31	42.72	114.70	115.80	107.10	101.90	100.30
17	США	1.37	41.47	114.40	115.60	107.00	101.80	100.00
18	ФРГ	2.14	50.52	109.74	115.04	106.97	101.65	100.28

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
20 СССР	1.75	52.20	144.00	145.00	135.00	128.00	125.00
22 КАНАДА	1.12	47.96	116.20	115.60	106.92	101.87	100.26
26 СССР	2.37	76.10	93.30	113.00	106.00	101.00	100.00
СРЕДНЕЕ (0)	1.65	48.66	114.62	118.03	109.44	104.34	102.87
НЕВЯЗКА (0)	.33	8.36	10.30	7.89	7.40	6.81	.6.33
СРЕДНЕЕ (1)	1.60	46.70	114.01	116.11	107.62	102.65	101.29
НЕВЯЗКА (1)	.27	3.64	3.69	2.67	2.25	1.94	1.67

МОДЕЛЬ 2Д-1 (EP, T=10.0, Z=1.25)

УЧАСТНИК / X= .0 .5 1.0 2.0 4.0 8.0 16.0

Re E_y

3 КАНАДА	.205	.255	.338	.433	.558	.676	.792
8 СССР	.202	.251	.333	.438	.553	.672	.788
11 СССР	.206	.256	.339	.445	.561	.680	.797
13 ГДР	.226	.296	.412	.553	.692	.808	.882
18 ФРГ	.193	.243	.325	.429	.546	.678	.788
22 КАНАДА	.205	.255	.339	.444	.559	.678	.795
25 СССР	-	.273	.372	.497	.638	.782	.910
26 СССР	.218	.280	.370	.501	.641	.781	.910
СРЕДНЕЕ (0)	.208	.264	.354	.467	.594	.719	.833
НЕВЯЗКА (0)	.011	.018	.029	.045	.055	.059	.057
СРЕДНЕЕ (1)	.208	.264	.345	.467	.594	.719	.833
НЕВЯЗКА (1)	.011	.018	.018	.045	.055	.059	.057

Im E_y

3 КАНАДА	.368	.336	.279	.207	.131	.068	.031
8 СССР	.364	.333	.277	.205	.130	.065	.029
11 СССР	.369	.337	.280	.207	.131	.065	.028
13 ГДР	.531	.494	.426	.336	.239	.152	.095
18 ФРГ	.363	.334	.280	.209	.135	.067	.038
22 КАНАДА	.366	.335	.278	.205	.129	.064	.028
25 СССР	-	.422	.364	.289	.206	.130	.076
26 СССР	.451	.417	.361	.281	.197	.124	.076
СРЕДНЕЕ (0)	.402	.376	.318	.242	.162	.092	.050
НЕВЯЗКА (0)	.065	.061	.058	.052	.044	.037	.027
СРЕДНЕЕ (1)	.402	.376	.318	.242	.162	.092	.050
НЕВЯЗКА (1)	.065	.061	.058	.052	.044	.037	.027

Re H_x

3 КАНАДА	.722	.753	.794	.817	.827	.836	.854
8 СССР	1.337	.534	.644	.755	.807	.830	.853
11 СССР	.724	.755	.796	.818	.827	.836	.855

УЧАСТНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
13 ГДР	1.358	1.158	.950	.985	.992	.981	.951
18 ФРГ	.716	.746	.786	.811	.821	.832	.851
22 КАНАДА	.829	.780	.754	.810	.825	.835	.854
25 СССР	1.754	.758	.830	.715	.757	.862	.931
26 СССР	.087	.598	.760	.880	.894	.904	.920

СРЕДНЕЕ (0)	.941	.760	.789	.824	.844	.864	.884
НЕВЯЗКА (0)	.518	.184	.085	.081	.071	.053	.043
СРЕДНЕЕ (1)	.941	.703	.789	.824	.823	.848	.884
НЕВЯЗКА (1)	.518	.096	.085	.081	.040	.027	.043

	Im H _X						
3 КАНАДА	.366	.298	.201	.140	.113	.094	.071
8 СССР	.543	.234	.171	.131	.111	.094	.072
11 СССР	.372	.303	.203	.141	.113	.094	.071
13 ГДР	.695	.475	.294	.219	.178	.144	.108
18 ФРГ	.368	.302	.207	.147	.121	.099	.066
22 КАНАДА	.378	.282	.189	.137	.112	.093	.071
25 СССР	.717	.300	.211	.134	.113	.108	.067
26 СССР	.160	.228	.194	.145	.108	.093	.075

СРЕДНЕЕ (0)	.450	.303	.209	.149	.121	.102	.075
НЕВЯЗКА (0)	.189	.076	.037	.029	.023	.018	.014
СРЕДНЕЕ (1)	.450	.278	.197	.139	.113	.096	.070
НЕВЯЗКА (1)	.189	.033	.014	.006	.004	.006	.003

МОДЕЛЬ 2Д-1 (НР, T=10.0, Z=1.25)	Т а б л и ц а П1.13							
УЧАСТНИК / X=	.0	.5	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0

	Re E _X							
3 КАНАДА	.006	-	-	1.056	.997	.956	.935	.928
8 СССР	.014	-	1.090	1.064	1.001	.959	.938	.931
11 СССР	.006	.719	-	1.050	.995	.952	.931	.923
18 ФРГ	.005	.545	-	1.056	.994	.951	.929	.922
22 КАНАДА	-	-	1.075	1.052	.993	.952	.930	.923
25 СССР	.011	-	1.078	1.039	.986	.930	.907	.933
26 СССР	.014	-	1.094	1.054	.997	.950	.926	.921

СРЕДНЕЕ (0)	.009	.632	1.084	1.053	.995	.950	.928	.926
НЕВЯЗКА (0)	.004	.123	.009	.008	.005	.009	.010	.005
СРЕДНЕЕ (1)	.009	.632	1.084	1.053	.995	.953	.931	.926
НЕВЯЗКА (1)	.004	.123	.009	.008	.005	.003	.004	.005

	Im E _X							
3 КАНАДА	.001	-	-	.087	.081	.076	.073	.070
8 СССР	-.003	-	.101	.095	.086	.081	.078	.075

УЧАСНИК / X=	.0	.5	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
11 СССР	.001	.064	-	.092	.085	.080	.077	.074
18 ФРГ	.001	.047	-	.090	.083	.079	.076	.074
22 КАНАДА	-	-	-	.095	.092	.085	.080	.076
25 СССР	-.002	-	.093	.088	.092	.094	.090	.063
26 СССР	-.003	-	.098	.089	.079	.076	.075	.073
СРЕДНЕЕ (0)	-.001	.056	.097	.090	.084	.081	.078	.072
НЕВЯЗКА (0)	.002	.012	.004	.003	.004	.006	.006	.004
СРЕДНЕЕ (1)	-.001	.056	.097	.090	.084	.079	.076	.073
НЕВЯЗКА (1)	.002	.012	.004	.003	.004	.002	.002	.002

МОДЕЛЬ 2Д-1 (ЕР, T=10.0, Z=6.0)

Т а б л и ц а П1.14

УЧАСНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
8 СССР	.314	.315	.318	.329	.362	.433	.529
11 СССР	.320	.321	.324	.335	.368	.440	.537
13 ГДР	.444	.442	.441	.445	.466	.520	.585

Re E_y

8 СССР	.266	.265	.264	.258	.241	.213	.195
11 СССР	.266	.266	.264	.258	.242	.213	.194
13 ГДР	.387	.387	.385	.378	.355	.312	.269

Im E_y

УЧАСНИК / X=	.0	.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	16.0
8 СССР	.619	.620	.622	.627	.638	.646	.646	.646
11 СССР	.609	.610	.612	.620	.633	.641	.640	.640

Re E_x

8 СССР	.252	.252	.252	.253	.254	.255	.254	.254
11 СССР	.251	.251	.251	.252	.254	.254	.254	.254

Im E_x

УЧАСНИК / X=	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0	42.0	80.0	
3 КАНАДА	.974	.727	.649	.669	.704	.682	.676	.735

Т а б л и ц а П1.16

3 КАНАДА	.974	.727	.649	.669	.704	.682	.676	.735	.976	1.009
6 ПОЛЬША	.971	.723	.646	.666	.699	.678	.673	.730	.972	1.005
8 СССР	.972	.722	.646	.664	.698	.676	.672	.730	.973	1.002
10 СССР	.910	.650	.610	.630	.680	.670	.650	.690	.920	.970
12 ЧЕХОСЛОВ.	.970	.715	.640	.656	.689	.668	.664	.721	.971	1.004
13 ГДР	.966	.707	.531	.550	.684	.661	.656	.714	.968	1.003
14 СССР	.958	.676	.603	.615	.649	.629	.633	.687	.961	1.000

УЧАСТИК / X=	-42.0	-22.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0	42.0	80.0
15.1 СССР	.969	.713	.640	.657	.691	.669	.665	.721	.971	1.010
15.2 СССР	.977	.742	.664	.688	.723	.701	.692	.750	.978	1.010
16 СССР	-	.702	.631	.649	.681	.659	.657	.714	-	-
18 ФРГ	-	.684	.607	.624	.657	.636	.632	.691	-	-
19 ФРГ	.980	.742	.661	.685	.721	.699	.691	.748	-	-
24 СССР	.982	.735	.650	.675	.710	.684	.679	.751	.983	1.009
25 СССР	.966	.719	.643	.657	.687	.669	.667	.723	.968	1.006
26 СССР	.965	.698	.641	.656	.682	.668	.669	.721	.967	1.006
СРЕДНЕЕ (0)	.966	.710	.631	.649	.690	.670	.665	.722	.967	1.003
НЕВЯЗКА (0)	.018	.025	.033	.034	.020	.019	.018	.021	.016	.011
СРЕДНЕЕ (1)	.971	.715	.638	.656	.693	.673	.665	.722	.972	1.008
НЕВЯЗКА (1)	.007	.020	.019	.021	.018	.016	.018	.021	.006	.003

$\text{Im } E_Y$

3 КАНАДА	-.128	-.257	-.285	-.303	-.310	-.297	-.280	-.256	-.126	-.033
6 ПОЛЬША	-.129	-.254	-.284	-.302	-.309	-.296	-.279	-.255	-.128	-.021
8 СССР	-.128	-.258	-.286	-.303	-.310	-.297	-.280	-.257	-.127	-.020
10 СССР	-.120	-.260	-.280	-.290	-.290	-.280	-.270	-.240	-.100	-.025
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.128	-.256	-.282	-.299	-.308	-.293	-.277	-.255	-.127	-.021
13 ГДР	-.121	-.248	-.275	-.291	-.299	-.285	-.270	-.247	-.121	-.019
14 СССР	-.126	-.268	-.297	-.311	-.318	-.302	-.285	-.259	-.120	-.008
15.1 СССР	-.112	-.235	-.263	-.278	-.281	-.272	-.257	-.234	-.107	.000
15.2 СССР	-.099	-.228	-.258	-.274	-.279	-.267	-.251	-.226	-.097	.000
16 СССР	-	-.249	-.276	-.291	-.299	-.285	-.270	-.248	-	-
18 ФРГ	-	-.247	-.272	-.289	-.297	-.283	-.268	-.247	-	-
19 ФРГ	-.127	-.265	-.295	-.315	-.321	-.308	-.290	-.264	-	-
24 СССР	-.127	-.258	-.286	-.302	-.305	-.277	-.236	-.264	-.125	-.021
25 СССР	-.124	-.252	-.281	-.295	-.303	-.289	-.274	-.250	-.122	-.011
26 СССР	-.133	-.258	-.287	-.306	-.315	-.301	-.281	-.255	-.133	-.011
СРЕДНЕЕ (0)	-.123	-.253	-.280	-.297	-.303	-.289	-.271	-.250	-.119	-.011
НЕВЯЗКА (0)	.009	.011	.011	.011	.012	.012	.014	.011	.012	.010
СРЕДНЕЕ (1)	-.125	-.255	-.282	-.297	-.303	-.289	-.274	-.252	-.119	-.011
НЕВЯЗКА (1)	.005	.008	.009	.011	.012	.012	.010	.009	.012	.010

$\text{Re } H_X$

3 КАНАДА	.958	1.043	1.077	1.022	.944	1.029	1.081	1.049	.959	1.005
6 ПОЛЬША	.949	1.041	1.075	1.020	.944	1.027	1.078	1.048	.950	.995
8 СССР	.958	1.047	1.079	1.024	.944	1.031	1.084	1.052	.959	1.003
10 СССР	.930	1.050	1.050	1.020	.930	.990	1.050	1.040	.950	.990
12 ЧЕХОСЛОВ.	.943	1.040	1.070	1.020	.943	1.030	1.080	1.050	.944	.988
13 ГДР	.952	1.048	1.074	1.025	.944	1.032	1.080	1.053	.953	1.001
18 ФРГ	-	1.058	1.087	1.036	.953	1.043	1.093	1.063	-	-
19 ФРГ	.959	1.033	1.075	1.014	.940	1.020	1.077	1.036	-	-
24 СССР	.961	1.033	1.081	1.010	.937	1.027	1.123	1.040	.963	1.005

УЧАСТНИК / X=	-42.0	-22.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0	42.0	80.0
25 СССР	.956	1.046	1.062	1.003	.969	1.039	1.064	1.045	.963	1.001
26 СССР	.961	1.051	1.058	1.029	.998	1.033	1.056	1.039	.967	1.003
СРЕДНЕЕ (0)	.953	1.045	1.072	1.020	.950	1.027	1.079	1.047	.956	.999
НЕВЯЗКА (0)	.010	.008	.011	.009	.019	.014	.019	.008	.008	.006
СРЕДНЕЕ (1)	.955	1.045	1.072	1.020	.945	1.031	1.074	1.045	.956	.999
НЕВЯЗКА (1)	.006	.008	.011	.009	.010	.006	.013	.006	.008	.006

I_m H_x

3 КАНАДА	-.059	.137	.178	.121	.071	.131	.179	.140	-.058	-.034
6 ПОЛЬША	-.048	.148	.189	.132	.084	.142	.189	.151	-.048	-.015
8 СССР	-.058	.142	.182	.124	.073	.134	.184	.145	-.058	-.022
10 СССР	-.028	.190	.180	.140	.090	.130	.190	.170	-.031	-.013
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.004	.159	.192	.140	.094	.150	.194	.162	-.039	-.007
13 ГДР	-.047	.160	.196	.140	.091	.150	.198	.162	-.047	-.018
18 ФРГ	-	.146	.183	.127	.079	.138	.185	.149	-	-
19 ФРГ	-.058	.134	.182	.121	.069	.131	.182	.135	-	-
24 СССР	-.057	.136	.190	.126	.074	.141	.157	.138	-.056	-.022
25 СССР	-.041	.148	.171	.115	.097	.144	.170	.142	-.038	-.014
26 СССР	-.028	.134	.148	.125	.109	.127	.135	.099	-.026	-.013
СРЕДНЕЕ (0)	-.043	.149	.181	.128	.085	.138	.178	.145	-.045	-.018
НЕВЯЗКА (0)	.018	.017	.013	.009	.013	.008	.018	.019	.012	.008
СРЕДНЕЕ (1)	-.047	.144	.184	.128	.085	.138	.183	.149	-.045	-.015
НЕВЯЗКА (1)	.012	.010	.007	.009	.013	.008	.012	.012	.012	.005

МОДЕЛЬ 2Д-2 (T=10.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X= -42.0 -14.0 -4.0 2.0 10.0 16.0 22.0

Т а б л и ц а П1.17

R_k (EP)

3 КАНАДА	105.00	42.10	51.00	66.10	51.50	44.50	54.10
5 ФИНЛЯНДИЯ	87.80	41.50	50.40	62.00	50.20	43.90	53.50
6 ПОЛЬША	106.30	41.90	50.50	65.00	50.90	44.20	53.60
7 ВЕНГРИЯ	-	40.80	48.60	63.80	48.90	42.80	-
8 СССР	104.47	41.66	50.07	65.03	50.45	43.85	53.12
10 СССР	97.32	39.70	45.38	62.60	52.89	43.51	48.06
11 СССР	105.00	41.80	49.90	64.50	50.60	44.10	53.20
12 ЧЕХОСЛОВ.	107.50	41.17	48.65	63.47	49.03	43.22	51.96
13 ГДР	104.40	38.76	47.52	81.92	47.68	41.78	50.38
14 СССР	105.00	38.90	43.90	60.40	44.00	40.30	45.50
15.1 СССР	104.80	39.40	46.50	61.70	46.90	41.30	49.30
15.2 СССР	105.40	41.40	51.70	69.10	52.00	43.50	54.10
16 СССР	-	39.33	46.92	62.83	46.20	41.05	49.52
18 ФРГ	-	39.87	47.46	62.14	47.86	41.96	51.10
19 ФРГ	105.79	44.08	54.51	70.12	55.17	47.07	57.64

УЧАСТНИК / X= -42.0 -22.0 -14.0 -4.0 2.0 10.0 16.0 22.0 42.0 80.0

СРЕДНЕЕ (0)	103.23	40.82	48.87	65.38	49.62	43.14	51.79
НЕВЯЗКА (0)	5.45	1.47	2.70	5.29	2.84	1.69	3.07
СРЕДНЕЕ (1)	104.63	40.59	48.46	64.20	49.62	42.85	52.28
НЕВЯЗКА (1)	2.59	1.21	2.29	2.76	2.84	1.34	2.57

 R_k (НР)

5 ФИНЛЯНДИЯ	108.50	44.60	72.10	97.00	75.10	54.90	76.80
6 ПОЛЬША	95.20	40.65	63.83	85.81	66.30	49.45	68.02
8 СССР	98.79	43.35	66.86	88.97	69.39	52.15	71.13
11 СССР	98.00	43.40	66.90	88.60	69.10	52.20	70.80
12 ЧЕХОСЛОВ.	98.62	44.45	68.82	89.67	71.53	54.14	73.66
16 СССР	-	43.19	60.53	84.58	59.10	47.75	65.10
18 ФРГ	-	46.56	72.89	95.64	76.08	56.87	78.17
20 СССР	99.60	41.80	64.70	87.90	67.00	50.05	68.60

СРЕДНЕЕ (0)	99.78	43.50	67.08	89.77	69.20	52.19	71.54
НЕВЯЗКА (0)	4.53	1.80	4.16	4.39	5.38	3.04	4.46
СРЕДНЕЕ (1)	99.78	43.50	67.08	89.77	69.20	52.19	71.54
НЕВЯЗКА (1)	4.53	1.80	4.16	4.39	5.38	3.04	4.46

МОДЕЛЬ 2Д-2 (EP, T=1000.0, Z=0)

Т а б л и ц а П1.18

УЧАСТНИК / X= -42.0 -22.0 -14.0 -4.0 2.0 10.0 16.0 22.0 42.0 80.0

		Re	E _y								
3 КАНАДА	.581	.418	.360	.360	.377	.385	.400	.442	.594	.741	
6 ПОЛЬША	.593	.427	.369	.368	.385	.394	.409	.451	.606	.759	
8 СССР	.582	.419	.361	.361	.377	.386	.401	.442	.595	.741	
9 СССР	-	.419	.361	.360	.377	.386	.401	.442	-	-	
11 СССР	.583	.417	.359	.359	.375	.384	.400	.441	.596	.741	
12 ЧЕХОСЛОВ.	.589	.423	.365	.364	.382	.390	.405	.447	.602	.751	
13 ГДР	.617	.432	.367	.366	.384	.394	.410	.457	.630	.799	
15.1 СССР	.582	.415	.357	.356	.372	.383	.399	.440	.595	.749	
15.2 СССР	.585	.417	.360	.358	.373	.384	.401	.441	.597	.752	
16 СССР	-	.477	.407	.405	.425	.437	.457	.507	-	-	
19 ФРГ	.579	.411	.352	.351	.368	.377	.393	.426	-	-	
21 КАНАДА	.562	.315	.176	.241	.310	.270	.234	.343	.576	.739	
22.1 КАНАДА	.588	.426	.368	.367	.383	.391	.405	.447	.600	.750	
24 СССР	.585	.420	.362	.361	.378	.386	.401	.443	.598	.749	
25 СССР	.691	.488	.417	.414	.433	.444	.464	.513	.704	.919	
26 СССР	.689	.483	.419	.411	.429	.447	.472	.522	.704	.916	
СРЕДНЕЕ (0)	.600	.425	.360	.363	.383	.390	.403	.450	.615	.778	
НЕВЯЗКА (0)	.040	.039	.054	.038	.029	.039	.052	.041	.041	.063	
СРЕДНЕЕ (1)	.586	.433	.372	.371	.388	.398	.415	.457	.599	.753	
НЕВЯЗКА (1)	.012	.026	.022	.021	.022	.024	.026	.030	.013	.011	

ЧАСТИК / X= -42.0 -22.0 -14.0 -4.0 2.0 10.0 16.0 22.0 42.0 80.0

Im E_y

3	КАНАДА	.109	.199	.228	.230	.225	.228	.224	.202	.112	.037
6	ПОЛЬША	.107	.198	.228	.230	.225	.227	.229	.202	.110	.033
8	СССР	.104	.195	.224	.226	.221	.224	.220	.198	.107	.033
9	СССР	-	.193	.223	.225	.220	.223	.218	.195	-	-
11	СССР	.103	.194	.223	.226	.221	.223	.219	.197	.106	.030
12	ЧЕХОСЛОВ.	.113	.205	.234	.236	.231	.234	.230	.208	.115	.038
13	ГДР	.150	.239	.267	.270	.266	.269	.265	.244	.152	.071
15.1	СССР	.122	.211	.239	.243	.238	.241	.236	.216	.125	.050
15.2	СССР	.116	.203	.230	.233	.229	.232	.227	.207	.119	.045
16	СССР	-	.251	.283	.288	.283	.286	.281	.256	-	-
19	ФРГ	.102	.194	.223	.225	.220	.223	.219	.196	-	-
21	КАНАДА	.119	.277	.338	.309	.272	.314	.345	.285	.121	.035
22.1	КАНАДА	.098	.185	.213	.216	.211	.213	.210	.189	.101	.028
24	СССР	.103	.193	.222	.224	.219	.222	.218	.196	.105	.031
25	СССР	.135	.239	.273	.276	.271	.274	.268	.244	.138	.036
26	СССР	.145	.255	.287	.293	.290	.289	.282	.256	.150	.039
СРЕДНЕЕ (0)		.116	.214	.246	.247	.240	.245	.243	.218	.120	.039
НЕВЯЗКА (0)		.017	.028	.034	.030	.026	.031	.036	.029	.017	.011
СРЕДНЕЕ (1)		.114	.210	.240	.243	.240	.241	.236	.214	.120	.036
НЕВЯЗКА (1)		.014	.023	.025	.026	.026	.025	.025	.024	.017	.006

Re H_x

3	КАНАДА	1.038	1.846	2.312	1.986	1.697	1.936	2.124	1.805	1.030	.917
6	ПОЛЬША	1.048	1.892	2.357	2.020	1.731	1.972	2.164	1.849	1.040	.926
8	СССР	1.028	1.858	2.325	1.984	1.690	1.938	2.138	1.818	1.022	.920
9	СССР	-	1.851	2.299	1.974	1.695	1.932	2.118	1.808	-	-
11	СССР	1.030	1.850	2.310	1.980	1.700	1.930	2.130	1.820	1.020	.914
12	ЧЕХОСЛОВ.	1.050	1.880	2.340	2.020	1.720	1.960	2.150	1.830	1.040	.925
13	ГДР	1.105	1.998	2.480	2.131	1.831	2.086	2.289	1.957	1.096	.966
19	ФРГ	1.036	1.865	2.320	1.988	1.705	1.943	2.132	1.838	-	-
21	КАНАДА	.868	1.705	3.302	1.792	.864	1.976	3.522	1.751	.869	.882
22	КАНАДА	1.027	1.855	2.355	1.984	1.631	1.945	2.199	1.830	1.021	.917
22.1	КАНАДА	1.033	1.826	2.274	1.972	1.686	1.930	2.110	1.798	1.027	.918
24	СССР	1.036	1.853	2.302	1.975	1.695	1.929	2.115	1.812	1.029	.918
25	СССР	1.204	2.208	2.571	2.179	2.040	2.246	2.308	2.084	1.194	1.023
26	СССР	1.242	2.100	2.372	2.254	2.090	2.125	2.095	1.827	1.230	1.021
СРЕДНЕЕ (0)		1.057	1.899	2.423	2.017	1.698	1.989	2.257	1.845	1.051	.937
НЕВЯЗКА (0)		.090	.125	.265	.110	.276	.095	.370	.082	.091	.044
СРЕДНЕЕ (1)		1.058	1.875	2.355	2.016	1.762	1.969	2.159	1.826	1.051	.937
НЕВЯЗКА (1)		.053	.092	.082	.068	.142	.063	.067	.046	.091	.044

УЧАСТНИК / X= -42.0 -22.0 -14.0 -4.0 2.0 10.0 16.0 22.0 42.0 80.0

Im H _x											
3	КАНАДА	.058	-.008	.023	.035	.025	-.040	-.090	-.072	.487	.413
6	ПОЛЬША	.061	-.004	.025	.038	.027	-.039	-.089	-.070	.052	.045
8	СССР	.062	-.005	.025	.038	.028	-.038	-.089	-.070	.054	.045
9	СССР	-	-.001	.025	.037	.022	-.050	-.084	-.051	-	-
11	СССР	.057	-.003	.029	.040	.026	-.037	-.084	-.068	.048	.040
12	ЧЕХОСЛОВ.	.061	-.016	.030	.037	.026	-.041	-.088	-.077	.053	.046
13	ГДР	.081	.082	.154	.140	.104	.053	.015	.006	.070	.050
19	ФРГ	.057	.002	.031	.044	.030	-.033	-.082	-.040	-	-
21	КАНАДА	.073	-.212	.150	-.051	.100	-.139	-.156	-.258	.072	.043
22	КАНАДА	.057	-.020	.029	.033	.028	-.043	-.095	-.085	.049	.040
22.1	КАНАДА	.055	-.002	.039	.044	.031	-.028	-.066	-.061	.047	.039
24	СССР	.056	-.004	.023	.037	.026	-.037	-.086	-.067	.048	.040
25	СССР	.036	-.004	.034	.032	.023	-.054	-.092	-.080	.024	.012
26	СССР	.030	-.010	.005	.014	-.006	-.054	-.081	-.061	.014	.011
СРЕДНЕЕ (0)		.057	-.015	.044	.037	.035	-.041	-.083	-.075	.085	.069
НЕВЯЗКА (0)		.013	.062	.046	.038	.030	.038	.035	.057	.128	.109
СРЕДНЕЕ (1)		.059	.001	.026	.036	.024	-.041	-.085	-.061	.048	.037
НЕВЯЗКА (1)		.011	.025	.008	.008	.010	.008	.007	.023	.017	.013

Re H _z											
3	КАНАДА	-.626	-.948	-.405	.261	.183	.064	.454	.869	.601	.271
6	ПОЛЬША	-.627	-.969	-.409	.273	.187	.058	.458	.889	.603	.271
8	СССР	-.608	-.957	-.404	.269	.186	.057	.451	.879	.585	.231
9	СССР	-	-.968	-.408	.272	.185	.055	.460	.890	-	-
11	СССР	-.630	-.965	-.409	.265	.184	.062	.458	.885	.605	.271
12	ЧЕХОСЛОВ.	-.637	-.936	-.407	.259	.186	.081	.460	.863	.611	.271
13	ГДР	-.662	-1.040	-.440	.279	.194	.068	.494	.955	.635	.281
19	ФРГ	-.631	-.983	-.413	.278	.188	.054	.461	.929	-	-
21	КАНАДА	-.655	-3.048	-.463	2.152	3.181	-1.876	.460	3.042	.630	.261
22	КАНАДА	-.621	-1.047	-.413	.348	.196	-.025	.454	.977	.597	.271
22.1	КАНАДА	-.615	-.960	-.408	.260	.177	.052	.454	.887	.594	.270
24	СССР	-.625	-.971	-.407	.278	.187	.053	.455	.890	.597	.261
25	СССР	-.769	-1.096	-.349	.295	.263	.173	.599	.998	.765	.431
26	СССР	-.817	-.815	-.536	.068	.242	.301	.587	1.044	.853	.432
СРЕДНЕЕ (0)		-.656	-1.122	-.419	.397	.205	-.059	.479	1.071	.640	.296
НЕВЯЗКА (0)		.063	.558	.041	.509	.041	.528	.049	.570	.083	.069
СРЕДНЕЕ (1)		-.642	-.973	-.410	.262	.197	.081	.460	.920	.620	.269
НЕВЯЗКА (1)		.043	.066	.025	.063	.026	.078	.011	.057	.050	.013

Im H _z											
3	КАНАДА	.019	.036	-.003	.034	.056	.070	.019	-.061	-.035	.011
6	ПОЛЬША	.018	.036	-.003	.034	.057	.071	.019	-.062	-.034	.011

УЧАСТНИК / X=	-42.0	-22.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0	42.0	80.0
8 СССР	.018	.038	-.004	.033	.055	.070	.019	-.064	-.033	.021
9 СССР	-	.034	-.003	.037	.060	.064	-.001	-.065	-	-
11 СССР	.016	.030	-.005	.037	.058	.070	.020	-.058	-.032	.016
12 ЧЕХОСЛОВ.	.022	.030	-.005	.037	.058	.069	.020	-.057	-.038	.014
13 ГДР	-.006	-.029	-.030	.061	.074	.073	.045	-.012	-.016	.011
19 ФРГ	.012	.030	-.007	.035	.059	.073	.022	-.045	-	-
21 КАНАДА	.012	.258	-.156	.032	.073	.286	.144	-.415	-.030	.022
22 КАНАДА	.018	.046	-.011	.033	.056	.081	.023	-.080	-.034	.015
22.1 КАНАДА	.011	.026	-.010	.034	.054	.066	.022	-.052	-.026	.018
24 СССР	.015	.035	-.005	.032	.056	.072	.020	-.061	-.031	.017
25 СССР	.000	.004	-.007	.051	.062	.079	.030	-.036	-.024	.019
26 СССР	.018	.031	-.001	.037	.077	.043	.029	-.058	-.055	.006
СРЕДНЕЕ (0)	.013	.043	-.018	.038	.061	.085	.031	-.080	-.032	.016
НЕВЯЗКА (0)	.008	.065	.040	.008	.008	.059	.034	.098	.009	.004
СРЕДНЕЕ (1)	.015	.027	-.007	.036	.060	.069	.022	-.055	-.030	.017
НЕВЯЗКА (1)	.006	.019	.007	.005	.006	.009	.010	.016	.006	.003

МОДЕЛЬ 2Д-2 (НР, T=1000.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.19

УЧАСТНИК / X=	-42.0	-22.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0	42.0	80.0
---------------	-------	-------	-------	------	-----	------	------	------	------	------

				Re E _x						
3 КАНАДА	1.096	.905	.392	.932	1.201	.942	.613	.903	1.078	1.023
6 ПОЛЬША	1.095	.859	.373	.897	1.200	.914	.592	.862	1.076	1.017
8 СССР	1.107	.870	.378	.910	1.214	.927	.600	.874	1.089	1.031
12 ЧЕХОСЛОВ.	1.090	.921	.436	.913	1.160	.948	.677	.913	1.070	1.020
19 ФРГ	1.086	.817	.356	.815	1.130	.798	.533	.796	1.051	1.011
20 СССР	1.090	.840	.358	.860	1.195	.900	.570	.840	1.080	1.008
21 КАНАДА	1.193	.033	.013	.030	1.765	.025	.011	.031	1.173	1.040
22 КАНАДА	1.095	.902	.300	.918	1.248	.923	.483	.894	1.076	1.019
22.1 КАНАДА	1.094	.831	.396	.823	1.181	.849	.618	.911	1.071	1.018
25 СССР	1.081	.869	.385	.936	1.177	.949	.615	.883	1.061	1.003
26 СССР	1.083	.933	.414	.923	1.201	.932	.642	.931	1.063	1.010
СРЕДНЕЕ (0)	1.101	.798	.346	.814	1.243	.828	.541	.803	1.081	1.018
НЕВЯЗКА (0)	.031	.257	.116	.263	.176	.270	.183	.259	.032	.011
СРЕДНЕЕ (1)	1.092	.875	.379	.893	1.191	.908	.594	.881	1.071	1.016
НЕВЯЗКА (1)	.008	.039	.037	.044	.032	.049	.055	.040	.011	.008

				Im E _x						
3 КАНАДА	.009	.002	-.023	.004	.018	.005	-.012	.001	.007	.001
6 ПОЛЬША	.021	.010	-.019	.013	.031	.013	-.006	.009	.019	.012
8 СССР	.023	.010	-.019	.013	.032	.014	-.006	.010	.021	.014
12 ЧЕХОСЛОВ.	.012	.004	-.020	.004	.017	.005	-.008	.003	.010	.004
19 ФРГ	.012	.000	-.024	.000	.015	-.005	-.017	-.005	.006	.003
20 СССР	.013	.002	-.023	.006	.023	.006	-.012	.002	.011	.002

УЧАСТНИК / X=	-42.0	-22.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0	42.0	80.0
21 КАНАДА	.030	.001	.000	.001	.056	.001	.000	.001	.028	.013
22 КАНАДА	.016	.005	-.027	.005	.028	.005	-.017	.007	.014	.007
22.1 КАНАДА	.017	.000	-.023	.000	.023	-.001	-.011	.007	.013	.006
25 СССР	.018	.010	-.015	.014	.025	.014	-.004	.009	.015	.010
26 СССР	.007	.001	-.025	.001	.014	.000	-.015	.001	.006	.000
СРЕДНЕЕ (0)	.016	.004	-.020	.006	.026	.005	-.010	.004	.014	.007
НЕВЯЗКА (0)	.007	.004	.007	.005	.012	.006	.006	.005	.007	.005
СРЕДНЕЕ (1)	.015	.004	-.022	.006	.023	.005	-.010	.004	.012	.007
НЕВЯЗКА (1)	.005	.004	.004	.005	.006	.006	.006	.005	.005	.005

УЧАСТНИК / X=	-42.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0
$R_k(\text{EP})$							
3 КАНАДА	20.30	2.14	2.90	4.20	3.36	2.93	4.54
5 ФИНЛЯНДИЯ	16.10	2.00	2.90	3.80	3.00	2.90	4.80
6 ПОЛЬША	20.70	2.10	2.90	4.20	3.30	2.90	4.50
8 СССР	20.69	2.10	2.89	4.20	3.33	2.87	4.46
9 СССР	-	2.14	2.90	4.16	3.34	2.91	4.48
11 СССР	20.80	2.12	2.89	4.17	3.34	2.90	4.47
12 ЧЕХОСЛОВ.	20.47	2.14	2.91	4.20	3.37	2.94	4.53
13 ГДР	20.35	2.06	2.80	4.02	3.23	2.82	4.34
15.1 СССР	20.90	1.82	2.68	4.21	3.05	2.51	3.97
15.2 СССР	21.30	1.80	2.74	4.44	3.09	2.50	3.99
16 СССР	-	1.96	2.75	4.11	3.18	2.72	4.42
19 ФРГ	20.16	2.03	2.76	3.97	3.19	2.79	4.09
21 КАНАДА	22.60	.70	2.50	11.70	2.30	.70	3.30
22 КАНАДА	20.87	2.01	2.88	4.53	3.29	2.68	4.39
22.1 КАНАДА	20.89	2.19	2.92	4.22	3.35	2.94	4.57
СРЕДНЕЕ (0)	20.47	1.95	2.82	4.68	3.18	2.67	4.32
НЕВЯЗКА (0)	1.45	.37	.12	1.95	.27	.56	.36
СРЕДНЕЕ (1)	20.84	2.04	2.84	4.17	3.24	2.81	4.40
НЕВЯЗКА (1)	.64	.12	.08	.18	.12	.15	.23

УЧАСТНИК / X=	-42.0	-14.0	-4.0	2.0	10.0	16.0	22.0
$R_k(\text{HP})$							
5 ФИНЛЯНДИЯ	79.00	10.40	54.00	92.00	56.00	25.70	50.50
6 ПОЛЬША	75.37	8.74	50.52	90.49	52.52	22.11	46.66
8 СССР	77.00	9.02	51.98	95.55	54.01	22.61	47.91
11 СССР	77.30	9.18	52.60	92.80	54.00	22.90	48.10
12 ЧЕХОСЛОВ.	74.06	11.96	52.37	84.90	56.38	28.77	52.32
16 СССР	-	4.02	34.52	75.73	31.33	11.60	33.77
20 СССР	79.00	8.50	51.50	95.00	53.70	21.60	47.20
22 КАНАДА	75.26	5.71	52.87	97.80	53.43	14.69	50.19
22.1 КАНАДА	75.10	9.87	42.52	87.56	45.31	23.98	52.12
СРЕДНЕЕ (0)	76.51	8.60	49.21	90.20	50.74	21.55	47.64
НЕВЯЗКА (0)	1.86	2.40	6.45	6.74	7.95	5.30	5.60
СРЕДНЕЕ (1)	76.51	8.60	51.05	92.01	53.17	21.55	49.37
НЕВЯЗКА (1)	1.86	2.40	3.59	4.28	3.43	5.30	2.20

		Re E _y									
2	КАНАДА	.848	.622	.489	.375	.401	.535	.671	.847	.904	.943
3	КАНАДА	.848	.623	.489	.375	.401	.535	.672	.848	.904	.943
6	ПОЛЬША	.851	.625	.491	.376	.402	.536	.673	.849	.905	.944
8	СССР	.853	.624	.488	.373	.399	.532	.670	.847	.903	.943
10	СССР	.870	.640	.500	.380	.400	.540	.680	.860	.920	.950
11	СССР	.851	.624	.490	.376	.403	.536	.672	.849	.905	.944
12	ЧЕХОСЛОВ.	.851	.623	.488	.373	.399	.534	.671	.848	.905	.944
15	СССР	.864	.635	.499	.383	.410	.547	.687	.866	.920	.956
16	СССР	.872	.635	-	.381	.404	.538	.675	.852	.907	.946
17	США	.851	.625	.491	.376	.402	.535	.672	.848	.904	.942
18	ФРГ	.845	.619	.487	.373	.400	.535	.670	.845	.901	.940
19	ФРГ	.859	.637	.502	.389	.415	.548	.686	.861	.916	.953
22	КАНАДА	.851	.627	.490	.372	.397	.533	.672	.849	.906	.945
25	СССР	.827	.607	.493	.386	.413	.531	.656	.830	.894	.936
26	СССР	.842	.590	.488	.388	.408	.527	.664	.847	.907	.939
СРЕДНЕЕ (0)		.852	.624	.492	.378	.404	.536	.673	.850	.907	.945
НЕВЯЗКА (0)		.011	.012	.005	.006	.005	.006	.008	.008	.007	.005
СРЕДНЕЕ (1)		.854	.626	.491	.378	.403	.535	.674	.851	.907	.944
НЕВЯЗКА (1)		.009	.008	.004	.006	.005	.005	.006	.006	.007	.004

		Im E _y									
2	КАНАДА	-.104	-.065	.021	.078	.065	-.035	-.180	-.259	-.226	-.176
3	КАНАДА	-.101	-.064	.023	.079	.067	-.034	-.180	-.260	-.226	-.176
6	ПОЛЬША	-.103	-.065	.020	.075	.062	-.037	-.182	-.262	-.228	-.177
8	СССР	-.102	-.063	.024	.078	.065	-.032	-.178	-.259	-.225	-.175
10	СССР	-.090	-.060	.030	.080	.070	-.030	-.180	-.260	-.220	-.170
11	СССР	-.102	-.063	.023	.079	.066	-.035	-.179	-.260	-.227	-.177
12	ЧЕХОСЛОВ.	-.101	-.062	.024	.079	.066	-.032	-.178	-.259	-.225	-.175
15	СССР	-.079	-.040	.044	.096	.083	-.011	-.155	-.235	-.202	-.152
16	СССР	-.090	-.047	-	.095	.083	-.015	-.159	-.237	-.204	-.155
17	США	-.103	-.065	.020	.074	.061	-.038	-.181	-.260	-.226	-.176
18	ФРГ	-.095	-.056	.032	.086	.073	-.024	-.174	-.258	-.225	-.175
19	ФРГ	-.104	-.071	.011	.064	.051	-.046	-.187	-.262	-.227	-.176
22	КАНАДА	-.103	-.068	.020	.074	.062	-.036	-.184	-.263	-.227	-.176
25	СССР	-.081	-.029	.036	.097	.079	-.001	-.131	-.213	-.198	-.155
26	СССР	-.091	-.019	.029	.086	.073	-.013	-.147	-.231	-.205	-.169
СРЕДНЕЕ (0)		-.097	-.056	.026	.081	.068	-.028	-.172	-.252	-.219	-.171
НЕВЯЗКА (0)		.008	.015	.008	.009	.009	.012	.016	.015	.011	.009
СРЕДНЕЕ (1)		-.098	-.058	.024	.081	.070	-.030	-.175	-.255	-.219	-.172
НЕВЯЗКА (1)		.007	.012	.006	.009	.008	.010	.012	.011	.011	.008

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
$\operatorname{Re} H_x$										
2 КАНАДА	.911	.941	1.234	1.485	1.509	1.189	.820	.746	.812	.897
3 КАНАДА	.913	.941	1.234	1.484	1.508	1.189	.821	.747	.812	.897
6 ПОЛЬША	.905	.942	1.228	1.437	1.459	1.187	.827	.745	.809	.890
8 СССР	.912	.938	1.241	1.498	1.524	1.188	.817	.740	.806	.900
10 СССР	.900	.910	1.200	1.390	1.410	1.160	.800	.730	.800	.880
11 СССР	.914	.945	1.230	1.480	1.510	1.180	.825	.747	.814	.900
12 ЧЕХОСЛОВ.	.898	.937	1.200	1.390	1.410	1.160	.827	.746	.806	.883
17 США	.912	.946	1.268	1.494	1.517	1.223	.823	.742	.811	.898
18 ФРГ	.908	.943	1.266	1.483	1.509	1.225	.824	.747	.814	.899
19 ФРГ	.915	.449	1.249	1.465	1.489	1.210	.827	.749	.818	.902
22 КАНАДА	.914	.939	1.244	1.482	1.508	1.223	.822	.746	.817	.902
25 СССР	.932	1.175	1.175	1.301	1.484	1.155	.812	.767	.866	.910
26 СССР	.991	1.126	1.126	1.439	1.320	1.054	.876	.857	.885	.885
СРЕДНЕЕ (0)	.917	.933	1.223	1.448	1.474	1.180	.825	.755	.821	.896
НЕВЯЗКА (0)	.024	.166	.039	.057	.060	.045	.017	.032	.025	.009
СРЕДНЕЕ (1)	.911	.974	1.231	1.461	1.486	1.191	.820	.746	.815	.896
НЕВЯЗКА (1)	.009	.084	.027	.038	.040	.025	.008	.008	.017	.009

							$\operatorname{Im} H_x$			
2 КАНАДА	-.021	.094	.134	.248	.188	.089	.145	.091	.016	-.049
3 КАНАДА	-.018	.096	.135	.249	.189	.089	.146	.092	.018	-.049
6 ПОЛЬША	-.010	.104	.152	.277	.220	.106	.149	.095	.024	-.040
8 СССР	-.021	.097	.145	.263	.200	.105	.149	.096	.024	-.052
10 СССР	.000	.120	.170	.310	.260	.130	.160	.100	.030	-.030
11 СССР	-.018	.097	.138	.250	.189	.092	.147	.094	.018	-.050
12 ЧЕХОСЛОВ.	.000	.111	.171	.304	.251	.126	.149	.097	.031	-.028
17 США	-.018	.099	.132	.262	.200	.087	.150	.095	.019	-.050
18 ФРГ	-.023	.101	.117	.244	.182	.060	.149	.095	.019	-.049
19 ФРГ	-.019	.093	.131	.250	.191	.083	.140	.087	.014	-.052
22 КАНАДА	-.019	.092	.130	.256	.197	.068	.145	.093	.012	-.053
25 СССР	.017	.150	.150	.191	.274	.103	.162	.101	.043	-.022
26 СССР	.076	.138	.138	.267	.164	.134	.135	.061	.043	.043
СРЕДНЕЕ (0)	-.006	.107	.142	.259	.208	.098	.148	.092	.024	-.037
НЕВЯЗКА (0)	.027	.018	.016	.029	.033	.023	.007	.010	.010	.026
СРЕДНЕЕ (1)	-.013	.104	.142	.265	.208	.098	.148	.095	.024	-.044
НЕВЯЗКА (1)	.012	.014	.016	.022	.033	.023	.007	.004	.010	.011

							$\operatorname{Re} H_z$			
2 КАНАДА	-.072	-.321	-.567	-.145	.240	.731	.428	.093	-.044	-.041
3 КАНАДА	-.070	-.322	-.571	-.145	.242	.735	.430	.092	-.046	-.043
6 ПОЛЬША	-.068	-.313	-.528	-.140	.236	.688	.420	.089	-.040	-.043
8 СССР	-.061	-.312	-.558	-.121	.212	.717	.414	.091	-.043	-.041
8.4 СССР	—	—	-.517	—	—	.675	—	—	-.039	—

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
8.5 СССР	-	-	.561	-	-	.720	-	-	.043	-
10 СССР	-.060	-.290	-.540	-.130	.220	.700	.400	.090	-.050	-.050
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.070	-.319	-.503	-.148	.245	.661	.427	.092	-.031	-.042
17 США	-.070	-.314	-.531	-.147	.244	.691	.420	.089	-.042	-.042
18 ФРГ	-.057	-.313	-.483	-.135	.233	.645	.426	.093	-.033	-.041
19 ФРГ	-.062	-.305	-.483	-.139	.234	.640	.413	.083	-.042	-.047
22 КАНАДА	-.074	-.327	-.525	-.146	.241	.691	.426	.088	-.041	-.044
25 СССР	-.092	-.340	-.340	-.319	.123	.503	.304	.076	-.022	-.024
26 СССР	-.147	-.280	-.280	-.233	.185	.468	.372	.073	-.025	-.025
СРЕДНЕЕ (0)	-.075	-.313	-.499	-.162	.221	.662	.407	.087	-.039	-.040
НЕВЯЗКА (0)	.024	.016	.086	.057	.035	.080	.036	.007	.008	.008
СРЕДНЕЕ (1)	-.069	-.316	-.516	-.148	.230	.677	.416	.089	-.040	-.042
НЕВЯЗКА (1)	.010	.013	.060	.029	.018	.060	.017	.005	.007	.006

		Im	H _Z							
2 КАНАДА	-.109	-.162	-.071	-.138	.261	-.042	.087	.161	.222	.144
3 КАНАДА	-.111	-.163	-.072	-.139	.156	.043	.087	.161	.222	.144
6 ПОЛЬША	-.110	-.169	-.110	-.141	.158	.004	.092	.158	.204	.140
8 СССР	-.110	-.173	-.096	-.154	.177	-.017	.096	.157	.212	.140
8.4 СССР	-	-	-.131	-	-	-.030	-	-	.205	-
8.5 СССР	-	-	-.091	-	-	-.023	-	-	.213	-
10 СССР	-.100	-.170	-.100	-.130	.150	-.008	.090	.150	.200	.130
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.111	-.166	-.121	-.137	.152	.023	.089	.159	.197	.141
17 США	-.111	-.168	-.109	-.137	.151	.001	.092	.158	.207	.140
18 ФРГ	-.103	-.162	-.129	-.139	.165	.041	.088	.157	.199	.139
19 ФРГ	-.110	-.171	-.138	-.140	.157	.044	.097	.159	.199	.138
22 КАНАДА	-.111	-.167	-.123	-.142	.156	.016	.092	.160	.208	.145
25 СССР	-.107	-.139	-.139	-.132	.092	.051	.107	.167	.167	.123
26 СССР	-.143	-.143	-.143	-.125	.109	.101	.107	.167	.135	.135
СРЕДНЕЕ (0)	-.111	-.163	-.112	-.138	.157	.015	.094	.160	.199	.138
НЕВЯЗКА (0)	.011	.011	.024	.007	.040	.039	.007	.005	.023	.006
СРЕДНЕЕ (1)	-.108	-.165	-.112	-.136	.148	.008	.094	.160	.204	.140
НЕВЯЗКА (1)	.004	.008	.024	.005	.025	.031	.007	.004	.014	.004

МОДЕЛЬ 2Д-ЗА (НР, Т=100.0, Z=.0)											Т а б л и ц а П1.22
УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0	

		Re	E _X								
2 КАНАДА	.997	1.002	1.134	.265	.250	.043	4.029	3.991	4.376	.705	
3 КАНАДА	.997	1.001	1.134	.265	.250	.043	4.017	3.986	4.370	.706	
6 ПОЛЬША	.987	.995	1.132	.254	.239	-	3.990	3.950	4.260	.669	
8 СССР	.999	1.010	1.150	.266	.239	.052	4.020	4.110	4.300	.715	
10 СССР	.960	.970	-	.260	.240	-	4.020	3.990	-	.700	
12 ЧЕХОСЛОВ.	.999	1.010	-	.266	.251	-	4.030	3.980	-	.708	

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
17 США	.997	1.005	-	.267	.253	-	3.999	3.955	-	.712
18 ФРГ	.987	.997	-	.262	.247	-	3.996	3.937	-	.704
22 КАНАДА	.998	1.001	1.138	.267	.254	.043	3.996	3.950	4.321	.720
25 СССР	.976	.990	1.070	.246	.235	.063	4.266	4.226	-	.679
26 СССР	.997	1.017	1.046	.264	.250	.074	4.312	4.194	-	.629
СРЕДНЕЕ (0)	.990	1.000	1.115	.262	.246	.053	4.061	4.024	4.325	.695
НЕВЯЗКА (0)	.012	.012	.040	.007	.007	.013	.114	.103	.049	.021
СРЕДНЕЕ (1)	.993	1.003	1.115	.264	.246	.053	4.036	4.024	4.325	.702
НЕВЯЗКА (1)	.008	.008	.040	.004	.007	.013	.082	.103	.049	.016

Im E_x

2 КАНАДА	-.080	-.113	-.174	-.073	-.085	-.005	-.381	-.437	-.580	-.185
3 КАНАДА	-.079	-.112	-.174	-.074	-.086	-.005	-.378	-.434	-.577	-.185
6 ПОЛЬША	-.062	-.094	-.154	-.055	-.068	-	-.353	-.401	-.534	-.171
8 СССР	-.076	-.109	-.179	-.071	-.094	-.016	-.364	-.513	-.548	-.187
10 СССР	-.040	-.070	-	-.050	-.060	-	-.150	-.220	-	.160
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.075	-.109	-	-.062	-.075	-	-.377	-.426	-	.183
17 США	-.076	-.108	-	-.069	-.081	-	-.371	-.418	-	.187
18 ФРГ	-.076	-.111	-	-.079	-.090	-	-.335	-.379	-	.181
22 КАНАДА	-.076	-.109	-.171	-.068	-.081	-.005	-.367	-.417	-.590	-.188
25 СССР	-.030	-.098	-.141	-.035	-.048	.009	-.372	-.414	-	.138
26 СССР	-.084	-.127	-.145	-.075	-.084	-.038	-.378	-.451	-	.149
СРЕДНЕЕ (0)	-.069	-.105	-.163	-.065	-.077	-.010	-.348	-.410	-.566	-.174
НЕВЯЗКА (0)	.018	.014	.016	.013	.014	.016	.067	.071	.024	.017
СРЕДНЕЕ (1)	-.072	-.109	-.163	-.068	-.080	-.010	-.368	-.429	-.566	-.178
НЕВЯЗКА (1)	.013	.009	.016	.009	.010	.016	.014	.036	.024	.013

МОДЕЛЬ 2Д-ЗА (НР, T=100.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.23

УЧАСТНИК / X=	-20.0	-20.0	-20.0	.0	.0	.0	20.0	20.0	20.0	25.0
	.	.	.	Re E _x
2 КАНАДА	1.134	-	.113	.043	-	4.342	4.376	-	.438	.705
3 КАНАДА	1.134	-	.113	.043	-	4.322	4.370	-	.437	.706
6 ПОЛЬША	1.132	-	-	-	4.290	-	4.260	-	-	.669
8 СССР	1.150	-	.115	.052	-	5.200	4.300	-	.430	.715
10 СССР	-	.620	-	-	2.170	-	-	2.360	-	.700
12 ЧЕХОСЛОВ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.708
17 США	-	-	.116	-	-	4.306	-	-	.428	.712
18 ФРГ	-	.629	-	-	2.190	-	-	2.353	-	.704
22 КАНАДА	1.138	-	.114	.043	-	4.324	4.321	-	.432	.720
25 СССР	1.070	-	-	.063	-	-	-	-	.471	.679
26 СССР	1.046	-	-	.074	-	-	-	-	.483	.629
СРЕДНЕЕ (0)	1.115	.625	.114	.053	2.883	4.499	4.325	2.357	.446	.695
НЕВЯЗКА (0)	.040	.006	.001	.013	1.218	.392	.049	.005	.022	.027
СРЕДНЕЕ (1)	1.115	.625	.114	.053	2.883	4.499	4.325	2.357	.446	.702
НЕВЯЗКА (1)	.040	.006	.001	.013	1.218	.392	.049	.005	.022	.016

ЧАСТНИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

					Im	E _X					
2	КАНАДА	-.174	-.017	-.005	-	-.461	-.580	-	-.058	-.185	
3	КАНАДА	-.174	-.017	-.005	-	-.459	-.577	-	-.058	-.185	
6	ПОЛЬША	-.154	-	-	-	-.435	-.534	-	-	-.171	
8	СССР	-.179	-.018	-.016	-	-.1600	-.548	-	-.055	-.187	
10	СССР	-	-.070	-	-	-.120	-	-	-.190	-	-.160
12	ЧЕХОСЛОВ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-.183
17	США	-	-	-.018	-	-	-.474	-	-	-.056	-.187
18	ФРГ	-	-.109	-	-	-.227	-	-	-.281	-	-.181
22	КАНАДА	-.171	-.017	-.005	-	-.472	-.590	-	-.059	-.188	
25	СССР	-.141	-	-.009	-	-	-	-	-.039	-.138	
26	СССР	-.145	-	-.038	-	-	-	-	-.097	-.149	
СРЕДНЕЕ (0)		-.163	-.089	-.017	-.010	-.261	-.693	-.566	-.236	-.060	-.174
НЕВЯЗКА (0)		.016	.028	.001	.016	.160	.507	.024	.064	.018	.017
СРЕДНЕЕ (1)		-.163	-.089	-.017	-.010	-.261	-.693	-.566	-.236	-.054	-.178
НЕВЯЗКА (1)		.016	.028	.001	.016	.160	.507	.024	.064	.008	.013

МОДЕЛЬ 2Д-ЗА (T=100.0, Z=.0)

ЧАСТНИК / X= -40.0 -25.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 25.0

Т а б л и ц а П1.24

		R _k (EP)								
2	КАНАДА	13.50	6.76	1.00	1.10	10.76	21.46	17.62		
3	КАНАДА	13.50	6.78	1.00	1.11	10.80	21.50	17.60		
4	ФИНЛЯНДИЯ	14.00	7.40	1.00	1.10	10.90	19.10	17.20		
6	ПОЛЬША	13.90	6.80	1.10	1.20	10.60	21.60	18.00		
8	СССР	13.55	6.64	1.06	1.17	10.24	20.72	17.34		
11	СССР	13.60	6.72	1.01	1.11	10.60	21.50	17.50		
12	ЧЕХОСЛОВ.	14.06	6.81	1.11	1.23	10.55	21.48	18.25		
15	СССР	13.74	7.05	.97	1.05	11.49	22.73	17.55		
16	СССР	14.23	7.40	.96	1.02	11.76	22.90	17.29		
17	США	13.61	6.72	.99	1.09	10.67	21.68	17.54		
18	ФРГ	13.55	6.64	1.00	1.11	10.55	21.29	17.42		
22	КАНАДА	13.59	6.90	.99	1.08	10.79	21.63	17.50		
25	СССР	12.29	4.07	1.41	1.20	10.09	18.96	16.79		
26	СССР	11.20	4.18	1.14	1.50	9.10	16.10	17.90		
СРЕДНЕЕ (0)		13.45	6.49	1.05	1.15	10.64	20.90	17.54		
НЕВЯЗКА (0)		.79	1.03	.12	.12	.62	1.77	.36		
СРЕДНЕЕ (1)		13.62	6.89	1.02	1.12	10.75	21.27	17.54		
НЕВЯЗКА (1)		.47	.26	.06	.06	.45	1.14	.23		

		R _k (HP)								
2	КАНАДА	15.50	15.70	1.17	1.08	253.00	249.00	8.21		
3	КАНАДА	15.50	15.70	1.17	1.08	252.00	249.00	8.23		

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-15.0	-5.0	5.0	15.0	25.0
4 ФИНЛЯНДИЯ	15.50	15.80	1.10	1.10	251.20	257.90	7.50
6 ПОЛЬША	15.10	15.44	1.04	.95	248.12	243.18	8.01
8 СССР	15.61	15.96	1.06	.96	272.58	266.08	8.44
11 СССР	15.50	15.80	1.16	1.07	253.00	248.00	8.35
12 ЧЕХОСЛОВ.	15.51	15.91	1.15	1.06	253.60	247.70	8.28
15 СССР	15.59	15.89	1.16	1.07	252.70	247.60	8.48
16 СССР	15.03	16.21	1.13	1.06	247.30	252.00	8.57
17 США	15.46	15.78	1.18	1.09	249.40	244.50	8.36
18 ФРГ	15.16	15.55	1.16	1.07	248.60	241.75	8.17
20 СССР	15.20	15.65	1.14	1.05	240.00	235.00	8.10
22 КАНАДА	15.47	15.67	1.17	1.10	248.90	243.91	8.55
25 СССР	14.74	15.30	.96	.89	283.49	278.73	7.43
26 СССР	15.50	16.20	1.16	1.07	290.00	275.00	6.47
СРЕДНЕЕ (0)	15.36	15.77	1.13	1.05	256.26	251.96	8.08
НЕВЯЗКА (0)	.25	.25	.06	.06	14.15	12.37	.56
СРЕДНЕЕ (1)	15.40	15.77	1.14	1.06	253.85	250.04	8.19
НЕВЯЗКА (1)	.19	.25	.04	.05	11.03	10.28	.35

МОДЕЛЬ 2Д-ЗА (ЕР, Т=1000.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

Т а б л и ц а П1.25

	Re	E _y									
3 КАНАДА	.919	.874	.848	.827	.829	.854	.880	.914	.925	.935	
6 ПОЛЬША	.921	.875	.849	.827	.830	.855	.881	.916	.927	.936	
8 СССР	.919	.873	.848	.826	.828	.853	.879	.913	.925	.934	
10 СССР	.920	.870	.850	.820	.830	.860	.880	.920	.930	.940	
11 СССР	.920	.873	.848	.826	.829	.853	.880	.915	.926	.935	
12 ЧЕХОСЛОВ.	.923	.877	.851	.829	.832	.857	.883	.918	.929	.938	
13 ГДР	.914	.871	.846	.825	.828	.853	.879	.912	.922	.930	
15 СССР	.937	.890	.865	.844	.846	.871	.897	.932	.942	.951	
16 СССР	.944	.902	—	.858	.862	.886	.911	.942	.952	.959	
17 США	.922	.876	.851	.829	.832	.856	.883	.917	.928	.937	
18 ФРГ	.921	.875	.850	.828	.831	.855	.882	.916	.927	.936	
19 ФРГ	.915	.866	.839	.816	.819	.845	.873	.910	.922	.932	
21 КАНАДА	.924	.864	.815	.764	.768	.823	.873	.917	.931	.941	
22 КАНАДА	.920	.874	.848	.825	.828	.853	.880	.915	.926	.936	
25 СССР	.931	.892	.874	.855	.853	.873	.897	.929	.940	.948	
26 СССР	.920	.891	.881	.869	.872	.886	.902	.925	.933	.939	
СРЕДНЕЕ (0)	.923	.878	.851	.829	.832	.858	.885	.919	.930	.939	
НЕВЯЗКА (0)	.008	.010	.015	.023	.022	.015	.011	.008	.008	.008	
СРЕДНЕЕ (1)	.922	.876	.851	.834	.837	.861	.883	.918	.929	.938	
НЕВЯЗКА (1)	.006	.008	.009	.015	.015	.012	.009	.006	.006	.006	

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
<i>Im E_y</i>										
3 КАНАДА	.096	.178	.231	.275	.268	.216	.156	.090	.074	.064
6 ПОЛЬША	.093	.177	.229	.273	.266	.214	.154	.088	.072	.061
8 СССР	.091	.175	.228	.272	.265	.213	.153	.087	.071	.060
10 СССР	.090	.170	.230	.280	.270	.210	.150	.080	.070	.050
11 СССР	.094	.178	.231	.274	.267	.215	.156	.089	.073	.062
12 ЧЕХОСЛОВ.	.093	.177	.230	.274	.267	.214	.155	.088	.072	.061
13 ГДР	.092	.170	.226	.270	.263	.211	.151	.085	.070	.059
15 СССР	.094	.180	.233	.278	.270	.218	.157	.088	.071	.060
16 СССР	.078	.165	-	.265	.258	.205	.143	.075	.059	.048
17 США	.094	.177	.230	.273	.266	.214	.155	.089	.073	.063
18 ФРГ	.096	.180	.233	.277	.270	.218	.158	.091	.074	.064
19 ФРГ	.095	.179	.232	.276	.269	.216	.156	.089	.072	.062
21 КАНАДА	.079	.177	.273	.365	.357	.250	.141	.061	.049	.044
22 КАНАДА	.094	.177	.230	.276	.269	.216	.155	.089	.073	.062
25 СССР	.100	.178	.218	.258	.260	.215	.156	.090	.073	.063
26 СССР	.121	.189	.211	.243	.237	.199	.158	.102	.084	.075
СРЕДНЕЕ (0)	.094	.177	.231	.277	.270	.215	.153	.086	.071	.060
НЕВЯЗКА (0)	.009	.005	.013	.025	.025	.010	.005	.009	.007	.007
СРЕДНЕЕ (1)	.092	.177	.228	.271	.264	.213	.155	.088	.072	.060
НЕВЯЗКА (1)	.006	.003	.006	.009	.008	.005	.002	.006	.005	.005

	Re H _z									
3 КАНАДА	-.098	-.204	-.280	-.130	.158	.308	.217	.113	.079	.067
6 ПОЛЬША	-.096	-.203	-.273	-.130	.159	.300	.217	.112	.079	.066
8 СССР	-.093	-.201	-.277	-.129	.157	.304	.212	.111	.079	.067
8.4 СССР	-	-	-.269	-	-	.295	-	-	.079	-
8.5 СССР	-	-	-.282	-	-	.309	-	-	.080	-
10 СССР	-.100	-.210	-.300	-.130	.170	.330	.230	.130	.080	.070
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.097	-.204	-.265	-.130	.159	.292	.218	.113	.081	.067
13 ГДР	-.086	-.186	-.251	-.112	.151	.272	.209	.112	.075	.057
17 США	-.096	-.202	-.272	-.129	.157	.300	.215	.111	.078	.066
18 ФРГ	-.096	-.212	-.239	-.140	.171	.265	.226	.112	.082	.066
19 ФРГ	-.100	-.211	-.273	-.134	.165	.302	.226	.118	.084	.070
21 КАНАДА	-.078	-.217	-.546	-.164	.194	.587	.227	.091	.059	.046
22 КАНАДА	-.099	-.208	-.275	-.134	.161	.304	.219	.113	.080	.067
25 СССР	-.080	-.173	-.173	-.179	.060	.195	.173	.094	.065	.065
26 СССР	-.073	-.095	-.095	-.106	.084	.164	.137	.085	.050	.050
СРЕДНЕЕ (0)	-.092	-.194	-.271	-.134	.150	.302	.210	.109	.075	.063
НЕВЯЗКА (0)	.009	.032	.092	.019	.036	.091	.026	.012	.010	.008
СРЕДНЕЕ (1)	-.093	-.203	-.252	-.131	.157	.281	.216	.109	.077	.065
НЕВЯЗКА (1)	.008	.012	.054	.014	.026	.046	.015	.012	.007	.006

УЧАСТИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

					Im	H _Z							
3	КАНАДА	.093	.229	.344	.137	-.176	-.397	-.257	-.107	-.051	-.045		
6	ПОЛЬША	.090	.225	.325	.135	-.175	-.378	-.255	-.106	-.054	-.044		
8	СССР	.086	.223	.336	.132	-.170	-.388	-.250	-.106	-.053	-.045		
8.4	СССР	-	-	.320	-	-	-.371	-	-	-.054	-		
8.5	СССР	-	-	.337	-	-	-.390	-	-	-.052	-		
10	СССР	.090	.230	.350	.130	-.170	-.400	-.260	-.120	-.050	-.050		
12	ЧЕХОСЛОВ.	.091	.227	.315	.137	-.178	-.366	-.258	-.107	-.057	-.045		
13	ГДР	.085	.211	.301	.120	-.167	-.339	-.251	-.112	-.056	-.043		
17	США	.090	.224	.326	.136	-.176	-.379	-.254	-.105	-.053	-.045		
18	ФРГ	.091	.243	.275	.149	-.192	-.322	-.276	-.107	-.061	-.044		
19	ФРГ	.089	.224	.309	.134	-.175	-.362	-.255	-.106	-.055	-.044		
21	КАНАДА	.060	.213	.598	.125	-.160	-.687	-.245	-.064	-.017	-.010		
22	КАНАДА	.093	.231	.325	.139	-.178	-.379	-.257	-.106	-.054	-.045		
25	СССР	.080	.208	.208	.215	-.071	-.241	-.207	-.087	-.048	-.048		
26	СССР	.083	.120	.120	.144	-.112	-.232	-.185	-.099	-.048	-.048		
СРЕДНЕЕ (0)		.086	.216	.319	.141	-.162	-.375	-.247	-.102	-.051	-.043		
НЕВЯЗКА (0)		.009	.030	.098	.023	.033	.101	.024	.014	.010	.010		
СРЕДНЕЕ (1)		.088	.224	.313	.135	-.169	-.353	-.252	-.106	-.053	-.046		
НЕВЯЗКА (1)		.004	.010	.037	.008	.020	.054	.016	.008	.003	.002		

МОДЕЛЬ 2Д-ЗА (T=1000.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.26

УЧАСТИК / X= -40.0 -25.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 25.0

		R _k (EP)					
3	КАНАДА	6.82	5.63	3.09	3.14	5.97	6.93
4	ФИНЛЯНДИЯ	6.60	4.90	3.10	3.70	6.10	6.90
6	ПОЛЬША	6.80	5.60	3.20	3.20	5.90	6.90
8	СССР	6.88	5.65	3.24	3.29	5.97	6.96
11	СССР	6.81	5.58	3.09	3.13	5.92	6.92
12	ЧЕХОСЛОВ.	6.84	5.60	3.27	3.32	5.92	6.91
13	ГДР	6.51	5.37	3.00	3.04	5.69	6.62
15	СССР	7.04	5.84	3.04	3.08	6.22	7.19
16	СССР	6.98	5.84	2.96	2.99	6.22	7.12
17	США	6.88	5.62	3.07	3.12	5.97	6.99
18	ФРГ	6.84	5.56	3.16	3.21	5.91	6.94
21	КАНАДА	3.50	3.20	1.30	1.30	3.30	3.60
22	КАНАДА	6.83	5.64	3.09	3.13	5.96	6.94
25	СССР	6.87	5.44	3.18	3.36	6.30	6.91
26	СССР	6.20	5.53	5.34	4.23	4.85	5.92
СРЕДНЕЕ (0)		6.56	5.40	3.14	3.15	5.75	6.65
НЕВЯЗКА (0)		.87	.65	.77	.60	.75	.89
СРЕДНЕЕ (1)		6.78	5.56	3.11	3.28	5.92	6.87
НЕВЯЗКА (1)		.21	.23	.09	.32	.35	.30

ЧАСТИК / X=		-40.0	-25.0	-15.0	-5.0	5.0	15.0	25.0
		R_k (HP)						
3	КАНАДА	5.83	5.49	.30	.25	87.10	84.40	2.46
4	ФИНЛЯНДИЯ	5.80	5.60	.30	.20	90.00	86.30	2.40
6	ПОЛЬША	5.75	5.48	.28	.22	85.49	82.81	2.41
8	СССР	5.95	5.65	.28	.22	93.19	89.78	2.53
11	СССР	5.85	5.56	.30	.25	86.60	83.70	2.48
12	ЧЕХОСЛОВ.	5.86	5.58	.30	.24	87.01	83.99	2.46
13	ГДР	6.82	6.55	.32	.26	107.80	102.50	2.89
15	СССР	5.95	5.65	.30	.25	88.06	85.27	2.56
16	СССР	7.76	8.25	.36	.30	151.10	150.06	3.97
17	США	5.86	5.57	.30	.25	86.02	83.37	2.49
18	ФРГ	5.79	5.51	.29	.24	88.11	84.47	2.47
20	СССР	5.85	5.63	.30	.24	86.00	84.50	2.55
21	КАНАДА	2.90	2.60	.00	.00	60.60	52.80	1.40
22	КАНАДА	5.85	5.52	.30	.25	85.68	82.92	2.55
25	СССР	5.30	5.18	.19	.15	86.70	84.99	1.92
26	СССР	5.07	4.66	.27	.24	116.00	112.00	1.87
ПРЕДНЕЕ (0)		5.76	5.53	.27	.22	92.84	89.62	2.46
ПЕВЯЗКА (0)		.97	1.09	.08	.07	19.30	20.01	.53
ПРЕДНЕЕ (1)		5.82	5.55	.29	.24	88.96	85.59	2.36
ПЕВЯЗКА (1)		.38	.39	.03	.03	11.86	12.27	.36

МОДЕЛЬ 2Д-3Б (ЕР, T=100.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.27

ЧАСТИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

		$Re E_y$									
3	КАНАДА	.921	.689	.551	.436	.506	.667	.813	1.015	1.083	1.137
8	СССР	.924	.689	.549	.434	.502	.663	.808	1.012	1.080	1.133
17	США	.917	.686	.549	.435	.504	.663	.808	1.010	1.077	1.130
18	ФРГ	.903	.680	.546	.433	.505	.669	.811	1.013	1.081	1.135
22	КАНАДА	.921	.691	.550	.432	.499	.663	.810	1.014	1.081	1.135
25	СССР	.891	.667	.545	.441	.511	.659	.792	.988	1.055	1.108
26	СССР	.903	.662	.544	.435	.505	.663	.780	.999	1.066	1.109
ПРЕДНЕЕ (0)		.911	.681	.548	.435	.505	.664	.803	1.007	1.075	1.127
ПЕВЯЗКА (0)		.012	.012	.003	.003	.004	.003	.012	.010	.010	.013
ПРЕДНЕЕ (1)		.911	.681	.548	.434	.505	.664	.803	1.007	1.075	1.127
ПЕВЯЗКА (1)		.012	.012	.003	.001	.004	.003	.012	.010	.010	.013

		$Im E_y$									
3	КАНАДА	-.147	-.104	-.003	.065	.020	-.166	-.433	-.747	-.857	-.946
8	СССР	-.148	-.103	-.002	.063	.019	-.163	-.430	-.746	-.856	-.945
17	США	-.146	-.104	-.003	.058	.013	-.168	-.429	-.740	-.847	-.934
18	ФРГ	-.141	-.097	.007	.071	.027	-.155	-.426	-.748	-.860	-.952

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
22 КАНАДА	-.148	-.108	-.006	.059	.017	-.167	-.436	-.750	-.859	-.949
25 СССР	-.132	-.080	.011	.077	.026	-.134	-.389	-.694	-.801	-.885
26 СССР	-.145	-.075	-.003	.066	.016	-.169	-.414	-.733	-.842	-.912
СРЕДНЕЕ (0)	-.144	-.096	.000	.066	.020	-.160	-.422	-.737	-.846	-.931
НЕВЯЗКА (0)	.006	.013	.006	.007	.005	.013	.016	.020	.021	.025
СРЕДНЕЕ (1)	-.146	-.096	.000	.066	.020	-.165	-.428	-.744	-.853	-.931
НЕВЯЗКА (1)	.003	.013	.006	.007	.005	.005	.008	.006	.007	.025

Re H _x										
3 КАНАДА	.996	1.059	1.407	1.727	1.816	1.406	.964	.837	.823	.819
8 СССР	.993	1.054	1.414	1.743	1.838	1.409	.961	.832	.819	.816
17 США	.989	1.059	1.439	1.731	1.820	1.443	.964	.828	.814	.811
18 ФРГ	.990	1.043	1.431	1.716	1.810	1.439	.963	.828	.811	.798
22 КАНАДА	.995	1.054	1.415	1.720	1.816	1.442	.963	.835	.820	.816
25 СССР	.996	1.097	1.214	1.596	1.745	1.143	.954	.878	.820	.820
26 СССР	1.023	1.262	1.262	1.484	1.619	1.519	1.151	.891	.886	.886
СРЕДНЕЕ (0)	.997	1.090	1.369	1.674	1.781	1.400	.989	.847	.828	.824
НЕВЯЗКА (0)	.012	.078	.091	.097	.077	.119	.072	.026	.026	.028
СРЕДНЕЕ (1)	.993	1.061	1.369	1.674	1.807	1.443	.962	.847	.818	.813
НЕВЯЗКА (1)	.003	.019	.091	.097	.032	.041	.004	.026	.004	.008

Im H _x										
3 КАНАДА	-.059	.053	.072	.167	-.015	-.104	.062	.043	.045	.052
8 СССР	-.062	.053	.083	.181	-.007	-.087	.062	.043	.047	.052
17 США	-.057	.057	.067	.180	-.004	-.122	.064	.045	.048	.054
18 ФРГ	-.054	.053	.046	.156	-.026	-.153	.062	.042	.046	.054
22 КАНАДА	-.059	.048	.067	.176	-.004	-.138	.060	.042	.046	.052
25 СССР	-.033	.069	.080	.129	.057	-.008	.056	.056	.061	.061
26 СССР	-.017	.066	.066	.095	.084	-.076	.029	.055	.053	.053
СРЕДНЕЕ (0)	-.049	.057	.069	.155	.012	-.098	.056	.047	.049	.054
НЕВЯЗКА (0)	.017	.008	.012	.032	.041	.048	.012	.006	.006	.003
СРЕДНЕЕ (1)	-.049	.057	.069	.155	.012	-.098	.061	.047	.047	.053
НЕВЯЗКА (1)	.017	.008	.012	.032	.041	.048	.003	.006	.003	.001

Re H _z										
3 КАНАДА	-.067	-.349	-.624	-.142	.412	1.023	.706	.404	.325	.262
8 СССР	-.057	-.337	-.609	-.118	.378	1.004	.685	.397	.323	.259
17 США	-.066	-.338	-.578	-.143	.410	.970	.688	.393	.316	.256
18 ФРГ	-.086	-.368	-.550	-.154	.381	.907	.680	.383	.301	.231
22 КАНАДА	-.072	-.354	-.574	-.143	.410	.979	.701	.399	.322	.262
25 СССР	-.066	-.337	-.448	-.326	.233	.791	.568	.352	.276	.276
26 СССР	-.075	-.363	-.363	-.244	.333	.823	.633	.377	.229	.229

ЧАСТИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

СРЕДНЕЕ (0) -.070 -.349 -.535 -.181 .365 .928 .666 .386 .299 .254
НЕВЯЗКА (0) .009 .013 .095 .075 .065 .091 .049 .018 .035 .017

СРЕДНЕЕ (1) -.070 -.349 -.535 -.181 .387 .928 .666 .386 .299 .254
НЕВЯЗКА (1) .009 .013 .095 .075 .031 .091 .049 .018 .035 .017

. Im H_z

3 КАНАДА	-.114	-.156	-.035	-.125	.151	-.269	-.089	-.039	-.046	-.030
8 СССР	-.114	-.168	-.062	-.143	.188	-.234	-.075	-.036	-.044	-.029
17 США	-.114	-.162	-.078	-.123	.143	-.203	-.078	-.034	-.046	-.028
18 ФРГ	-.093	-.138	-.090	-.114	.177	-.133	-.079	-.030	-.034	-.019
22 КАНАДА	-.114	-.160	-.095	-.129	.150	-.186	-.082	-.037	-.042	-.030
25 СССР	-.101	-.143	-.094	-.116	.108	-.147	-.057	-.036	-.029	-.029
26 СССР	-.115	-.136	-.136	-.131	.134	-.140	-.074	-.041	-.026	-.026

СРЕДНЕЕ (0) -.109 -.152 -.084 -.126 .150 -.187 -.076 -.036 -.038 -.027

НЕВЯЗКА (0) .009 .013 .031 .010 .027 .052 .010 .004 .008 .004

СРЕДНЕЕ (1) -.109 -.152 -.084 -.126 .150 -.187 -.076 -.036 -.038 -.029

НЕВЯЗКА (1) .009 .013 .031 .010 .027 .052 .010 .004 .008 .002

МОДЕЛЬ 2Д-ЗБ (НР, T=100.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.28

ЧАСТИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

. Re E_x

3 КАНАДА	.980	.960	1.093	.266	.248	.030	2.538	1.338	.436	3.300
8 СССР	.994	.966	1.111	.268	.250	.039	2.565	1.363	.438	3.297
17 США	.980	.965	-	.269	.251	-	2.554	1.361	-	3.300
18 ФРГ	.963	.951	-	.262	.244	-	2.551	1.357	-	3.322
22 КАНАДА	.981	.961	1.098	.269	.253	.030	2.561	1.372	.426	3.246
25 СССР	.957	.932	1.045	.234	.213	.063	2.537	1.343	-	3.518
26 СССР	.995	.986	1.032	.266	.248	.059	2.678	1.371	-	3.536

СРЕДНЕЕ (0) .979 .960 1.076 .262 .244 .044 2.569 1.358 .433 3.360

НЕВЯЗКА (0) .014 .016 .035 .013 .014 .016 .049 .013 .006 .117

СРЕДНЕЕ (1) .979 .960 1.076 .267 .249 .044 2.551 1.358 .433 3.360

НЕВЯЗКА (1) .014 .016 .035 .003 .003 .016 .012 .013 .006 .117

. Im E_x

3 КАНАДА	-.131	-.181	-.247	-.083	-.096	-.009	-.800	-.603	-.236	-1.917
8 СССР	-.239	-.178	-.252	-.080	-.094	-.020	-.804	-.610	-.242	-1.905
17 США	-.128	-.177	-	-.078	-.092	-	-.808	-.612	-	-1.929
18 ФРГ	-.121	-.176	-	-.088	-.100	-	-.787	-.595	-	-1.771
22 КАНАДА	-.128	-.178	-.246	-.077	-.091	-.009	-.804	-.618	-.231	-1.885
25 СССР	-.053	-.104	-.160	-.011	-.020	.019	-.717	-.515	-	-1.913
26 СССР	-.117	-.179	-.209	-.081	-.093	-.043	-.815	-.608	-	-2.031

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
СРЕДНЕЕ (0)	-.131	-.168	-.223	-.071	-.084	-.012	-.791	-.594	-.236	-1.901
НЕВЯЗКА (0)	.055	.028	.039	.027	.028	.022	.034	.036	.006	.071
СРЕДНЕЕ (1)	-.131	-.178	-.223	-.081	-.094	-.012	-.803	-.608	-.236	-1.901
НЕВЯЗКА (1)	.055	.002	.039	.004	.003	.022	.009	.008	.006	.071

МОДЕЛЬ 2Д-3Б (НР, Т=100.0, Z=0)

Т а б л и ц а П1.29

УЧАСТНИК / X=	-20.0	-20.0	-20.0	.0	.0	.0	20.0	20.0	20.0	25.0
---------------	-------	-------	-------	----	----	----	------	------	------	------

Re E_x

3 КАНАДА	1.093	-	.109	.030	-	2.982	.436	-	4.358	3.300
8 СССР	1.111	-	.011	.039	-	3.900	.438	-	4.380	3.291
17 США	-	-	.112	-	-	2.994	-	-	4.292	3.300
18 ФРГ	-	.605	-	-	1.526	-	-	2.395	-	3.321
22 КАНАДА	1.098	-	.110	.030	-	3.023	.426	-	4.263	3.249
25 СССР	1.045	-	-	.063	-	-	-	-	4.563	3.511
26 СССР	1.032	-	-	.059	-	-	-	-	4.121	3.531

СРЕДНЕЕ (0)	1.076	.605	.086	.044	1.526	3.225	.433	2.395	4.330	3.360
НЕВЯЗКА (0)	.035	.000	.050	.016	.000	.450	.006	.000	.146	.117
СРЕДНЕЕ (1)	1.076	.605	.086	.044	1.526	3.225	.433	2.395	4.330	3.360
НЕВЯЗКА (1)	.035	.000	.050	.016	.000	.450	.006	.000	.146	.117

Im E_x

3 КАНАДА	-.247	-	-.025	-.009	-	-.922	-.236	-	-2.365	-1.917
8 СССР	-.252	-	-.025	-.020	-	-2.000	-.242	-	-2.420	-1.903
17 США	-	-	-.026	-	-	-.946	-	-	-2.350	-1.929
18 ФРГ	-	-.148	-	-	-.474	-	-	-1.213	-	-1.771
22 КАНАДА	-.246	-	-.025	-.009	-	-.947	-.231	-	-2.309	-1.889
25 СССР	-.160	-	-	.019	-	-	-	-	-2.283	-1.913
26 СССР	-.209	-	-	-.043	-	-	-	-	-2.145	-2.031

СРЕДНЕЕ (0)	-.223	-.148	-.025	-.012	-.474	-1.204	-.236	-1.213	-2.312	-1.907
НЕВЯЗКА (0)	.039	.000	.001	.022	.000	.531	.006	.000	.095	.076
СРЕДНЕЕ (1)	-.223	-.148	-.025	-.012	-.474	-1.204	-.236	-1.213	-2.312	-1.907
НЕВЯЗКА (1)	.039	.000	.001	.022	.000	.531	.006	.000	.095	.076

МОДЕЛЬ 2Д-3Б (Т=100.0, Z=0)

Т а б л и ц а П1.30

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-15.0	-5.0	5.0	15.0	25.0
---------------	-------	-------	-------	------	-----	------	------

R_k(EP)

3 КАНАДА	13.50	6.67	1.00	1.20	14.10	35.00	50.20
8 СССР	13.68	6.73	.97	1.16	13.97	35.22	50.30
17 США	13.59	6.62	.98	1.19	13.87	35.21	50.35
18 ФРГ	13.11	6.70	1.00	1.21	13.94	35.61	53.09
22 КАНАДА	13.55	6.80	.98	1.17	14.05	35.16	50.55

ЧАСТИК / X=	-40.0	-25.0	-15.0	-5.0	5.0	15.0	25.0
25 СССР	12.61	5.77	1.21	1.33	13.17	29.11	45.96
26 СССР	12.40	4.30	1.36	1.50	9.46	29.80	40.40
СРЕДНЕЕ (0)	13.21	6.23	1.07	1.25	13.22	33.59	48.69
СВЯЗКА (0)	.51	.92	.15	.12	1.69	2.83	4.22
СРЕДНЕЕ (1)	13.21	6.55	1.07	1.21	13.85	33.59	48.69
СВЯЗКА (1)	.51	.39	.15	.06	.34	2.83	4.22
R_k (НР)							
3 КАНАДА	15.10	14.80	1.20	1.09	110.00	33.30	252.00
8 СССР	15.10	14.87	1.21	1.10	111.65	34.44	224.15
17 США	15.10	14.87	1.21	1.10	110.90	34.40	225.80
18 ФРГ	14.57	14.47	1.18	1.08	110.18	33.91	219.06
20 СССР	14.63	14.68	1.18	1.06	106.50	33.20	215.00
22 КАНАДА	15.12	14.75	1.21	1.12	111.34	35.00	217.83
25 СССР	14.21	13.59	.85	.71	107.48	31.99	247.87
26 СССР	15.50	15.50	1.19	1.09	121.00	34.70	257.00
СРЕДНЕЕ (0)	14.92	14.69	1.15	1.04	111.13	33.87	232.34
СВЯЗКА (0)	.41	.53	.12	.14	4.39	.99	17.04
СРЕДНЕЕ (1)	14.92	14.85	1.20	1.09	109.72	33.87	232.34
СВЯЗКА (1)	.41	.32	.01	.02	1.98	.99	17.04

МОДЕЛЬ 2Д-ЗБ (ЕР, T=1000.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.31

ЧАСТИК / X= -40.0 -25.0 -20.0 -15.0 -5.0 .0 5.0 15.0 20.0 25.0

			Re	E _y					
3 КАНАДА	.932	.891	.868	.848	.853	.876	.901	.935	.947
8 СССР	.931	.890	.867	.847	.852	.875	.900	.933	.945
17 США	.934	.892	.869	.850	.854	.878	.903	.936	.948
18 ФРГ	.933	.892	.869	.849	.854	.878	.903	.936	.948
21 КАНАДА	.933	.876	.831	.782	.788	.842	.889	.933	.947
22 КАНАДА	.933	.891	.867	.847	.851	.875	.901	.935	.947
25 СССР	.945	.910	.894	.878	.878	.897	.919	.949	.960
26 СССР	.934	.910	.902	.892	.896	.910	.924	.947	.956
СРЕДНЕЕ (0)	.934	.894	.871	.849	.853	.879	.905	.938	.950
СВЯЗКА (0)	.004	.011	.021	.032	.031	.020	.011	.006	.005
СРЕДНЕЕ (1)	.933	.894	.871	.859	.863	.879	.905	.938	.950
СВЯЗКА (1)	.001	.011	.021	.018	.018	.020	.011	.006	.005

			Im	E _y					
3 КАНАДА	.076	.154	.206	.249	.234	.175	.107	.021	-.008
8 СССР	.071	.152	.204	.246	.231	.172	.104	.018	-.011
17 США	.075	.155	.206	.248	.233	.174	.107	.021	-.008
18 ФРГ	.077	.157	.209	.251	.236	.177	.108	.021	-.008

УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0
21 КАНАДА	.065	.161	.257	.349	.333	.220	.101	.000	-.031	-.051
22 КАНАДА	.074	.154	.206	.250	.235	.175	.106	.020	-.009	-.031
25 СССР	.076	.150	.188	.227	.222	.170	.103	.018	-.012	-.031
26 СССР	.098	.162	.183	.212	.197	.152	.103	.030	.001	-.017

СРЕДНЕЕ (0)	.077	.156	.207	.254	.240	.177	.105	.019	-.011	-.031
НЕВЯЗКА (0)	.010	.004	.022	.041	.040	.019	.002	.008	.009	.011
СРЕДНЕЕ (1)	.073	.156	.200	.240	.227	.171	.105	.021	-.008	-.031
НЕВЯЗКА (1)	.004	.004	.010	.015	.014	.009	.002	.004	.004	.000

Re H _Z										
3 КАНАДА	-.089	-.190	-.262	-.114	.167	.308	.225	.134	.108	.089
8 СССР	-.085	-.187	-.259	-.114	.165	.304	.220	.131	.107	.081
17 США	-.088	-.188	-.255	-.114	.166	.301	.223	.132	.106	.081
18 ФРГ	-.081	-.198	-.223	-.126	.179	.268	.232	.132	.106	.086
21 КАНАДА	-.074	-.208	-.531	-.154	.202	.579	.233	.113	.087	.068
22 КАНАДА	-.090	-.194	-.257	-.119	.170	.305	.227	.134	.109	.089
25 СССР	-.072	-.159	-.159	-.163	.070	.199	.182	.115	.087	.081
26 СССР	-.064	-.084	-.084	-.089	.094	.170	.146	.103	.065	.069

СРЕДНЕЕ (0)	-.080	-.176	-.254	-.124	.152	.304	.211	.124	.097	.081
НЕВЯЗКА (0)	.009	.040	.129	.024	.045	.123	.031	.012	.016	.010
СРЕДНЕЕ (1)	-.080	-.189	-.214	-.124	.152	.265	.220	.124	.101	.081
НЕВЯЗКА (1)	.009	.015	.068	.024	.045	.057	.018	.012	.010	.010

Im H _Z										
3 КАНАДА	.088	.226	.344	.125	-.212	-.449	-.311	-.179	-.144	-.116
8 СССР	.082	.220	.335	.121	-.205	-.440	-.303	-.176	-.143	-.114
17 США	.086	.221	.325	.124	-.211	-.429	-.307	-.175	-.141	-.113
18 ФРГ	.079	.242	.274	.141	-.226	-.368	-.328	-.177	-.141	-.112
21 КАНАДА	.058	.213	.610	.122	-.183	-.737	-.283	-.129	-.098	-.079
22 КАНАДА	.088	.228	.324	.128	-.213	-.431	-.311	-.177	-.143	-.116
25 СССР	.075	.203	.203	.209	-.098	-.282	-.263	-.163	-.121	-.121
26 СССР	.079	.116	.116	.129	-.145	-.278	-.235	-.162	-.101	-.101

СРЕДНЕЕ (0)	.079	.209	.316	.137	-.187	-.427	-.293	-.167	-.129	-.108
НЕВЯЗКА (0)	.010	.039	.143	.030	.044	.143	.031	.017	.020	.019
СРЕДНЕЕ (1)	.082	.222	.274	.127	-.199	-.382	-.293	-.173	-.129	-.113
НЕВЯЗКА (1)	.005	.012	.085	.007	.027	.075	.031	.007	.020	.000

МОДЕЛЬ 2Д-3Б (T=1000.0, Z=.0)							Т а б л и ц а П1.32			
УЧАСТНИК / X=	-40.0	-25.0	-20.0	-15.0	-5.0	.0	5.0	15.0	20.0	25.0

R _k (EP)							
3 КАНАДА	6.86	5.68	3.13	3.18	6.04	7.07	7.57
8 СССР	6.86	5.67	3.09	3.14	6.02	7.06	7.54

ЧАСТИК / X=	-40.0	-25.0	-15.0	-5.0	5.0	15.0	25.0
17 США	6.89	5.65	3.11	3.16	6.02	7.10	7.59
18 ФРГ	7.03	5.64	3.21	3.26	6.00	7.12	7.63
21 КАНАДА	3.50	3.20	1.30	1.30	3.40	3.60	3.80
22 КАНАДА	6.87	5.69	3.12	3.17	6.03	7.08	7.59
25 СССР	6.93	5.50	3.22	3.41	6.40	7.14	7.49
26 СССР	6.28	5.63	5.42	4.30	4.94	6.03	6.89
ПРЕДНЕЕ (0)	6.40	5.33	3.20	3.12	5.61	6.53	7.01
ПЕВЯЗКА (0)	1.19	.86	1.11	.83	.99	1.24	1.32
ПРЕДНЕЕ (1)	6.82	5.64	2.88	3.37	5.92	6.94	7.47
ПЕВЯЗКА (1)	.24	.06	.70	.42	.45	.40	.26
R_k (НР)							
3 КАНАДА	4.96	4.35	.27	.22	28.30	7.49	43.70
8 СССР	5.02	4.44	.27	.21	28.67	7.83	44.00
17 США	4.99	4.42	.27	.22	28.41	7.82	44.23
18 ФРГ	4.90	4.35	.26	.21	28.65	7.61	44.81
20 СССР	5.19	4.51	.26	.21	28.10	7.82	43.00
21 КАНАДА	2.30	1.90	.00	.00	22.70	8.00	17.10
22 КАНАДА	4.98	4.37	.27	.22	28.46	7.90	42.27
25 СССР	4.48	4.10	.16	.12	27.53	6.94	45.36
26 СССР	4.30	3.78	.24	.20	30.00	7.43	62.70
ПРЕДНЕЕ (0)	4.57	4.02	.22	.18	27.87	7.65	43.02
ПЕВЯЗКА (0)	.90	.83	.09	.07	2.05	.33	11.57
ПРЕДНЕЕ (1)	4.85	4.29	.25	.20	28.51	7.74	46.26
ПЕВЯЗКА (1)	.30	.24	.04	.03	.70	.20	6.71

МОДЕЛЬ 2Д-4 (T=1.0, Z=.0)	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	2.0	3.5	5.0	Т а б л и ц а П1.33
ЧАСТИК / X=								
3 КАНАДА	12.70	12.00	8.80	6.84	6.67	-	6.25	
4 ФИНЛЯНДИЯ	12.80	11.50	8.30	6.70	6.30	5.90	6.00	
6 ПОЛЬША	12.80	-	8.90	6.90	6.70	6.30	6.40	
8 СССР	12.67	12.12	8.72	6.72	6.66	6.24	6.16	
11 СССР	12.60	11.90	8.95	6.92	6.64	6.24	6.06	
12 ЧЕХОСЛОВ.	12.77	11.75	8.47	6.79	6.51	-	6.32	
14 СССР	12.65	-	8.74	-	6.64	-	6.35	
14.1 СССР	12.30	10.80	7.62	6.40	5.98	5.78	5.74	
16 СССР	13.02	-	8.23	-	6.30	-	6.26	
18 ФРГ	12.59	12.08	8.55	6.56	6.39	-	5.92	
25 СССР	12.67	11.07	9.09	7.09	6.24	-	6.20	
26 СССР	12.20	9.63	8.64	7.83	6.21	-	6.12	
27 СССР	12.66	12.10	8.72	6.71	6.65	6.21	6.15	
R_k (ЕР)								

УЧАСТНИК / X=	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	2.0	3.5	5.0
СРЕДНЕЕ (0)	12.65	11.49	8.59	6.86	6.45	6.11	6.15
НЕВЯЗКА (0)	.21	.80	.38	.37	.23	.22	.18
СРЕДНЕЕ (1)	12.69	11.70	8.68	6.76	6.49	6.11	6.18
НЕВЯЗКА (1)	.17	.48	.26	.19	.19	.22	.14

			R _k (HP)					
3	КАНАДА	11.40	11.50	9.03	6.78	6.80	-	5.71
4	ФИНЛЯНДИЯ	11.50	11.50	9.20	7.20	7.10	6.50	6.40
6	ПОЛЬША	10.71	10.88	8.35	6.16	6.17	5.75	5.29
8	СССР	11.37	11.52	9.05	6.85	6.83	6.46	5.75
11	СССР	11.30	11.40	9.58	6.82	6.80	6.48	5.74
12	ЧЕХОСЛОВ.	11.55	11.56	9.23	7.04	6.89	-	5.85
14	СССР	11.37	-	9.04	-	6.77	-	5.80
15	СССР	11.44	-	9.04	-	6.78	-	5.80
16	СССР	11.55	-	8.27	-	7.05	-	6.48
18	ФРГ	11.28	11.33	9.11	7.12	7.06	-	6.10
25	СССР	11.02	10.54	8.75	6.21	6.53	-	5.28
26	СССР	11.80	10.10	8.87	7.89	6.72	-	5.84
27	СССР	11.37	11.51	9.06	6.88	6.85	6.48	5.82
СРЕДНЕЕ (0)	11.36	11.18	8.97	6.89	6.80	6.33	5.84	
НЕВЯЗКА (0)	.26	.51	.35	.49	.24	.33	.35	
СРЕДНЕЕ (1)	11.41	11.30	8.97	6.78	6.85	6.33	5.84	
НЕВЯЗКА (1)	.19	.35	.35	.37	.16	.33	.35	

МОДЕЛЬ 2Д-4 (T=9.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X=	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	2.0	3.5	5.0
---------------	-------	------	------	------	-----	-----	-----

Т а б л и ц а П1.34

			R _k (EP)					
3	КАНАДА	24.60	10.70	6.66	4.35	3.28	-	7.98
4	ФИНЛЯНДИЯ	20.80	10.30	6.40	4.30	3.30	4.90	8.30
6	ПОЛЬША	21.80	-	6.70	4.10	3.40	4.90	8.90
8	СССР	21.88	10.78	6.64	4.30	3.27	4.67	7.86
11	СССР	22.10	10.70	6.85	4.42	3.27	4.64	7.72
12	ЧЕХОСЛОВ.	21.36	10.47	6.55	4.30	3.52	-	8.84
13	ГДР	22.13	10.82	6.73	4.41	3.44	5.02	8.38
14	СССР	21.45	-	6.57	-	3.46	-	8.79
14.1	СССР	21.60	10.60	6.32	4.36	3.18	4.59	7.64
18	ФРГ	21.18	11.77	7.19	4.59	3.29	-	7.83
25	СССР	18.62	9.98	6.98	4.95	3.46	-	7.30
26	СССР	10.20	7.18	6.52	6.18	6.16	-	7.59
27	СССР	21.86	10.78	6.64	4.30	3.27	4.67	7.86
СРЕДНЕЕ (0)	20.74	10.37	6.67	4.55	3.56	4.77	8.08	
НЕВЯЗКА (0)	3.41	1.15	.23	.55	.79	.17	.52	
СРЕДНЕЕ (1)	21.62	10.69	6.63	4.40	3.34	4.77	8.08	
НЕВЯЗКА (1)	1.33	.46	.18	.22	.11	.17	.52	

ЧАСТИК / X=	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	2.0	3.5	5.0
			R _K (НР)				
3 КАНАДА	38.30	36.20	17.40	4.20	3.55	-	18.30
4 ФИНЛЯНДИЯ	38.00	35.00	17.60	4.63	3.72	7.37	21.60
6 ПОЛЬША	38.15	36.20	16.90	3.99	3.46	5.44	20.81
8 СССР	39.22	36.94	17.40	4.06	3.54	5.15	17.69
11 СССР	38.30	35.50	19.80	4.28	3.52	4.86	16.90
12 ЧЕХОСЛОВ.	38.68	35.38	17.61	4.59	3.95	-	21.88
13 ГДР	37.80	34.95	17.21	4.46	3.63	5.52	18.37
14 СССР	38.41	-	17.23	-	3.70	-	21.59
15 СССР	38.01	-	17.47	-	3.59	-	21.95
14.1 СССР	37.10	34.80	16.50	4.03	3.52	6.37	20.70
18 ФРГ	38.35	36.57	17.71	4.47	3.68	-	21.39
20 СССР	38.40	35.50	18.48	4.37	3.48	-	17.01
25 СССР	38.49	29.36	14.25	8.63	3.42	-	15.01
26 СССР	30.90	21.10	17.90	13.10	8.37	-	14.00
27 СССР	39.41	37.10	17.52	4.08	3.55	5.18	17.91
СРЕДНЕЕ (0)	37.83	34.20	17.40	5.30	3.91	5.70	19.01
НЕВЯЗКА (0)	1.99	4.39	1.15	2.64	1.24	.88	2.61
СРЕДНЕЕ (1)	38.33	35.29	17.46	4.65	3.59	5.70	19.01
НЕВЯЗКА (1)	.57	2.02	.47	1.27	.14	.88	2.61

МОДЕЛЬ 2Д-4 (ЕР, Т=100.0, Z=0)	Т а б л и ц а П1.35									
ЧАСТИК / X=	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	.0	2.0	3.5	5.0	8.0	16.0
			Re E _Y							

3 КАНАДА	.834	.812	.804	.796	.780	.787	-	.806	.824	.850
6 ПОЛЬША	.838	-	.808	.800	.785	.792	.801	.812	-	-
8 СССР	.816	.794	.786	.778	.764	.770	.778	.788	.806	.836
10 СССР	.950	-	.926	-	.920	.920	-	.930	.940	.960
11 СССР	.841	.819	.810	.803	.788	.794	.803	.813	.831	-
12 ЧЕХОСЛОВ.	.842	.821	.813	.805	.791	.798	-	.817	.834	.862
13 ГДР	.870	.851	.843	.836	.825	.832	.840	.850	.866	.890
16 СССР	.893	-	.875	-	.857	.864	-	.882	.903	.934
18 ФРГ	.839	.817	.809	.801	.787	.794	-	.816	.830	.860
22 КАНАДА	.834	.812	.804	.795	.780	.786	-	.806	.825	.857
25 СССР	.876	.860	.854	.850	.839	.843	-	.856	.872	.905
26 СССР	.857	.853	.852	.851	.850	.850	-	.851	.853	.862
27 СССР	.815	.793	.785	.777	.762	.768	.777	.787	.805	.837
СРЕДНЕЕ (0)	.854	.823	.828	.808	.810	.815	.800	.832	.849	.878
НЕВЯЗКА (0)	.037	.024	.040	.026	.046	.044	.026	.041	.040	.040
СРЕДНЕЕ (1)	.846	.823	.820	.808	.801	.806	.800	.824	.841	.869
НЕВЯЗКА (1)	.024	.024	.029	.026	.033	.032	.026	.029	.030	.031

УЧАСТНИК / X=	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	.0	2.0	3.5	5.0	8.0	16.0
				Im E _y						
3 КАНАДА	.177	.219	.236	.253	.281	.270	-	.235	.200	.151
6 ПОЛЬША	.175	-	.234	.251	.279	.268	.251	.228	-	-
8 СССР	.173	.213	.230	.245	.273	.263	.247	.228	.194	.149
10 СССР	.090	-	.168	-	.210	.200	-	.160	.120	.074
11 СССР	.173	.215	.233	.249	.277	.265	.249	.229	.195	-
12 ЧЕХОСЛОВ.	.178	.219	.236	.252	.278	.265	-	.229	.197	.150
13 ГДР	.181	.225	.242	.259	.287	.274	.257	.236	.202	.152
16 СССР	.193	-	.227	-	.271	.256	-	.218	.169	.109
18 ФРГ	.177	.224	.236	.250	.280	.269	-	.234	.200	.150
22 КАНАДА	.177	.219	.237	.254	.283	.272	-	.235	.200	.149
25 СССР	.194	.229	.242	.251	.278	.270	-	.245	.213	.151
26 СССР	.192	.200	.202	.204	.205	.204	-	.202	.196	.178
27 СССР	.180	.221	.238	.253	.281	.270	.255	.236	.202	.154
СРЕДНЕЕ (0)	.174	.218	.228	.247	.268	.257	.252	.224	.191	.142
НЕВЯЗКА (0)	.026	.008	.021	.015	.027	.025	.004	.022	.024	.021
СРЕДНЕЕ (1)	.181	.220	.233	.252	.279	.267	.252	.230	.197	.149
НЕВЯЗКА (1)	.008	.005	.011	.004	.004	.005	.004	.011	.011	.018

	Re H _x									
3 КАНАДА	1.050	1.190	1.310	1.430	1.550	1.480	-	1.220	1.070	1.000
6 ПОЛЬША	1.050	-	1.310	1.440	1.560	1.480	1.360	1.190	-	-
8 СССР	1.050	1.190	1.310	1.440	1.550	1.480	1.370	1.220	1.070	1.010
10 СССР	.990	-	1.290	-	1.530	1.440	-	1.170	1.030	.990
11 СССР	1.040	1.190	1.300	1.420	1.540	1.460	1.350	1.210	1.070	-
12 ЧЕХОСЛОВ.	1.050	1.200	1.320	1.440	1.540	1.460	-	1.190	1.070	1.010
13 ГДР	1.070	1.220	1.350	1.480	1.600	1.510	1.390	1.240	1.100	1.030
18 ФРГ	1.040	1.210	1.300	1.390	1.520	1.440	-	1.220	1.060	1.010
22 КАНАДА	1.042	1.184	1.309	1.436	1.550	1.476	-	1.213	1.069	1.002
25 СССР	1.140	1.230	1.350	1.350	1.370	1.370	-	1.190	1.110	.991
26 СССР	1.110	1.110	1.110	1.120	1.120	1.120	-	1.110	1.110	1.080
27 СССР	1.050	1.200	1.320	1.450	1.560	1.490	1.380	1.230	1.080	1.010
СРЕДНЕЕ (0)	1.057	1.192	1.298	1.400	1.499	1.434	1.370	1.200	1.076	1.013
НЕВЯЗКА (0)	.037	.032	.062	.099	.132	.105	.016	.035	.023	.026
СРЕДНЕЕ (1)	1.049	1.202	1.315	1.428	1.534	1.462	1.370	1.208	1.076	1.006
НЕВЯЗКА (1)	.028	.016	.019	.035	.058	.037	.016	.021	.023	.012

	Im H _x									
3 КАНАДА	.015	-.078	-.166	-.250	-.308	-.269	-	.105	-.009	.021
6 ПОЛЬША	.015	-	-.167	-.251	-.312	-.269	-.198	-.085	-	-
8 СССР	.023	-.068	-.157	-.243	-.301	-.262	-.196	-.097	.002	.028
10 СССР	.030	-	-.250	-	-.440	-.380	-	.150	-.020	.010
11 СССР	.015	-.085	-.165	-.250	-.308	-.263	-.196	-.104	-.007	-
12 ЧЕХОСЛОВ.	.009	-.082	-.168	-.250	-.306	-.256	-	-.084	-.005	.018

ЧАСТИК / X= -10.0 -7.0 -6.0 -5.0 .0 2.0 3.5 5.0 8.0 16.0

13	ГДР	.004	-.097	-.189	-.278	-.345	-.296	-.221	-.118	-.019	.013
18	ФРГ	.020	-.099	-.164	-.221	-.297	-.250	-	-.116	-.004	.018
22	КАНАДА	.017	-.075	-.165	-.250	-.306	-.268	-	-.102	-.007	.022
25	СССР	-.067	-.132	-.218	-.218	-.233	-.233	-	-.114	-.066	.010
26	СССР	-.057	-.057	-.057	-.065	-.062	-.062	-	-.054	-.054	-.031
27	СССР	.022	-.068	-.156	-.241	-.297	-.257	-.194	-.096	.001	.026

СРЕДНЕЕ (0)		.004	-.084	-.169	-.229	-.293	-.255	-.201	-.102	-.017	.014
НЕВЯЗКА (0)		.032	.021	.045	.057	.087	.071	.011	.023	.022	.017
СРЕДНЕЕ (1)		.010	-.079	-.179	-.245	-.314	-.273	-.201	-.102	-.012	.018
НЕВЯЗКА (1)		.023	.014	.030	.017	.049	.039	.011	.012	.016	.007

Re H_z

3	КАНАДА	-.308	-.415	-.420	-.368	.067	.225	-	.339	.251	.127
6	ПОЛЬША	-.308	-	-.434	-.372	.073	.235	.327	.340	-	-
8	СССР	-.296	-.406	-.421	-.361	.067	.221	.312	.337	.241	.118
10	СССР	-.169	-	-.380	-	.070	.220	-	.300	.190	.040
11	СССР	-.306	-.413	-.423	-.367	.076	.241	.315	.338	.246	-
12	ЧЕХОСЛОВ.	-.302	-.409	-.413	-.358	.086	.242	-	.326	.234	.118
13	ГДР	-.275	-.392	-.409	-.355	.088	.241	.322	.329	.225	.100
18	ФРГ	-.306	-.396	-.409	-.346	.080	.229	-	.316	.262	.123
22	КАНАДА	-.313	-.426	-.434	-.380	.070	.233	-	.349	.255	.130
25	СССР	-.277	-.298	-.226	-.226	.103	.103	-	.274	.247	.134
26	СССР	-.063	-.063	-.063	-.011	.012	.012	-	.051	.051	.065
27	СССР	-.302	-.409	-.423	-.363	.066	.222	.312	.340	.248	.129

СРЕДНЕЕ (0)		-.269	-.363	-.371	-.319	.072	.202	.318	.303	.223	.108
НЕВЯЗКА (0)		.076	.111	.112	.110	.022	.071	.007	.082	.060	.031
СРЕДНЕЕ (1)		-.287	-.396	-.399	-.350	.077	.219	.318	.326	.240	.116
НЕВЯЗКА (1)		.041	.038	.059	.044	.012	.039	.007	.022	.020	.022

Im H_z

3	КАНАДА	.187	.269	.274	.235	-.037	-.132	-	-.211	-.146	-.058
6	ПОЛЬША	.187	-	.286	.238	-.041	-.140	-.202	-.212	-	-
8	СССР	.178	.263	.276	.230	-.036	-.129	-.190	-.210	-.140	-.053
10	СССР	.160	-	.360	-	-.060	-.190	-	-.280	-.170	-.040
11	СССР	.188	.272	.280	.237	-.045	-.141	-.196	-.212	-.143	-
12	ЧЕХОСЛОВ.	.186	.266	.271	.231	-.051	-.148	-	-.207	-.136	-.057
13	ГДР	.194	.283	.296	.254	-.045	-.152	-.216	-.232	-.155	-.063
18	ФРГ	.188	.258	.267	.221	-.043	-.133	-	-.194	-.157	-.057
22	КАНАДА	.189	.275	.281	.241	-.038	-.136	-	-.216	-.147	-.059
25	СССР	.187	.206	.161	.161	-.059	-.059	-	-.173	-.155	-.077
26	СССР	.042	.042	.042	.006	-.012	-.012	-	-.038	-.038	-.044
27	СССР	.175	.256	.268	.224	-.036	-.127	-.186	-.206	-.139	-.056

УЧАСТНИК / X=	-10.0	-7.0	-6.0	-5.0	.0	2.0	3.5	5.0	8.0	16.0
СРЕДНЕЕ (0)	.172	.239	.255	.207	-.042	-.125	-.198	-.199	-.139	-.051
НЕВЯЗКА (0)	.042	.072	.080	.071	.013	.046	.012	.057	.035	.011
СРЕДНЕЕ (1)	.184	.261	.275	.227	-.045	-.135	-.198	-.214	-.149	-.051
НЕВЯЗКА (1)	.009	.022	.046	.025	.009	.031	.012	.026	.010	.007

МОДЕЛЬ 2Д-4 (НР, Т=100.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X= -10.0 -7.0 -6.0 -5.0 .0 2.0 3.5 5.0 8.0 16.0

Т а б л и ц а П1.36

				Re	E _x					
3	КАНАДА	1.140	1.090	.755	.319	.224	.269	—	.871	.910
6	ПОЛЬША	1.140	1.110	.738	.299	.218	.259	.400	.860	.907
8	СССР	1.150	1.120	.749	.302	.222	.262	.387	.790	.920
10	СССР	1.100	—	.700	—	.210	.260	—	.770	.820
12	ЧЕХОСЛОВ.	1.150	1.090	.756	.326	.230	.300	—	.882	.913
13	ГДР	1.140	1.100	.752	.320	.220	.267	.405	.810	.836
18	ФРГ	1.130	.988	.755	.504	.234	.305	—	.699	.904
20	СССР	1.095	1.050	.680	.295	.211	.245	—	.763	.897
22	КАНАДА	1.139	1.098	.754	.307	.222	.263	—	.871	.907
25	СССР	1.120	.907	.683	.460	.288	.351	—	.649	.894
26	СССР	.910	.783	.738	.692	.619	.637	—	.718	.780
27	СССР	1.140	1.110	.746	.301	.221	.262	.385	.789	.917
СРЕДНЕЕ (0)	1.113	1.041	.734	.375	.260	.307	.394	.789	.884	.901
НЕВЯЗКА (0)	.066	.107	.029	.127	.115	.108	.010	.075	.046	.027
СРЕДНЕЕ (1)	1.131	1.066	.734	.343	.227	.277	.394	.789	.893	.906
НЕВЯЗКА (1)	.019	.068	.029	.075	.021	.030	.010	.075	.033	.011

				Im	E _x					
3	КАНАДА	.059	.055	.030	-.006	-.018	-.009	—	.051	.055
6	ПОЛЬША	.062	.059	.030	-.005	-.017	-.009	.009	.053	.058
8	СССР	.049	.047	.023	-.009	-.019	-.012	.004	.040	.052
10	СССР	.050	—	.030	—	-.020	-.008	—	.040	.046
12	ЧЕХОСЛОВ.	.046	.042	.021	-.008	-.019	-.008	—	.042	.046
13	ГДР	.070	.066	.037	-.003	-.017	-.008	.010	.051	.058
18	ФРГ	.053	.038	.027	.006	-.016	-.004	—	.033	.051
20	СССР	.044	.043	.019	-.007	-.016	-.009	—	.047	.061
22	КАНАДА	.061	.057	.031	-.006	-.018	-.010	—	.053	.057
25	СССР	.057	.041	.022	.004	-.007	.001	—	.032	.056
26	СССР	.027	.021	.019	.017	.017	.021	—	.030	.037
27	СССР	.039	.037	.017	-.010	-.020	-.013	.002	.035	.045
СРЕДНЕЕ (0)	.051	.046	.026	-.002	-.014	-.006	.006	.042	.052	.056
НЕВЯЗКА (0)	.012	.013	.006	.008	.010	.009	.004	.009	.007	.001
СРЕДНЕЕ (1)	.054	.046	.026	-.004	-.017	-.008	.006	.042	.053	.054
НЕВЯЗКА (1)	.009	.013	.006	.005	.004	.004	.004	.009	.006	.005

				R _k (EP)			
3	КАНАДА	37.90	28.40	22.90	18.80	17.50	- 26.90
4	ФИНЛЯНДИЯ	34.20	27.30	20.80	17.10	17.00	20.80 27.40
6	ПОЛЬША	38.20	-	23.00	18.90	17.70	21.20 28.50
8	СССР	36.17	27.27	21.90	17.88	16.75	19.94 25.72
11	СССР	38.40	28.70	23.60	19.20	17.70	21.10 27.00
12	ЧЕХОСЛОВ.	38.12	28.49	23.10	19.04	18.47	- 28.61
13	ГДР	39.05	29.25	23.55	19.29	18.37	22.13 28.49
15	СССР	37.72	-	29.16	-	15.55	- 23.01
16	СССР	37.01	-	24.58	-	19.17	- 32.87
18	ФРГ	39.12	28.26	23.60	20.61	18.78	- 27.20
22	КАНАДА	38.19	28.68	22.98	18.70	17.53	- 27.10
25	СССР	35.38	29.53	23.93	23.85	23.18	- 31.88
26	СССР	35.50	35.30	35.20	34.60	34.80	- 35.60
27	СССР	35.80	26.95	21.64	17.67	16.54	19.67 25.37
СРЕДНЕЕ (0)		37.20	28.92	24.28	20.47	19.22	20.81 28.26
НЕВЯЗКА (0)		1.53	2.27	3.68	4.77	4.82	.90 3.25
СРЕДНЕЕ (1)		37.20	28.28	23.44	19.19	18.02	20.81 27.70
НЕВЯЗКА (1)		1.53	.86	1.99	1.81	1.84	.90 2.57

				R _k (HP)			
3	КАНАДА	74.50	68.20	32.50	5.80	4.12	- 43.40
4	ФИНЛЯНДИЯ	80.30	73.10	34.80	6.50	4.80	13.70 47.40
6	ПОЛЬША	73.98	69.94	31.07	5.11	3.82	9.13 42.27
8	СССР	75.54	71.03	31.98	5.19	3.93	8.53 35.67
11	СССР	75.20	69.50	37.20	5.58	3.81	7.82 34.40
12	ЧЕХОСЛОВ.	75.02	68.37	32.60	6.07	5.13	- 44.45
13	ГДР	74.88	68.84	32.33	5.84	4.06	9.34 37.52
14	СССР	72.94	-	31.05	-	4.25	- 43.98
15	СССР	71.37	-	31.17	-	3.97	- 44.68
14.1	СССР	75.20	69.50	37.20	5.58	3.81	7.82 34.40
16	СССР	69.56	-	18.30	-	4.60	- 41.26
18	ФРГ	73.45	52.24	32.52	18.11	5.32	- 30.06
20	СССР	76.10	70.20	35.00	6.04	3.82	- 36.95
22	КАНАДА	74.12	68.86	32.47	5.36	3.93	- 43.39
25	СССР	71.06	46.99	26.64	12.04	7.02	- 24.09
26	СССР	47.20	35.00	31.00	27.30	23.10	- 29.50
27	СССР	74.65	70.23	31.73	5.15	3.91	8.47 35.56
СРЕДНЕЕ (0)		72.65	64.43	31.74	8.55	5.49	9.26 38.17
НЕВЯЗКА (0)		6.96	11.28	4.26	6.50	4.61	2.04 6.44
СРЕДНЕЕ (1)		74.24	66.69	32.58	7.11	4.39	8.52 39.06
НЕВЯЗКА (1)		2.42	7.76	2.57	3.77	.85	.64 5.50

МОДЕЛЬ 2Д-5 (T=300.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X=	-50.0	.0	30.0	65.0	100.0	150.0	220.0
Т а б л и ц а П1.38							
			R_k (EP)				
3 КАНАДА	147.00	71.20	37.10	6.22	57.10	38.70	317.00
4 ФИНЛЯНДИЯ	140.50	67.50	31.70	6.40	58.10	48.10	302.60
6 ПОЛЬША	155.70	77.30	39.50	6.30	58.10	38.00	320.50
8 СССР	148.54	71.87	37.89	6.19	58.79	39.57	320.64
11 СССР	-	71.10	37.60	6.22	57.10	40.70	324.00
12 ЧЕХОСЛОВ.	151.00	73.39	37.59	6.18	56.77	40.74	318.30
17 США	148.20	72.03	37.54	6.45	58.94	38.32	318.70
18 ФРГ	152.70	71.20	36.87	6.65	55.40	38.01	309.95
25 СССР	143.69	65.87	32.46	7.16	59.54	46.35	344.69
СРЕДНЕЕ (0)	148.42	71.27	36.47	6.42	57.76	40.94	319.60
НЕВЯЗКА (0)	4.86	3.26	2.60	.32	1.29	3.74	11.41
СРЕДНЕЕ (1)	148.42	71.27	36.47	6.33	57.76	40.94	316.46
НЕВЯЗКА (1)	4.86	3.26	2.60	.16	1.29	3.74	6.91

			R_k (HP)				
3 КАНАДА	173.00	41.80	28.80	110.00	570.00	4.83	456.00
4 ФИНЛЯНДИЯ	177.60	42.40	27.50	119.80	589.10	5.60	513.80
6 ПОЛЬША	172.78	41.69	28.96	109.55	571.91	3.67	469.40
8 СССР	174.95	42.45	30.10	111.96	574.90	4.88	461.66
11 СССР	-	41.20	28.60	108.00	556.00	5.84	564.00
12 ЧЕХОСЛОВ.	172.50	41.46	28.49	112.60	566.60	4.80	464.50
17 США	175.00	42.73	30.24	122.50	586.70	4.31	480.60
18 ФРГ	159.78	35.85	18.81	121.48	565.63	4.17	370.15
25 СССР	172.01	40.62	27.72	115.39	562.78	3.90	468.54
СРЕДНЕЕ (0)	172.20	41.13	27.69	114.59	571.51	4.67	472.07
НЕВЯЗКА (0)	5.34	2.09	3.46	5.46	10.78	.73	51.35
СРЕДНЕЕ (1)	173.98	41.79	28.80	114.59	571.51	4.67	472.07
НЕВЯЗКА (1)	1.98	.71	.98	5.46	10.78	.73	51.35

МОДЕЛЬ 2Д-5 (EP, T=3600.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / X=	-50.0	.0	30.0	50.0	65.0	80.0	100.0	130.0	150.0	180.0
Т а б л и ц а П1.39										
$Re \quad E_y$										
3 КАНАДА .923 .904 .886 .869 .863 .872 .890 .909 .918 .932										
6 ПОЛЬША .937 .912 .894 .878 .872 .880 .899 .918 .927 .941										
8 СССР .925 .906 .888 .872 .866 .910 .893 .911 .920 .934										
11 СССР - .908 .891 .875 .868 .877 .895 .914 .923 .937										
12 ЧЕХОСЛОВ. .960 .941 .922 .905 .899 .907 .926 .944 .952 .965										
17 США .932 .913 .895 .879 .873 .881 .899 .918 .926 .940										
18 ФРГ .935 .915 .897 .880 .874 .882 .901 .920 .928 .942										
25 СССР 1.010 .999 .987 .978 .980 .984 .993 1.010 1.020 1.030										

ЧАСТИК / X=	-50.0	.0	30.0	50.0	65.0	80.0	100.0	130.0	150.0	180.0
РЕДНЕЕ (0)	.946	.925	.908	.892	.887	.899	.912	.931	.939	.953
СВЯЗКА (0)	.031	.032	.034	.036	.039	.037	.035	.034	.034	.033
РЕДНЕЕ (1)	.935	.914	.896	.880	.874	.887	.900	.919	.928	.942
СВЯЗКА (1)	.013	.012	.012	.012	.012	.015	.012	.012	.011	.011
						Im E _y				
3 КАНАДА	.095	.142	.184	.221	.236	.214	.169	.129	.114	.070
6 ПОЛЬША	.084	.131	.173	.211	.226	.205	.158	.118	.104	.059
8 СССР	.088	.135	.177	.114	.229	.186	.162	.121	.106	.063
11 СССР	-	.138	.179	.216	.231	.210	.164	.123	.108	.064
12 ЧЕХОСЛОВ.	.079	.128	.171	.210	.226	.205	.157	.115	.101	.057
17 США	.089	.136	.178	.215	.229	.209	.163	.122	.108	.064
18 ФРГ	.096	.145	.187	.225	.238	.220	.174	.134	.120	.076
25 СССР	.024	.071	.115	.149	.144	.131	.100	.055	.038	-.007
						Re H _x				
3 КАНАДА	1.020	1.110	1.270	1.670	1.970	1.670	1.200	1.090	1.210	1.000
6 ПОЛЬША	1.020	1.110	1.260	1.670	1.980	1.680	1.200	1.090	1.210	1.010
8 СССР	1.030	1.120	1.270	1.680	1.990	1.680	1.200	1.090	1.210	1.010
11 СССР	-	1.110	1.260	1.660	1.970	1.660	1.190	1.080	1.200	1.000
12 ЧЕХОСЛОВ.	1.050	1.140	1.300	1.710	2.020	1.710	1.230	1.120	1.230	1.030
17 США	1.020	1.110	1.270	1.670	1.960	1.680	1.190	1.080	1.210	1.000
18 ФРГ	.995	1.110	1.260	1.660	1.920	1.660	1.190	1.080	1.210	1.000
25 СССР	1.110	1.250	1.370	1.780	1.740	1.650	1.440	1.210	1.270	1.100
						Im H _x				
3 КАНАДА	.011	-.064	-.166	-.423	-.628	-.431	-.098	-.042	-.197	.022
6 ПОЛЬША	.017	-.054	-.158	-.434	-.650	-.440	-.099	-.040	-.203	.023
8 СССР	.015	-.062	-.160	-.425	-.642	-.434	-.093	-.034	-.193	.027
11 СССР	-	-.065	-.163	-.427	-.639	-.434	-.101	-.041	-.192	.022
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.021	-.104	-.212	-.484	-.703	-.487	-.144	-.078	-.230	-.010
17 США	.092	-.067	-.173	-.437	-.641	-.442	-.098	-.039	-.206	.021
18 ФРГ	.028	-.060	-.161	-.421	-.597	-.425	-.093	-.037	-.194	.026
25 СССР	-.102	-.230	-.339	-.683	-.643	-.568	-.387	-.210	-.307	-.088

УЧАСТНИК / X= -50.0 .0 30.0 50.0 65.0 80.0 100.0 130.0 150.0 180.0

СРЕДНЕЕ (0)	.006	-.088	-.192	-.467	-.643	-.458	-.139	-.065	-.215	.005
НЕВЯЗКА (0)	.058	.059	.062	.090	.029	.049	.102	.060	.039	.040
СРЕДНЕЕ (1)	.006	-.068	-.170	-.436	-.634	-.442	-.104	-.044	-.202	.019
НЕВЯЗКА (1)	.058	.016	.019	.022	.018	.021	.018	.015	.013	.011

Re H_z

3 КАНАДА	-.166	-.260	-.402	-.414	.039	.502	.451	.217	.261	.271
6 ПОЛЬША	-.165	-.260	-.404	-.428	-.040	.530	.454	.221	.261	.281
8 СССР	-.163	-.248	-.403	-.436	.040	.544	.453	.228	.265	.259
11 СССР	-	-.235	-.369	-.405	.042	.590	.456	.249	.321	.334
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.169	-.270	-.419	-.428	.036	.511	.457	.214	.250	.270
17 США	-.172	-.263	-.404	-.429	.025	.519	.453	.219	.258	.264
18 ФРГ	-.172	-.273	-.402	-.448	.025	.516	.452	.206	.234	.271
25 СССР	-.125	-.267	-.340	-.199	.159	.202	.381	.214	.257	.239
СРЕДНЕЕ (0)	-.162	-.260	-.393	-.398	.041	.489	.445	.221	.263	.274
НЕВЯЗКА (0)	.017	.013	.026	.082	.055	.119	.026	.013	.025	.021
СРЕДНЕЕ (1)	-.168	-.260	-.400	-.427	.024	.530	.454	.217	.255	.266
НЕВЯЗКА (1)	.004	.013	.015	.014	.029	.030	.002	.007	.010	.014

Im H_z

3 КАНАДА	.109	.170	.263	.269	-.028	-.342	-.300	-.105	-.176	-.211
6 ПОЛЬША	.112	.174	.271	.287	-.030	-.371	-.307	-.111	-.179	-.222
8 СССР	.109	.178	.266	.291	-.030	-.379	-.307	-.120	-.185	-.207
11 СССР	-	.207	.305	.293	-.024	-.091	-.295	-.010	-.030	-.075
12 ЧЕХОСЛОВ.	.117	.180	.274	.283	-.030	-.357	-.316	-.117	-.179	-.223
17 США	.118	.174	.268	.286	-.028	-.363	-.306	-.111	-.178	-.214
18 ФРГ	.107	.176	.258	.294	-.020	-.353	-.302	-.096	-.148	-.220
25 СССР	.124	.242	.301	.175	-.125	-.161	-.316	-.138	-.226	-.233
СРЕДНЕЕ (0)	.114	.188	.276	.272	-.039	-.302	-.306	-.101	-.163	-.201
НЕВЯЗКА (0)	.006	.025	.018	.040	.035	.111	.007	.039	.058	.052
СРЕДНЕЕ (1)	.114	.180	.276	.286	-.027	-.302	-.306	-.114	-.182	-.219
НЕВЯЗКА (1)	.006	.012	.018	.009	.004	.111	.007	.013	.023	.008

МОДЕЛЬ 2Д-5 (ЕР, Т=3600.0, Z=0)

УЧАСТНИК / X= -50.0 .0 30.0 50.0 65.0 80.0 100.0 130.0 150.0 180.0

Т а б л и ц а П1.40

Re E_x

3 КАНАДА	.842	.403	.330	4.930	.599	.972	1.390	.475	.115	.877
6 ПОЛЬША	.849	.407	.335	4.960	.597	.959	1.410	.485	.104	.875
8 СССР	.863	.414	.344	4.970	.619	.993	1.450	.492	.119	.908
11 СССР	-	.400	.328	4.810	.592	.991	1.370	.470	.129	.838
12 ЧЕХОСЛОВ.	.849	.405	.330	5.030	.618	1.010	1.390	.480	.116	.893
17 США	.854	.412	.341	4.700	.644	.973	1.430	.516	.109	.870

УЧАСТНИК / X=	-50.0	.0	30.0	50.0	65.0	80.0	100.0	130.0	150.0	180.0
18 ФРГ	.809	.373	.265	3.380	.631	.978	1.380	.487	.105	.918
25 СССР	.814	.379	.294	5.370	.991	1.170	1.230	.447	.097	.828
СРЕДНЕЕ (0)	.840	.399	.321	4.769	.661	1.006	1.381	.482	.112	.876
НЕВЯЗКА (0)	.021	.015	.027	.594	.134	.068	.067	.020	.010	.031
СРЕДНЕЕ (1)	.840	.399	.329	4.967	.614	.982	1.403	.482	.112	.876
НЕВЯЗКА (1)	.021	.015	.016	.210	.019	.017	.029	.020	.010	.031

$\Im E_x$

3 КАНАДА	-.030	-.018	-.016	-.230	-.048	-.066	-.086	-.036	-.012	-.064
6 ПОЛЬША	-.018	-.012	-.011	-.161	-.040	-.056	-.067	-.029	-.010	-.051
8 СССР	-.015	-.011	-.011	-.144	-.038	-.051	-.076	-.029	-.011	-.050
11 СССР	-	-.016	-.014	-.202	-.045	-.062	-.079	-.033	-.012	-.058
12 ЧЕХОСЛОВ.	-.025	-.017	-.016	-.195	-.038	-.066	-.085	-.035	-.012	-.061
17 США	-.025	-.015	-.014	-.186	-.045	-.059	-.078	-.035	-.012	-.057
18 ФРГ	-.024	-.014	-.012	-.141	-.045	-.060	-.078	-.034	-.012	-.061
25 СССР	-.032	-.018	-.015	-.300	-.062	-.078	-.089	-.036	-.012	-.064
СРЕДНЕЕ (0)	.024	-.015	-.014	-.195	-.045	-.062	-.080	-.033	-.012	-.058
НЕВЯЗКА (0)	.006	.003	.002	.052	.008	.008	.007	.003	.001	.005
СРЕДНЕЕ (1)	-.024	-.015	-.014	-.180	-.043	-.062	-.080	-.033	-.012	-.058
НЕВЯЗКА (1)	.006	.003	.002	.033	.004	.008	.007	.003	.000	.005

МОДЕЛЬ 2Д-5 (T=3600.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П1.41

УЧАСТНИК / X=	-50.0	.0	30.0	65.0	100.0	150.0	220.0
---------------	-------	----	------	------	-------	-------	-------

$R_k(\Sigma P)$

3 КАНАДА	120.00	97.80	72.40	27.10	82.50	82.80	135.00
4 ФИНЛЯНДИЯ	106.40	85.90	60.30	25.20	81.60	80.30	121.70
6 ПОЛЬША	121.30	100.10	74.20	26.90	83.00	82.80	135.50
8 СССР	117.73	96.57	72.24	26.52	81.80	86.44	132.58
11 СССР	-	98.80	74.10	27.20	83.30	84.90	137.00
12 ЧЕХОСЛОВ.	122.40	99.88	73.35	27.16	82.65	83.82	134.00
17 США	122.20	99.50	73.48	27.59	84.51	83.50	137.30
18 ФРГ	128.89	101.05	75.06	29.28	85.23	84.75	140.12
25 СССР	118.29	90.21	71.40	41.33	64.68	86.99	137.13
СРЕДНЕЕ (0)	119.65	96.65	71.84	28.70	81.03	84.03	134.48
НЕВЯЗКА (0)	6.36	5.16	4.47	4.85	6.24	2.03	5.26
СРЕДНЕЕ (1)	121.54	97.99	73.28	27.12	83.07	84.03	136.08
НЕВЯЗКА (1)	3.71	3.44	1.20	1.13	1.26	2.03	2.32

$R_k(\Pi P)$

3 КАНАДА	103.00	23.50	15.70	52.10	280.00	1.94	195.00
4 ФИНЛЯНДИЯ	116.20	26.40	16.60	63.40	318.60	2.50	241.20
6 ПОЛЬША	104.09	23.95	16.18	51.60	287.00	1.58	205.17

УЧАСТИК / X=		-50.0	.0	30.0	65.0	100.0	150.0	220.0
8	СССР	107.60	24.82	17.09	55.48	293.96	2.04	205.34
11	СССР	-	23.10	15.60	50.90	272.00	2.41	240.00
12	ЧЕХОСЛОВ.	104.30	23.68	15.76	55.31	282.10	1.95	202.60
17	США	105.40	24.52	16.87	60.10	295.10	1.73	210.40
18	ФРГ	94.63	20.11	10.14	57.50	276.07	1.62	159.04
25	СССР	95.93	20.75	12.50	142.32	219.88	1.38	194.00
СРЕДНЕЕ (0)		103.89	23.43	15.16	65.41	280.52	1.91	205.86
НЕВЯЗКА (0)		6.74	1.96	2.32	29.13	26.59	.37	24.74
СРЕДНЕЕ (1)		103.89	23.43	15.79	55.80	288.10	1.91	205.86
НЕВЯЗКА (1)		6.74	1.96	1.44	4.39	14.74	.37	24.74

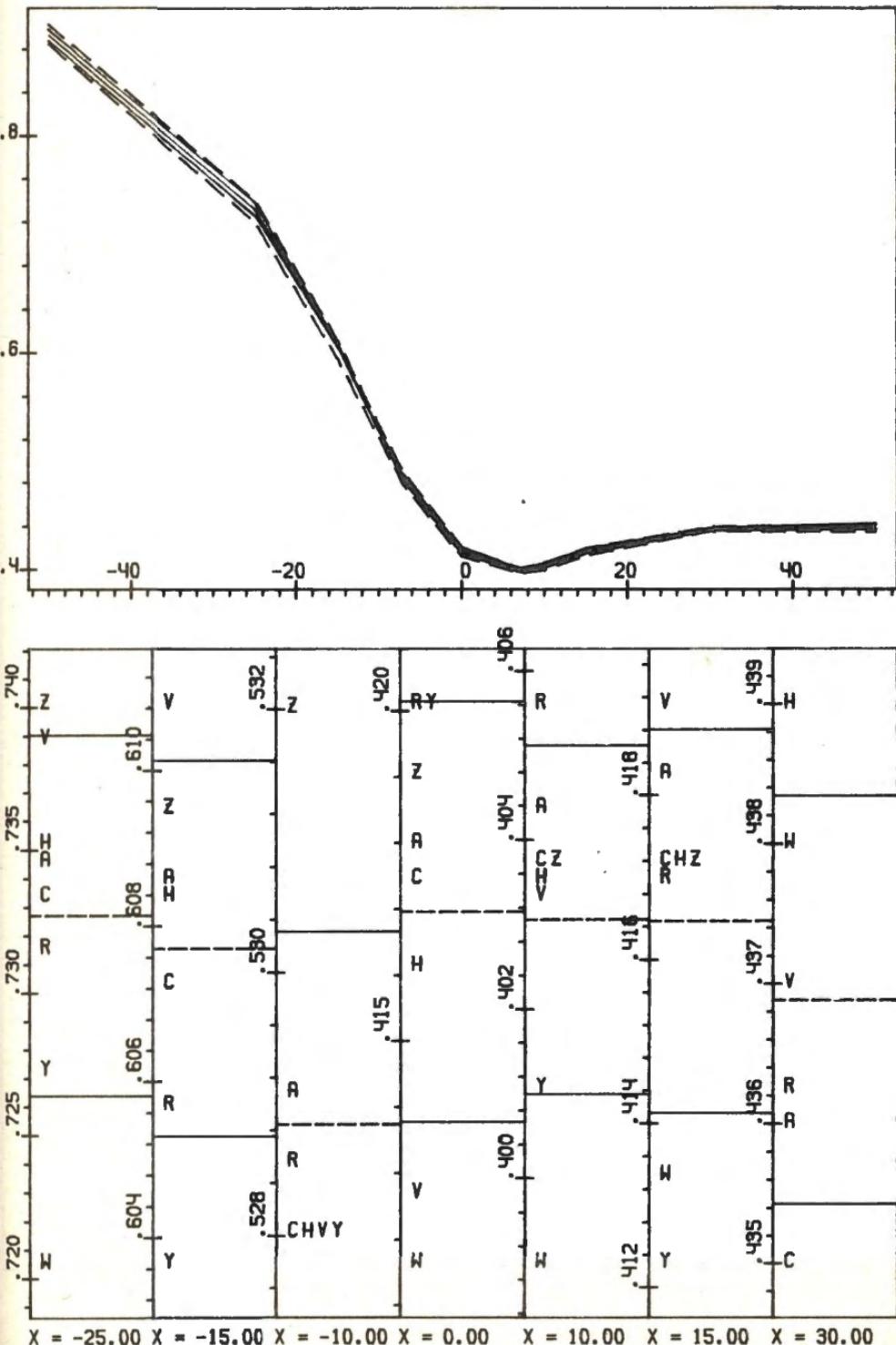


Рис. П2.1. Модель 2Д-0. Электрическое поле $E_y(EP)$ $Z=0$. $T=300$

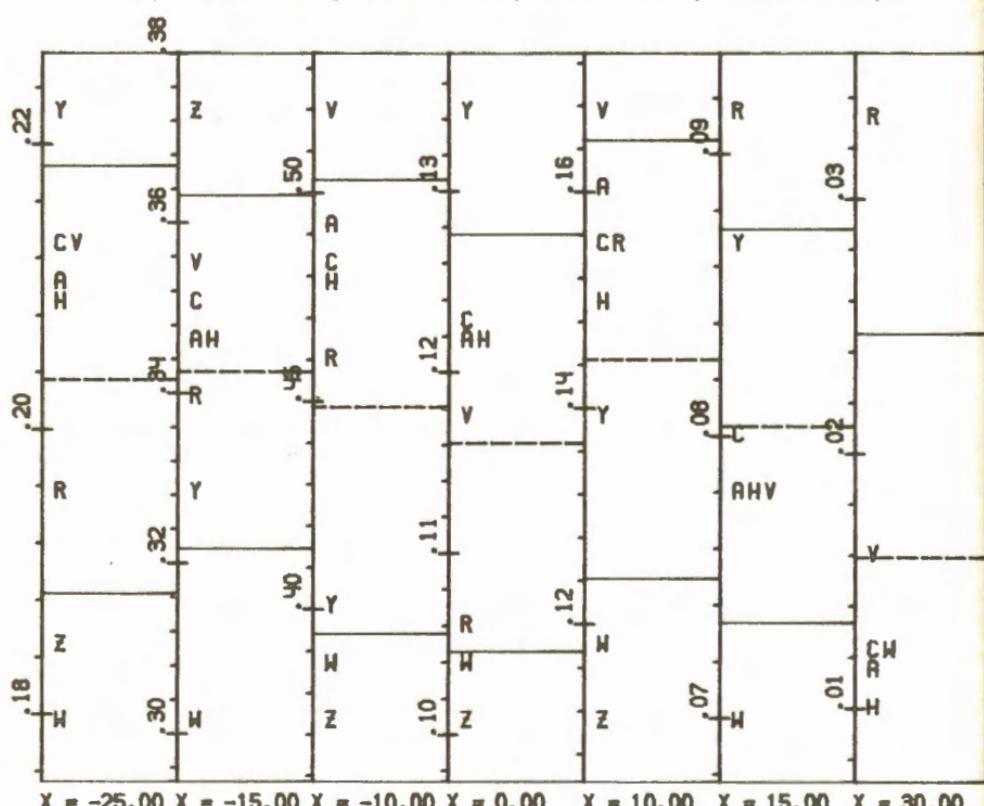
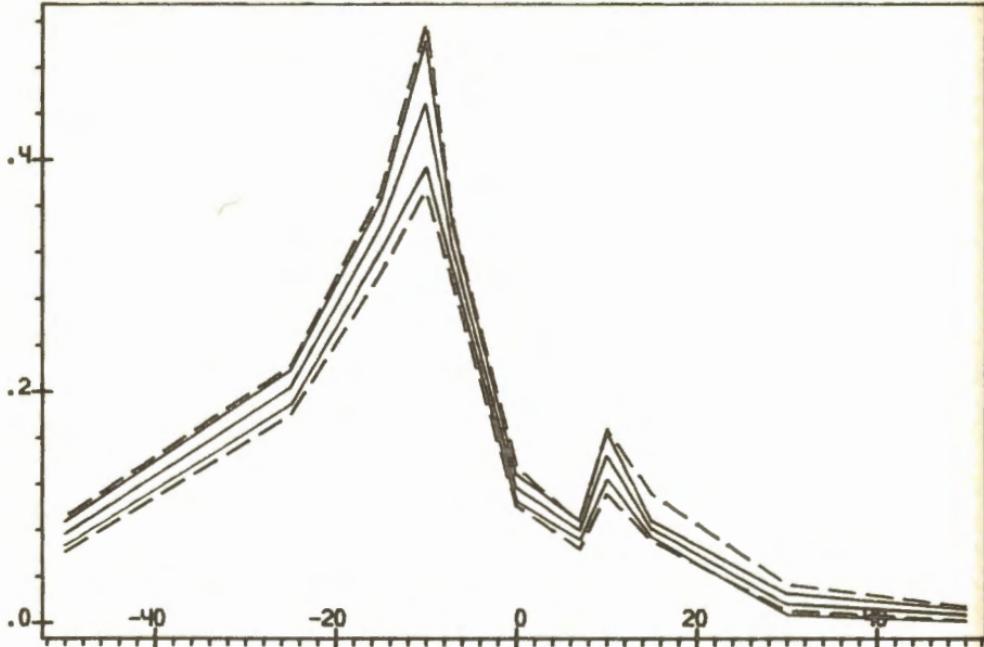


Рис. П2.2. Модель 2Д-0. Магнитное поле H_z (EP) $Z=0$. $T=300$

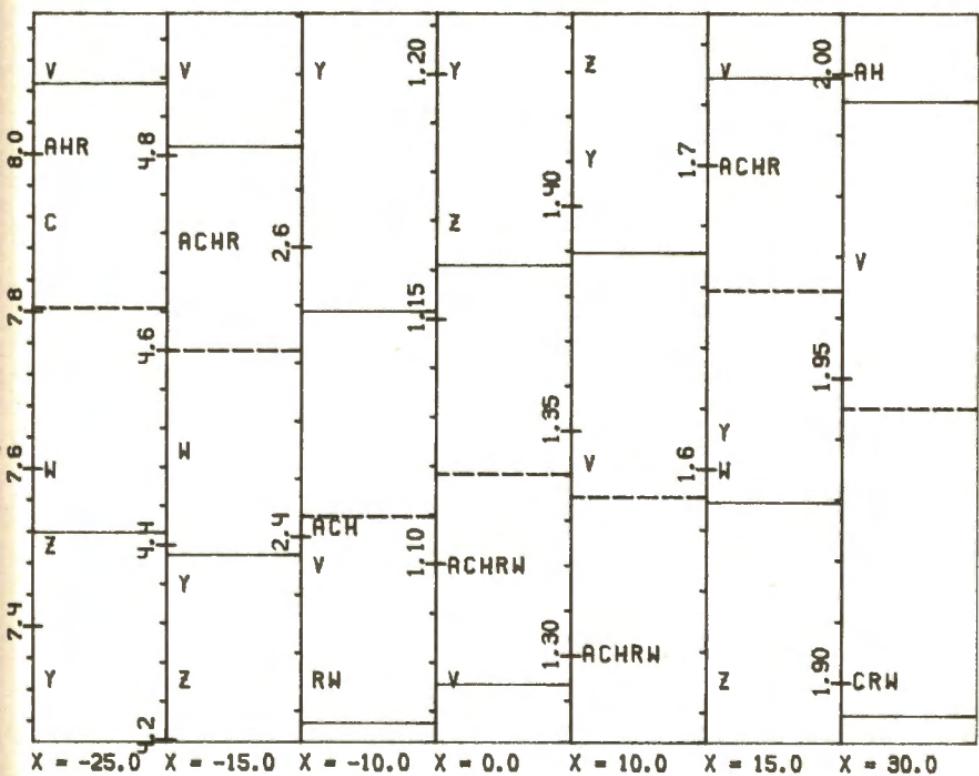
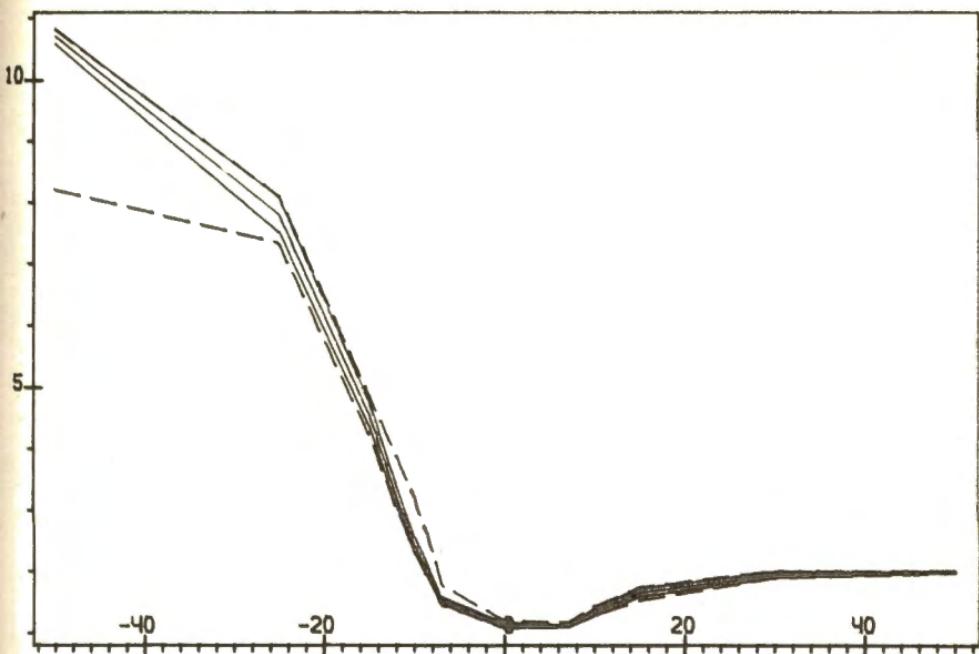


Рис. П2.3. Модель 2Д-0. Кажущееся сопротивление $R_k(EP)$ $Z=0$. $T=300$

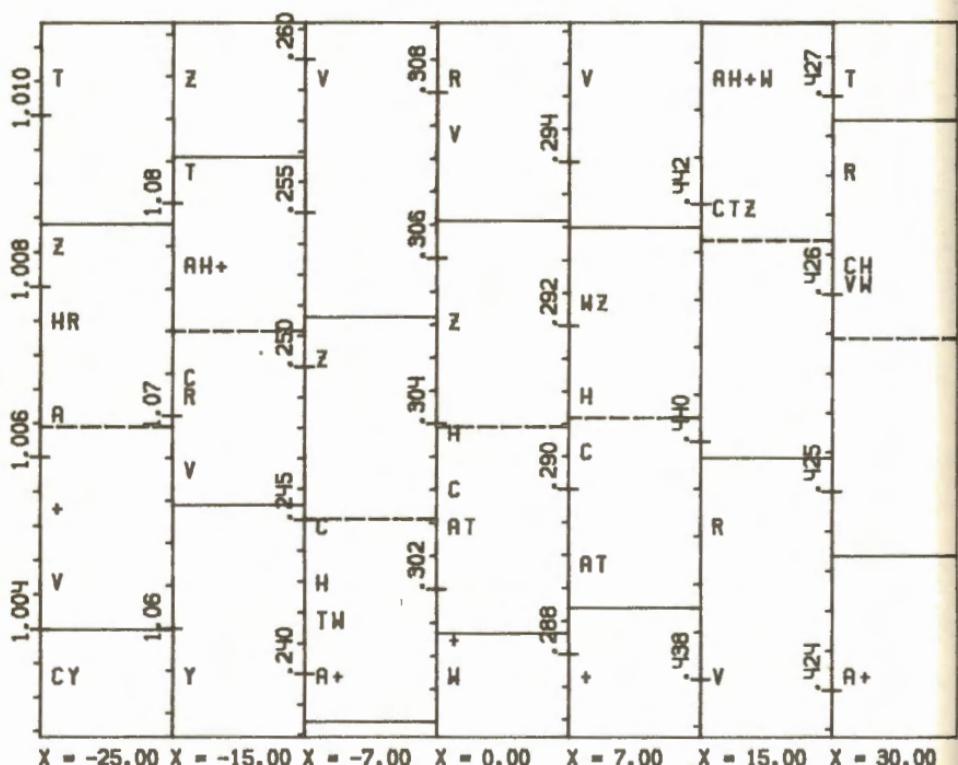
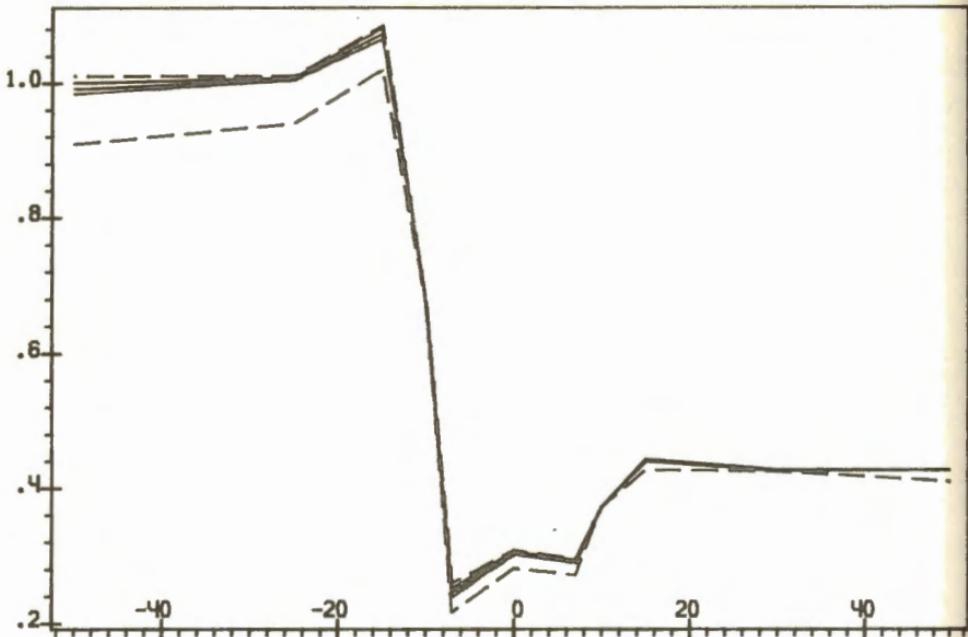


Рис. П2.4. Модель 2Д-0. Электрическое поле E_x (НР) $Z=0$. $T=300$

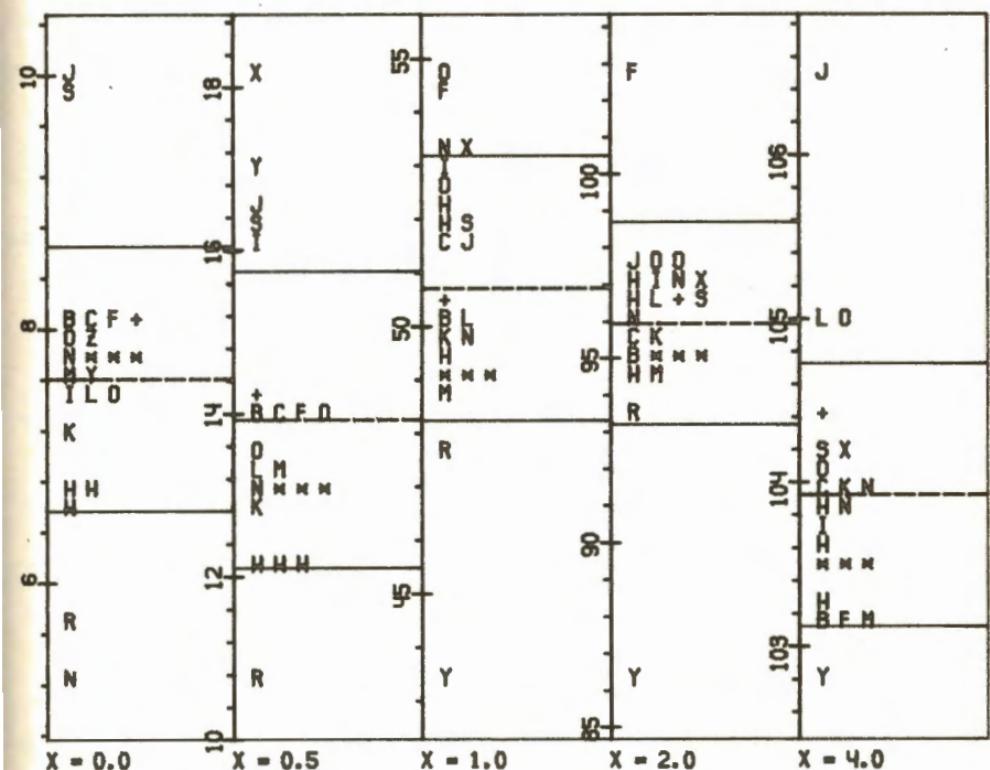
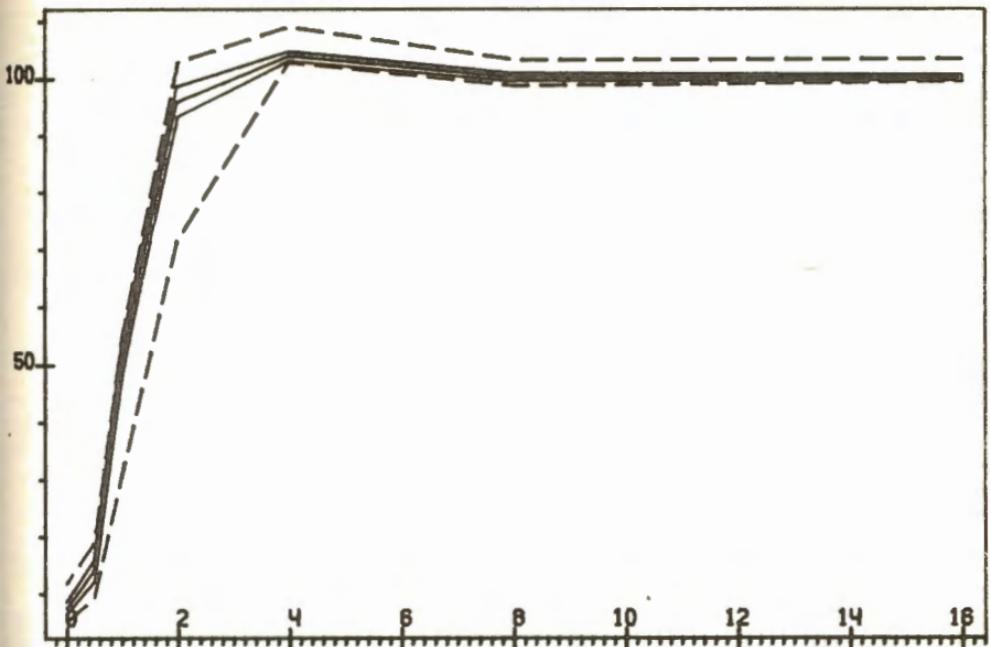


Рис. П2.5. Модель 2Д-1. Кажущееся сопротивление $R_k(EP)$ $Z=0$. $T=0.1$

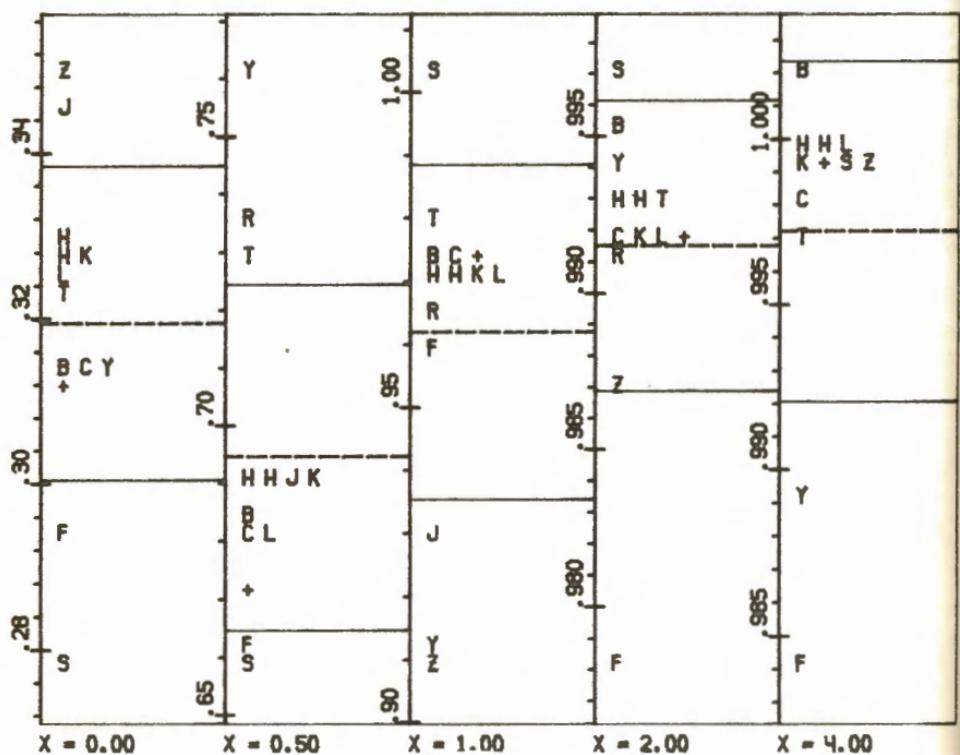
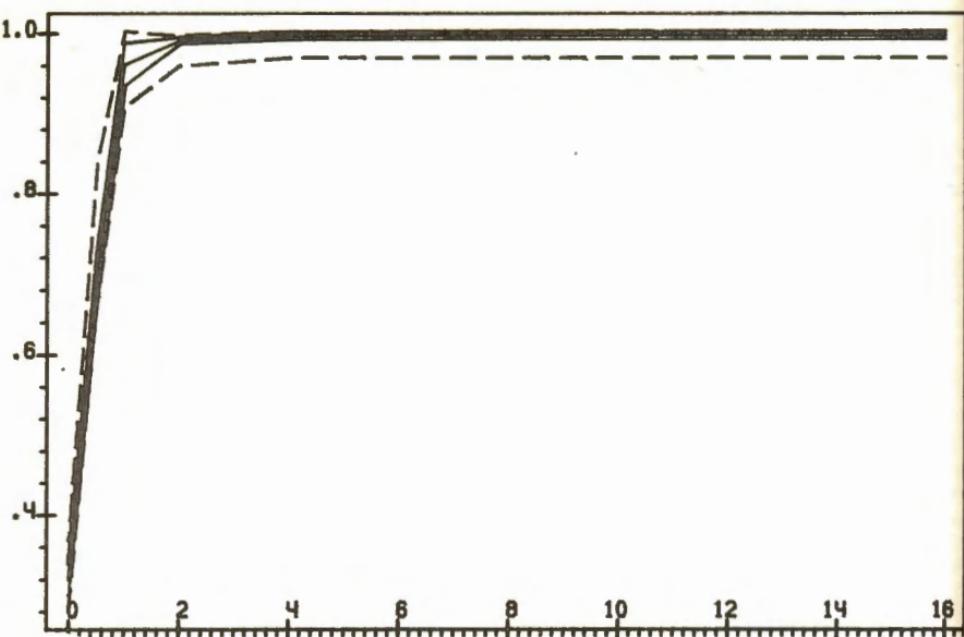


Рис. П2.6. Модель 2Д-1. Электрическое поле $E_x(\text{НР})$ $Z=0$. $T=0.1$

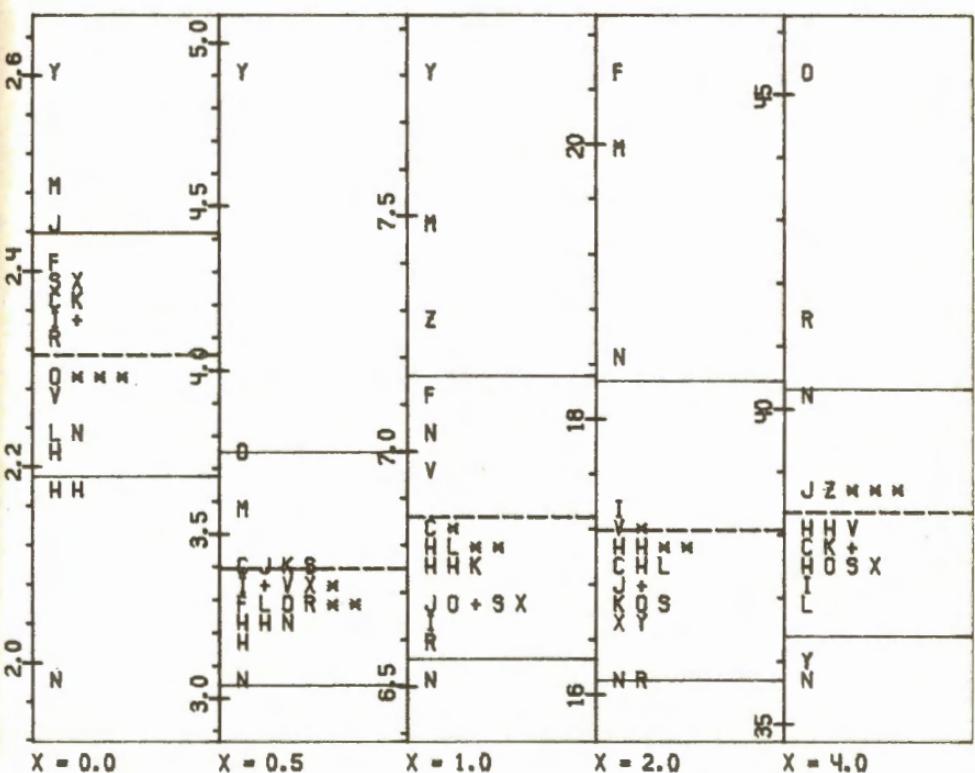
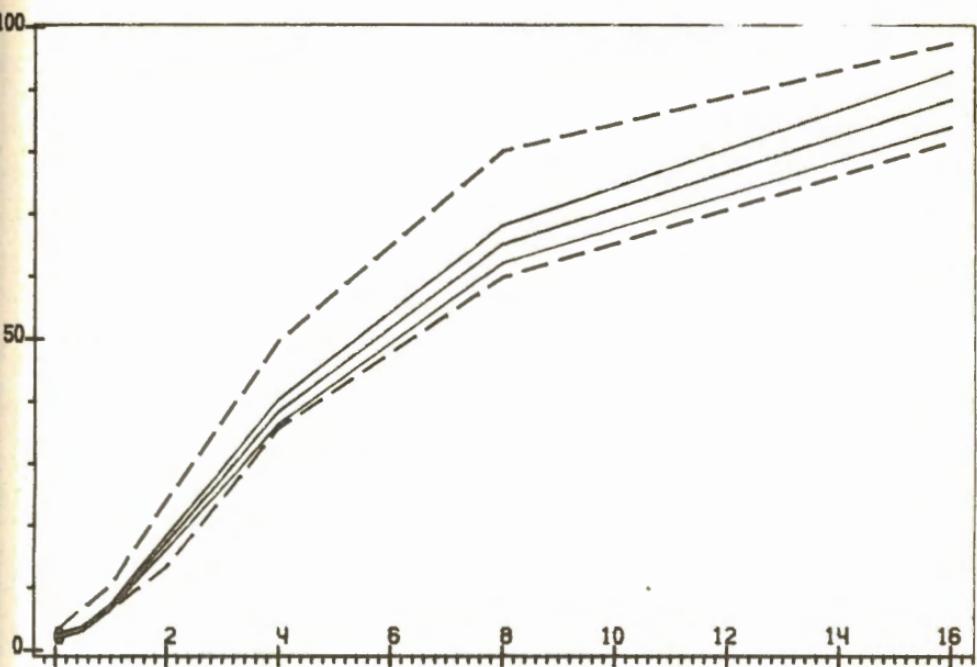


Рис. П2.7. Модель 2Д-1. Кажущееся сопротивление $R_k(EP)$ $Z=0$. $T=0.1$

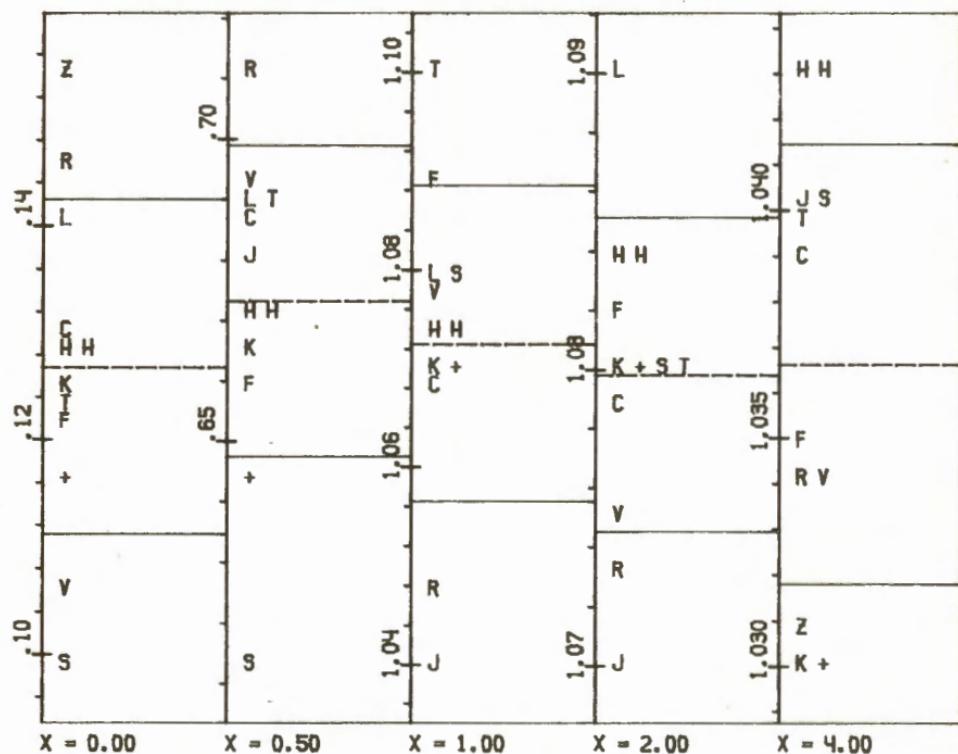
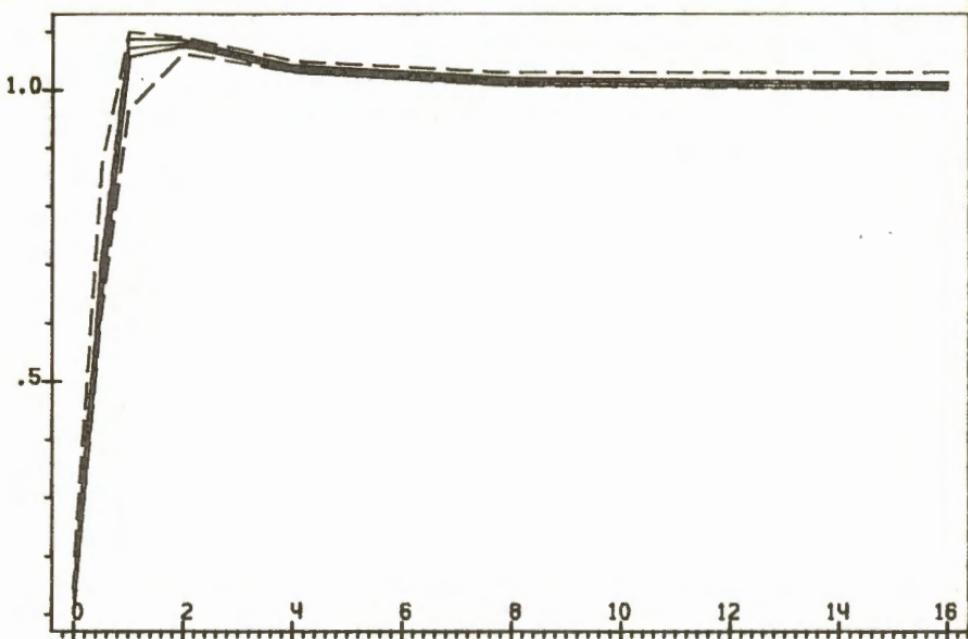


Рис. П2.8. Модель 2Д-1. Электрическое поле $E_x(\text{HP})$ $Z=0$, $T=10$

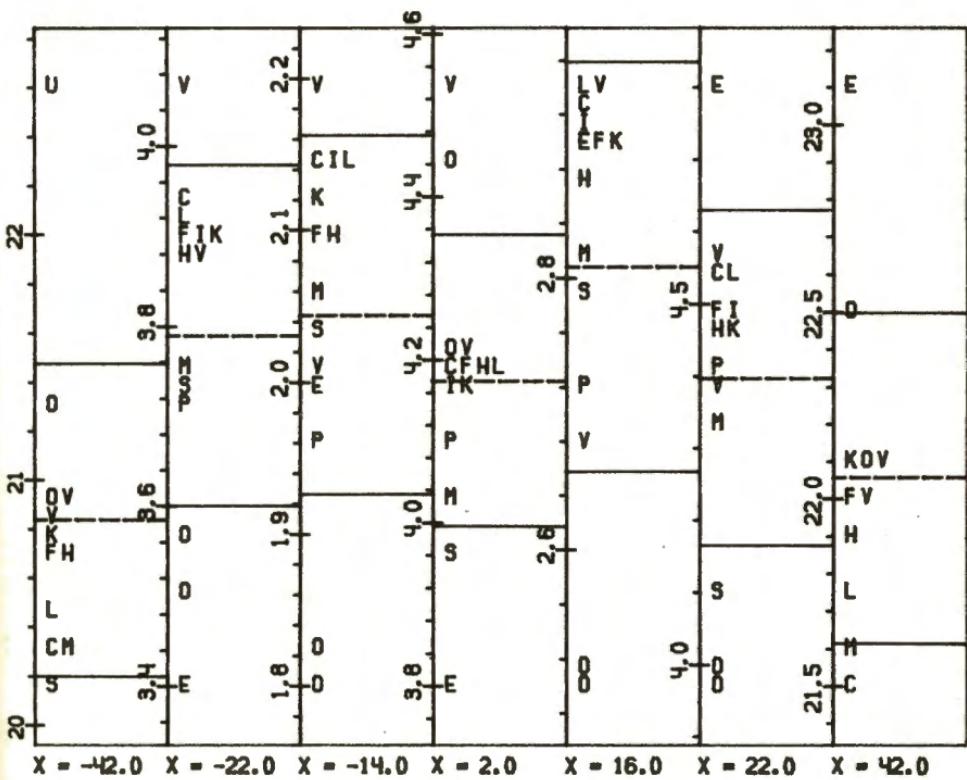
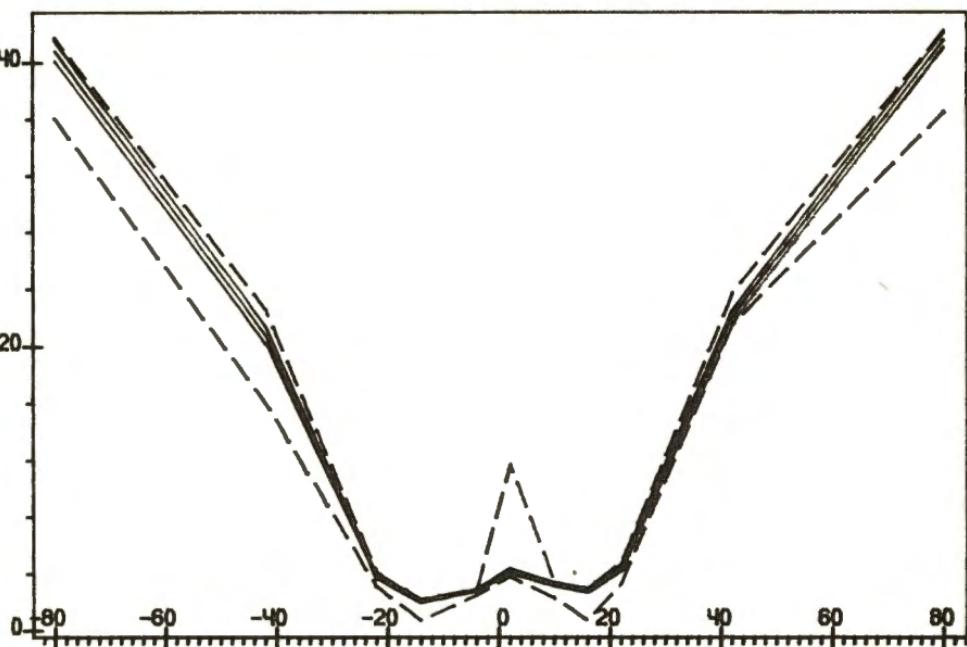


Рис. П2.9. Модель 2Д-2. Кажущееся сопротивление $R_k(EP)$ $Z=0$. $T=1000$

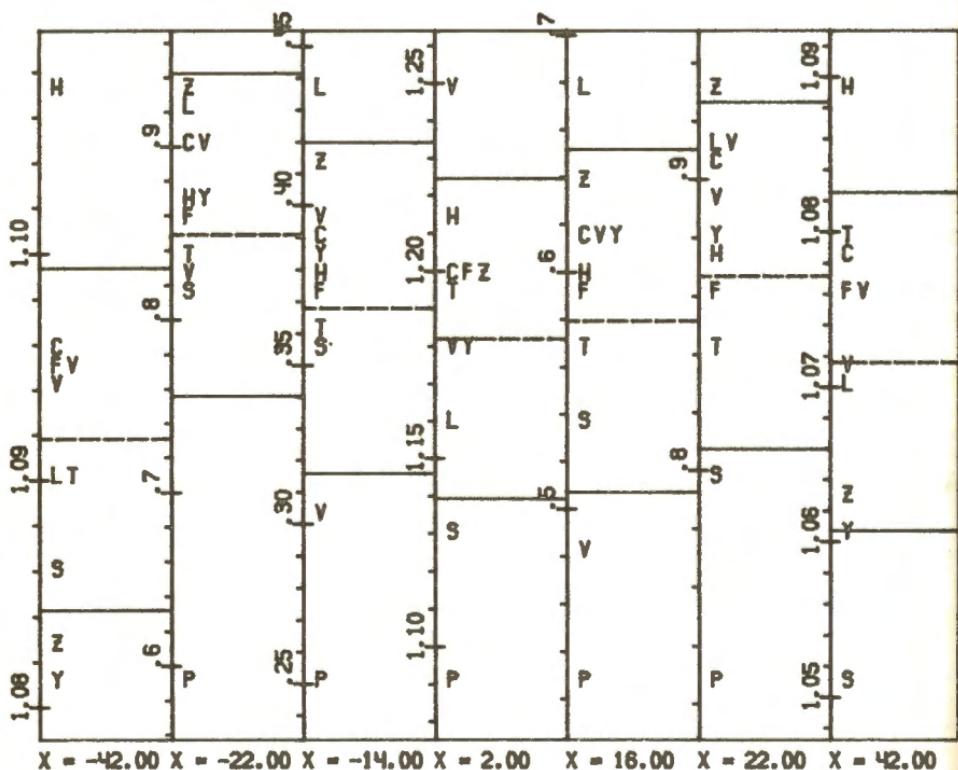
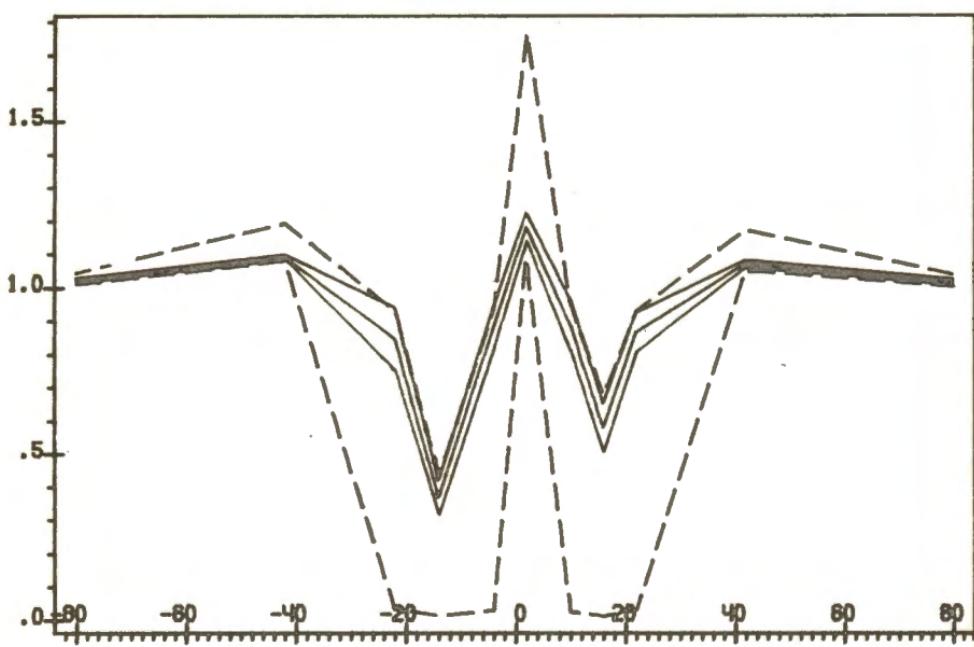


Рис. П2.10. Модель 2Д-2. Электрическое поле $E_x(\text{HP})$ $Z=0$. $T=0.1$

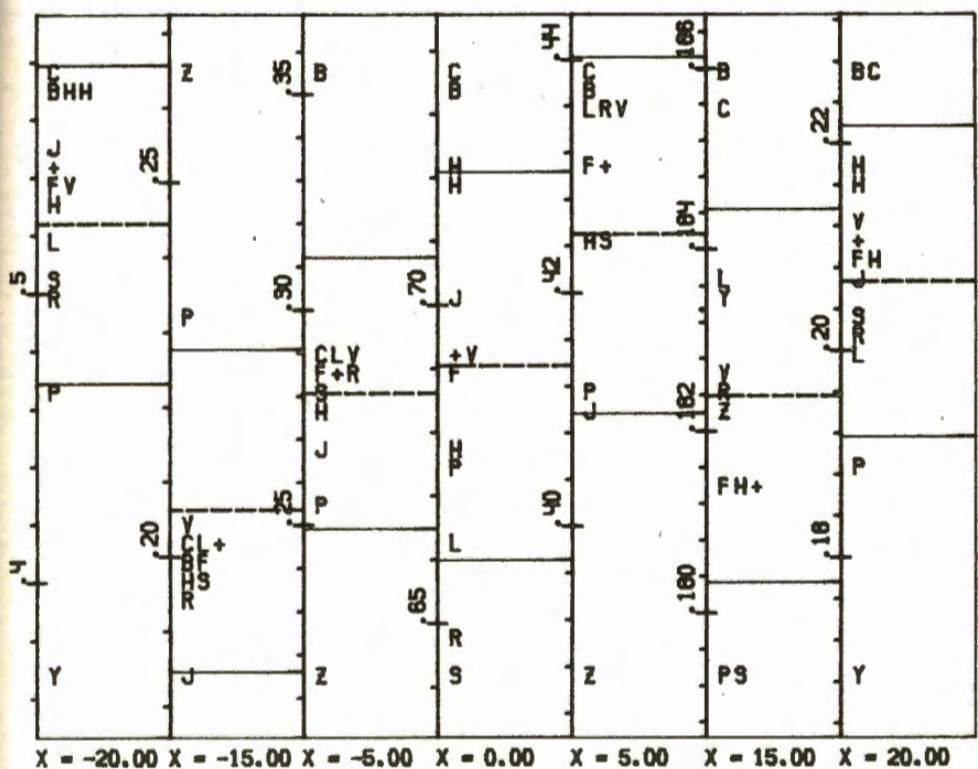
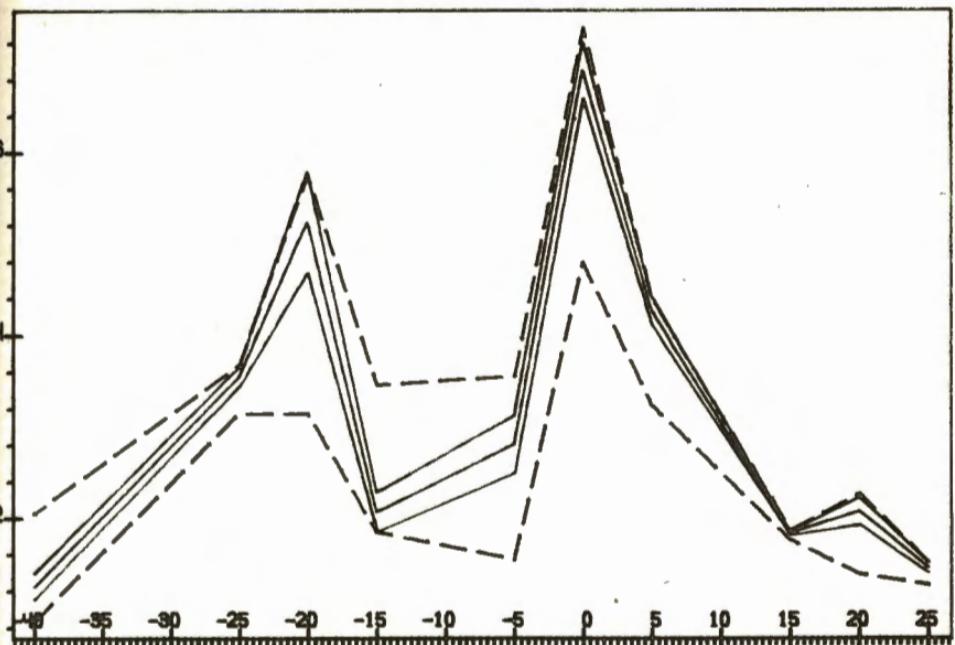


Рис. П2.11. Модель 2Д-3. Магнитное поле Hz(EP) Z=0. T=100

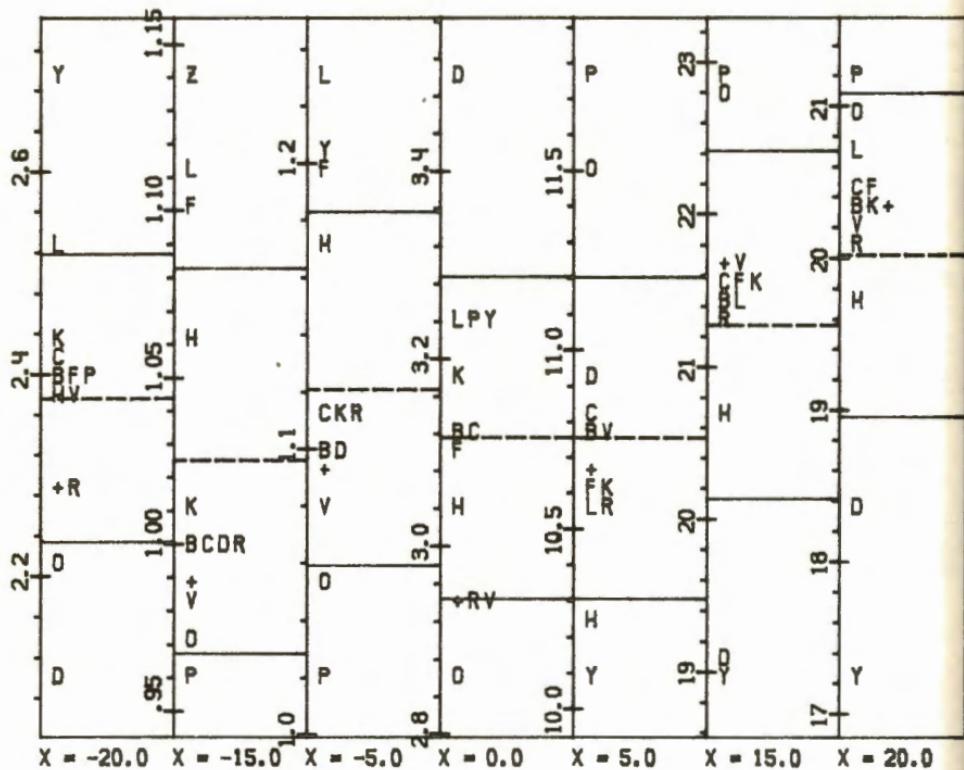
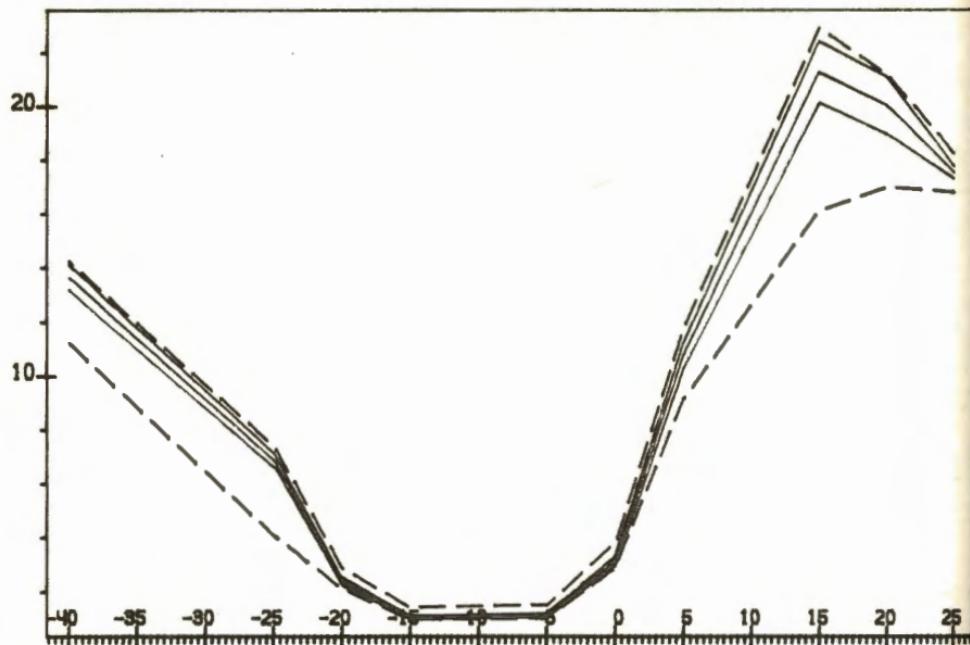


Рис. П2.12. Модель 2Д-3. Кажущееся сопротивление $R_k(EP)$ $Z=0$. $T=100$

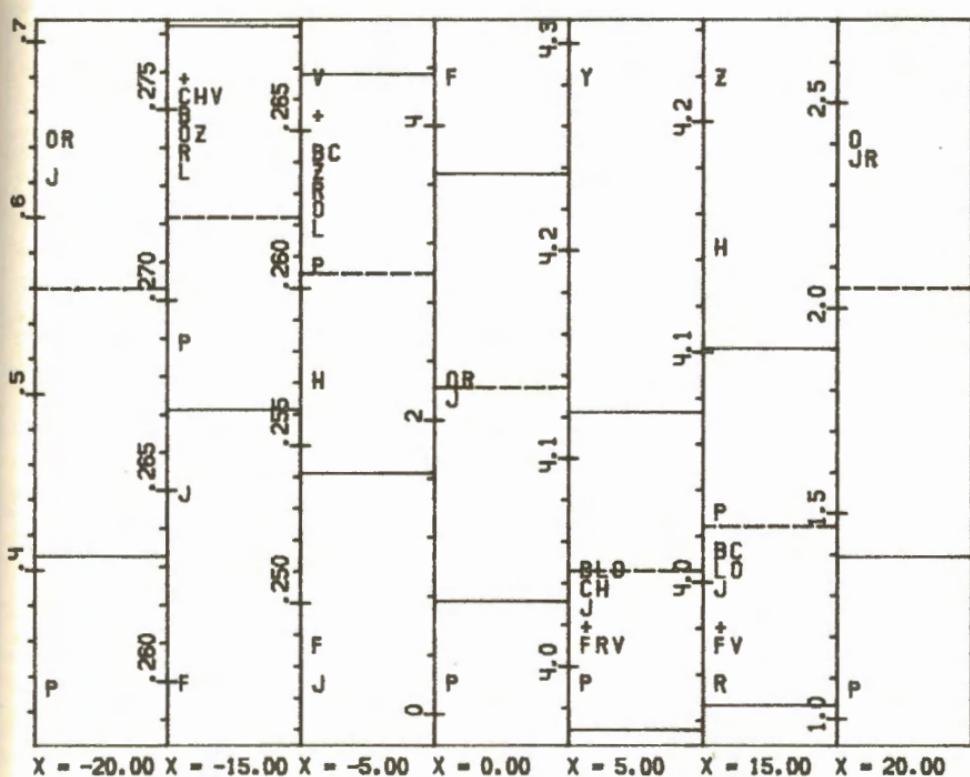
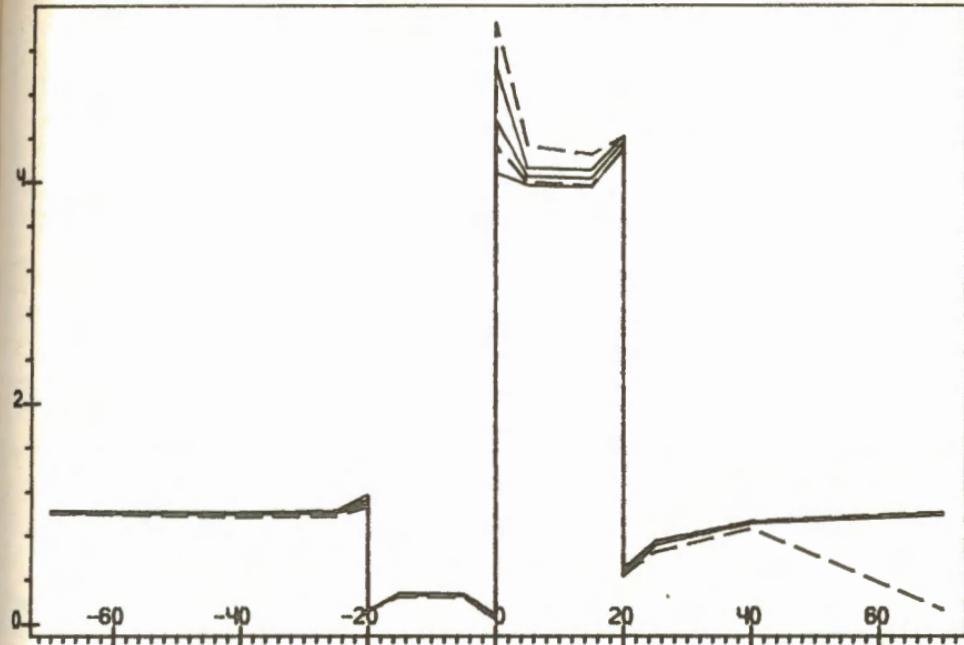


Рис. П2.13. Модель 2Д-3. Электрическое поле $E_x(HP)$ $Z=0$. $T=100$

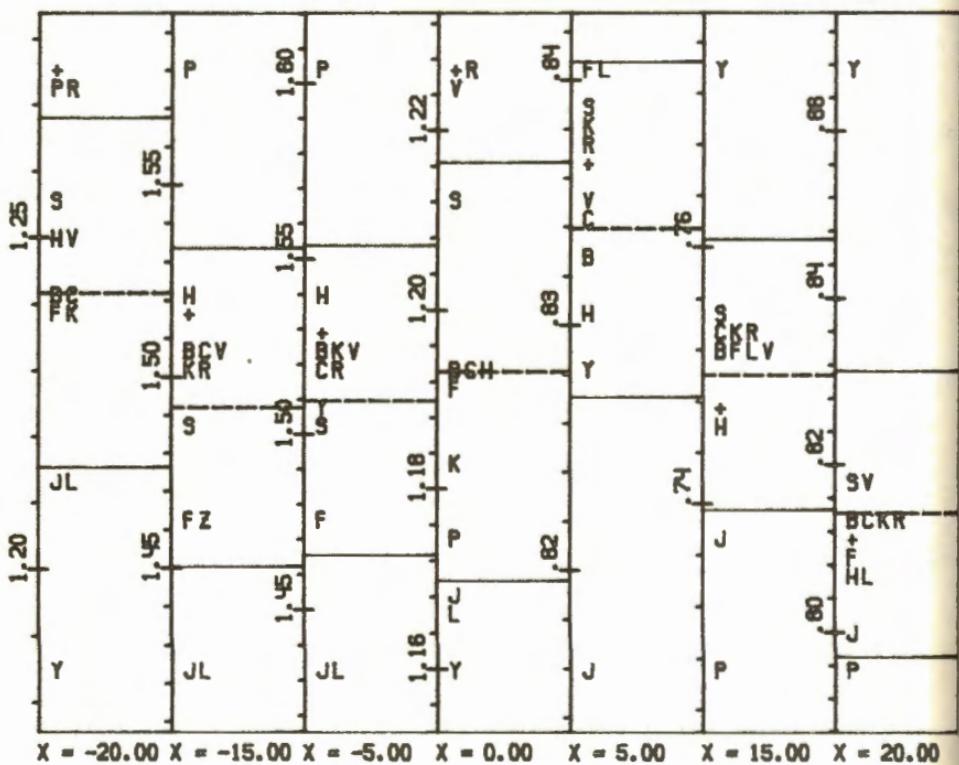
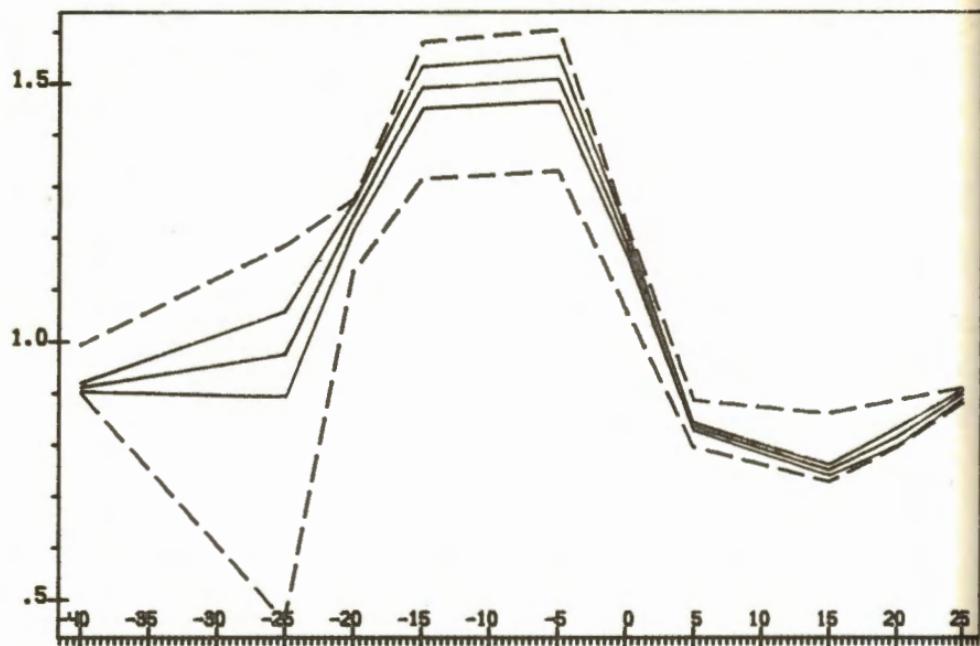


Рис. П2.14. Модель 2Д-3. Магнитное поле H_x (EP) $Z=0$. $T=100$

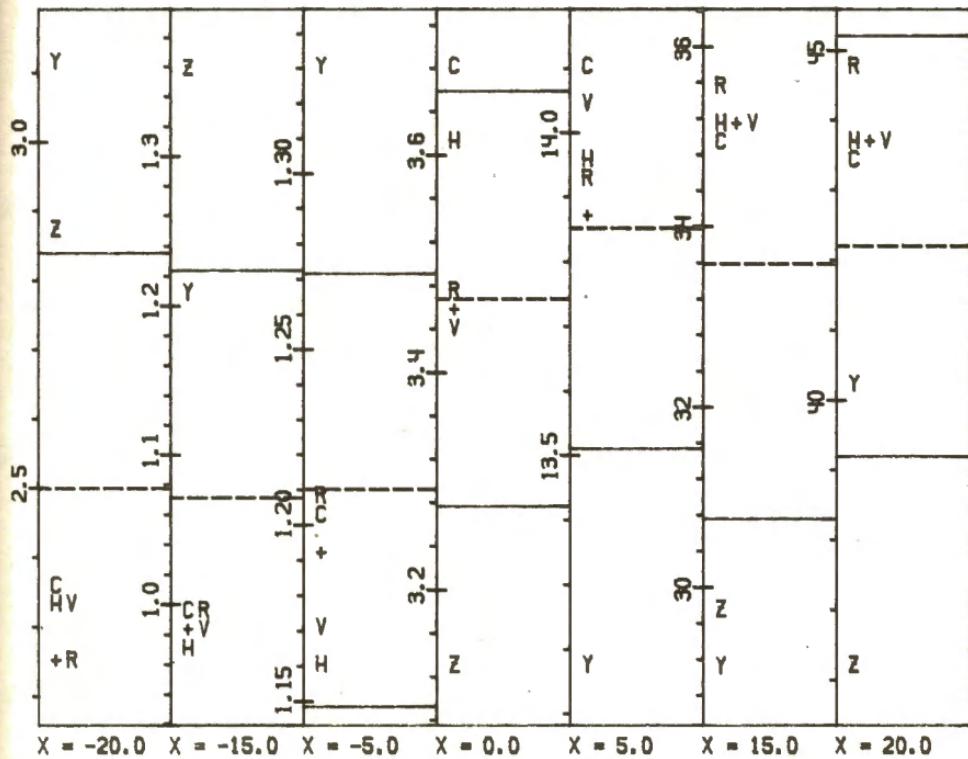
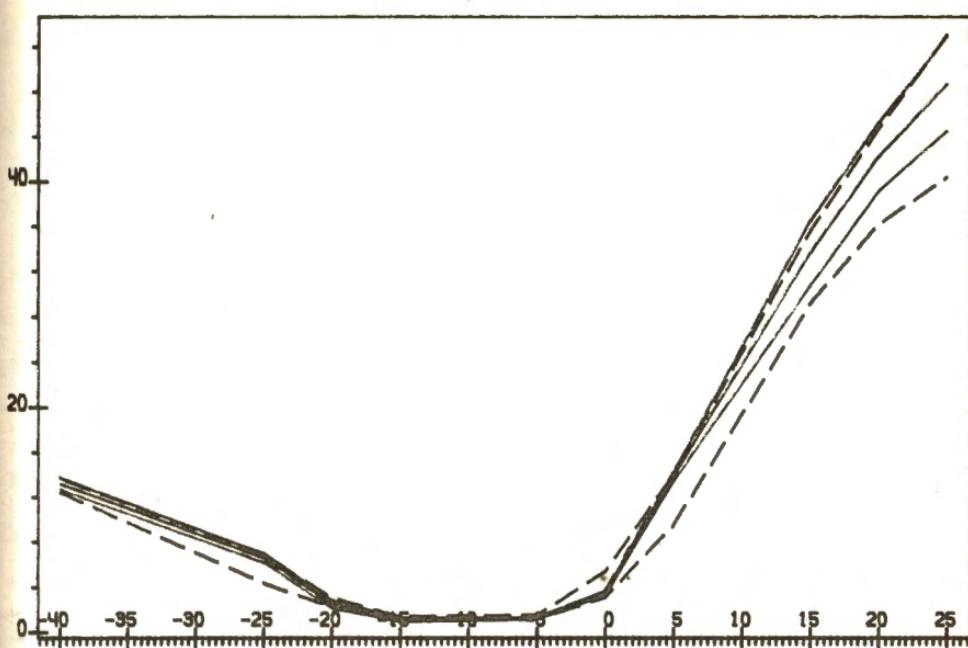


Рис. П2.15. Модель 2Д-3В. Кажущееся сопротивление $R_k(\text{EP})$ при $Z=0$. $T=100$

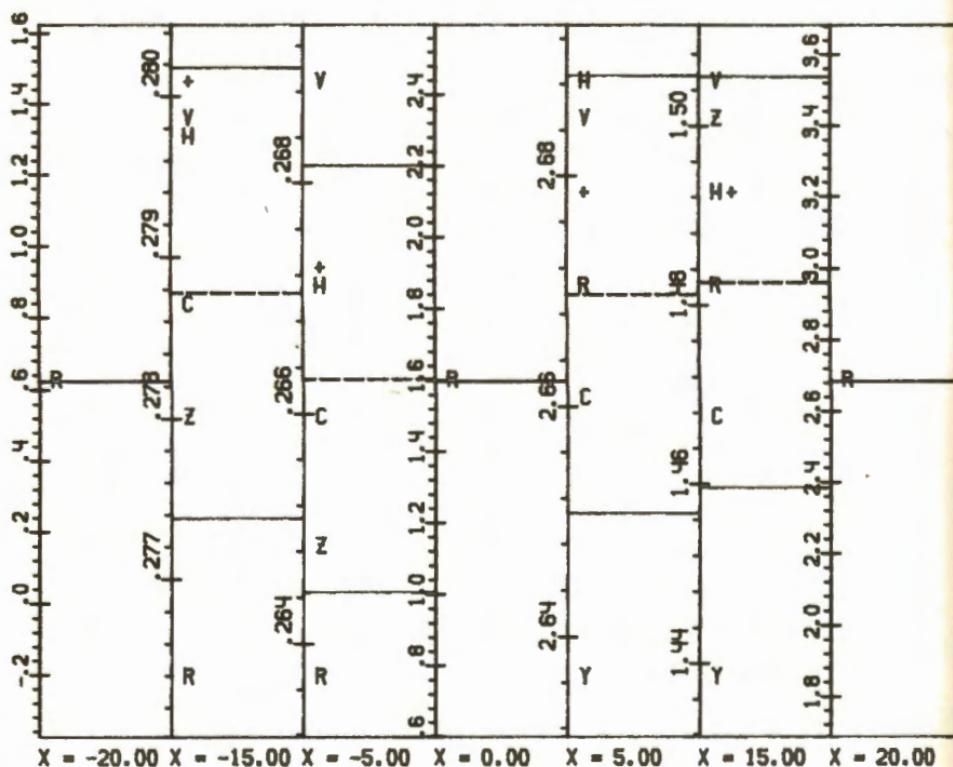
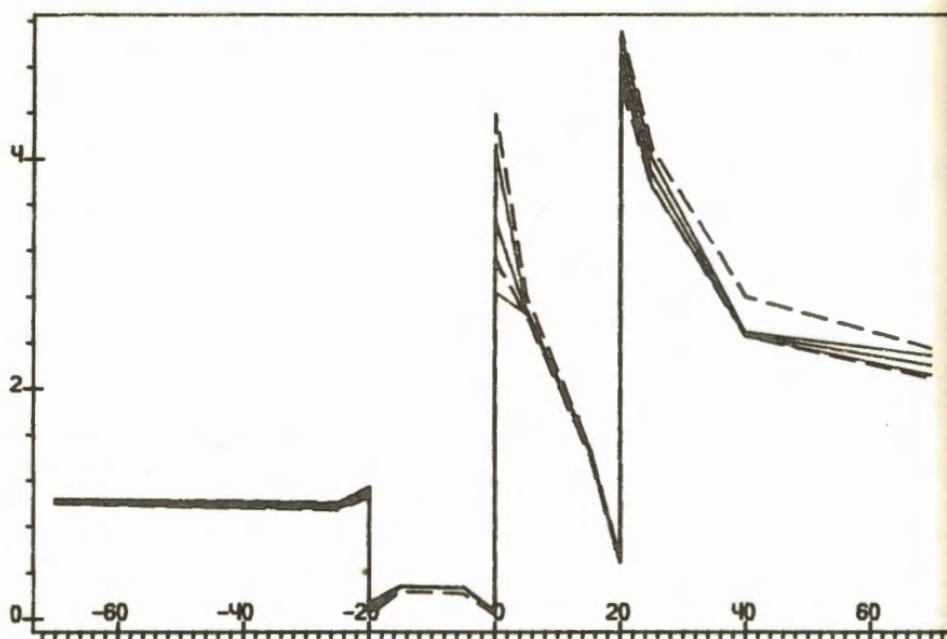


Рис. П2.16. Модель 2Д-3В. Электрическое поле $E_x(HP)$ $Z=0$. $T=100$

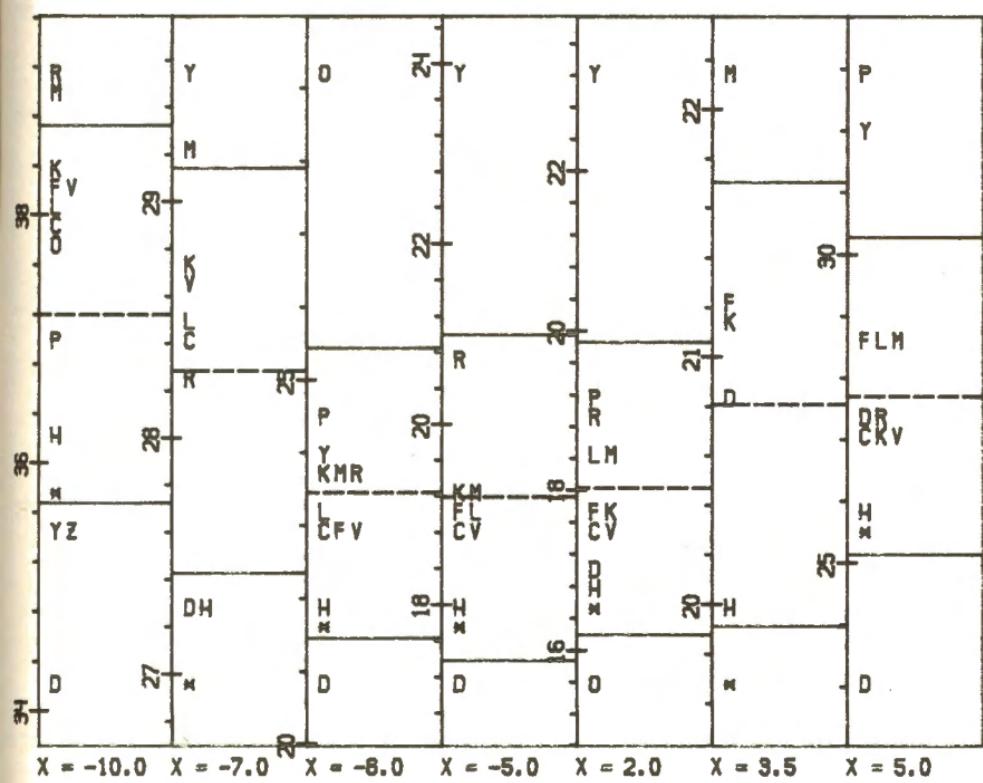
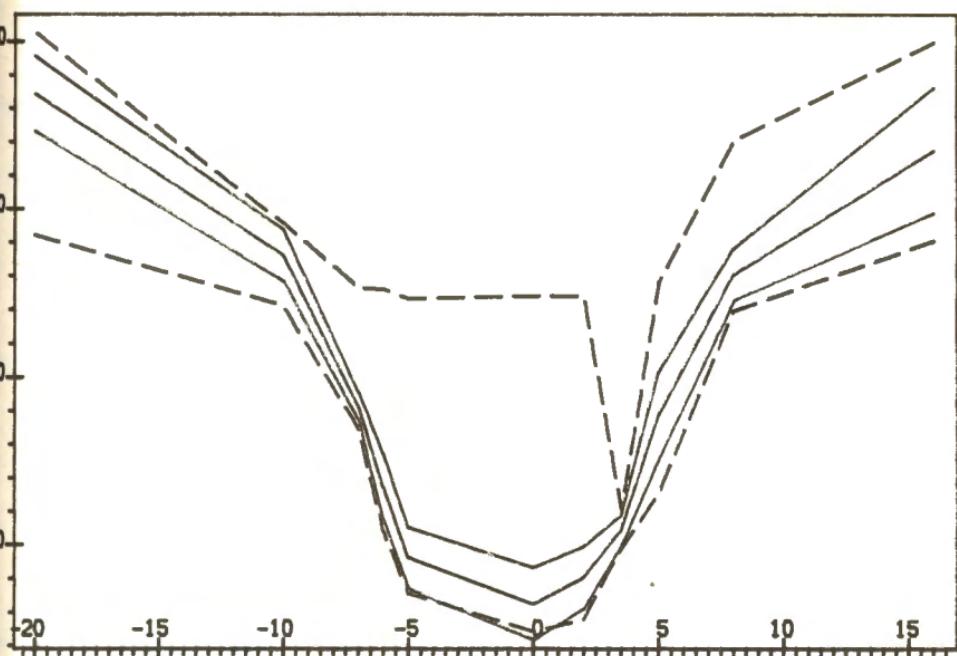


Рис. П2.17. Модель 2Д-4. Кажущееся сопротивление $R_k(\text{EP})$ при $Z=0$, $T=100$

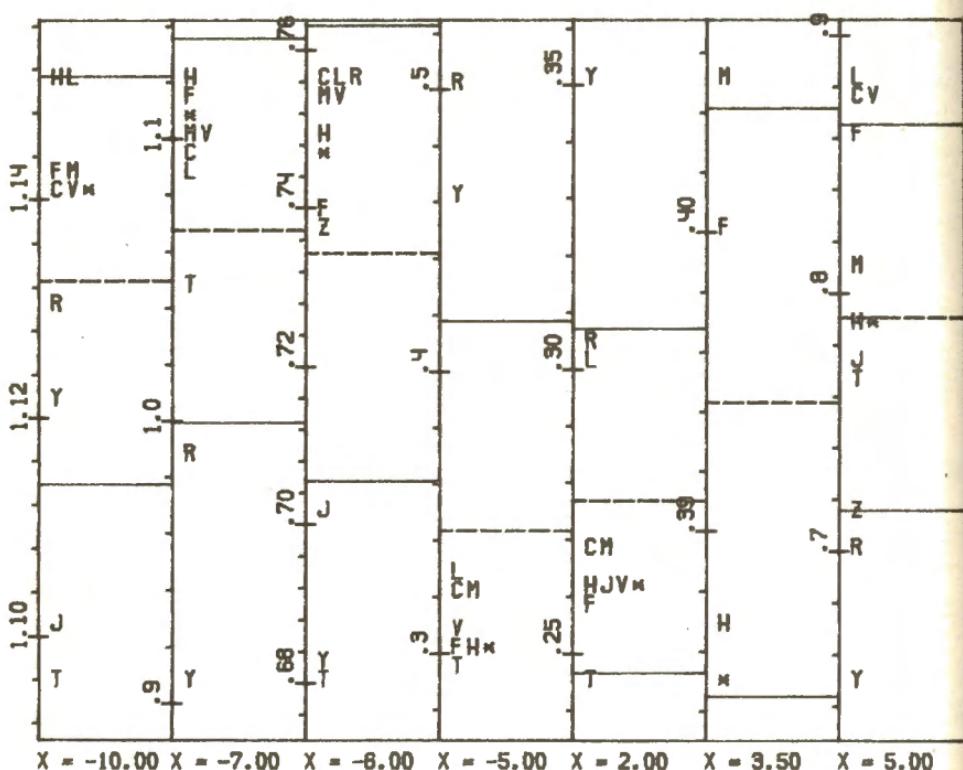
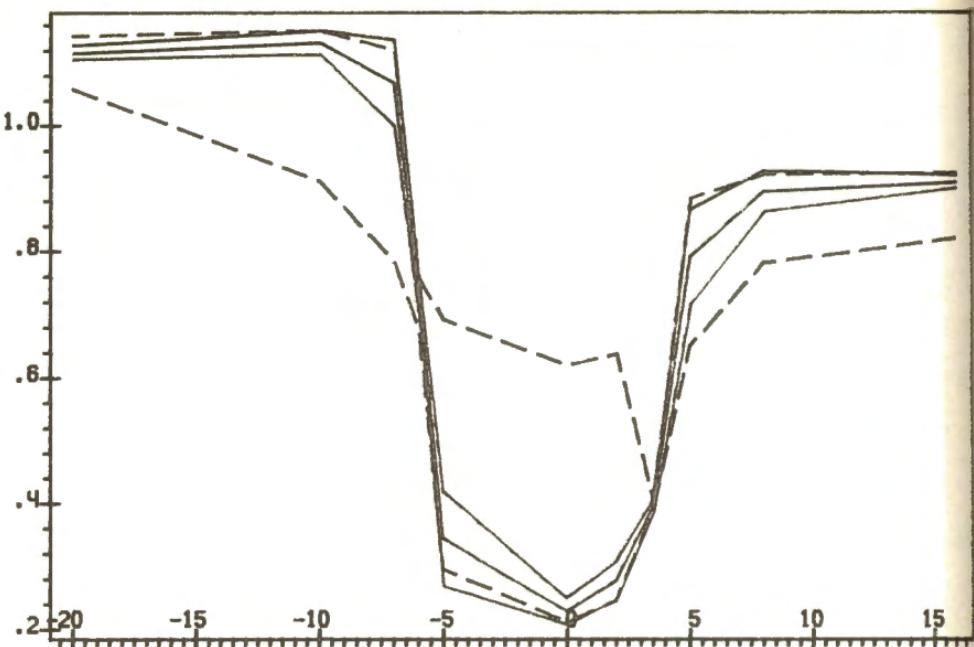


Рис. П2.18. Модель 2Д-4. Электрическое поле E_x (НР) $Z=0$. $T=100$

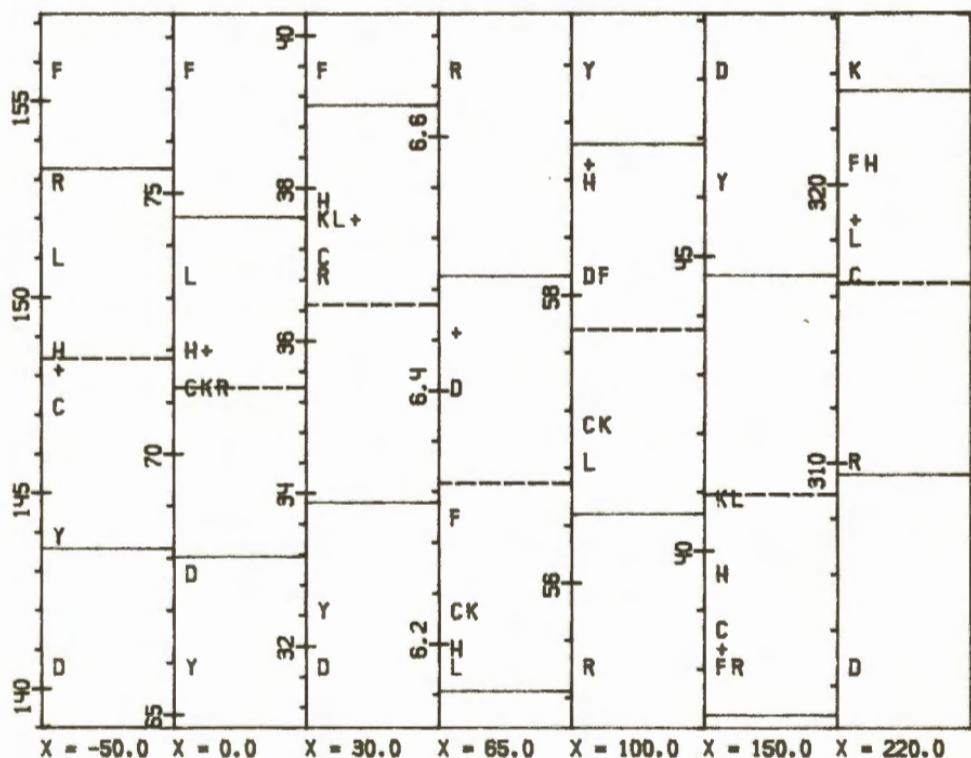
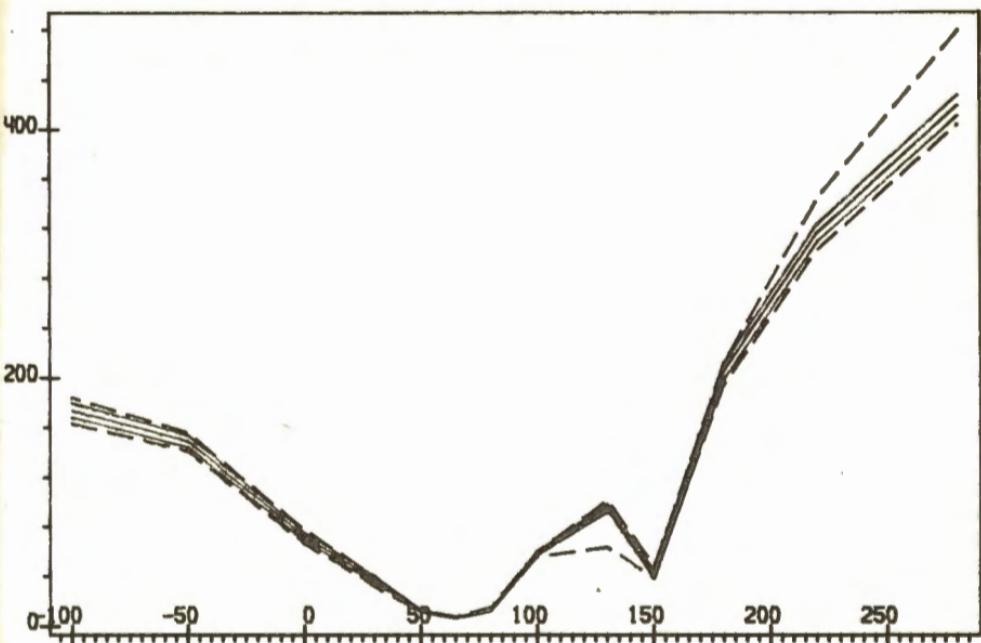


Рис. П2.19. Модель 2Д-5. Кажущееся сопротивление $R_k(EP)$ $Z=0$. $T=300$

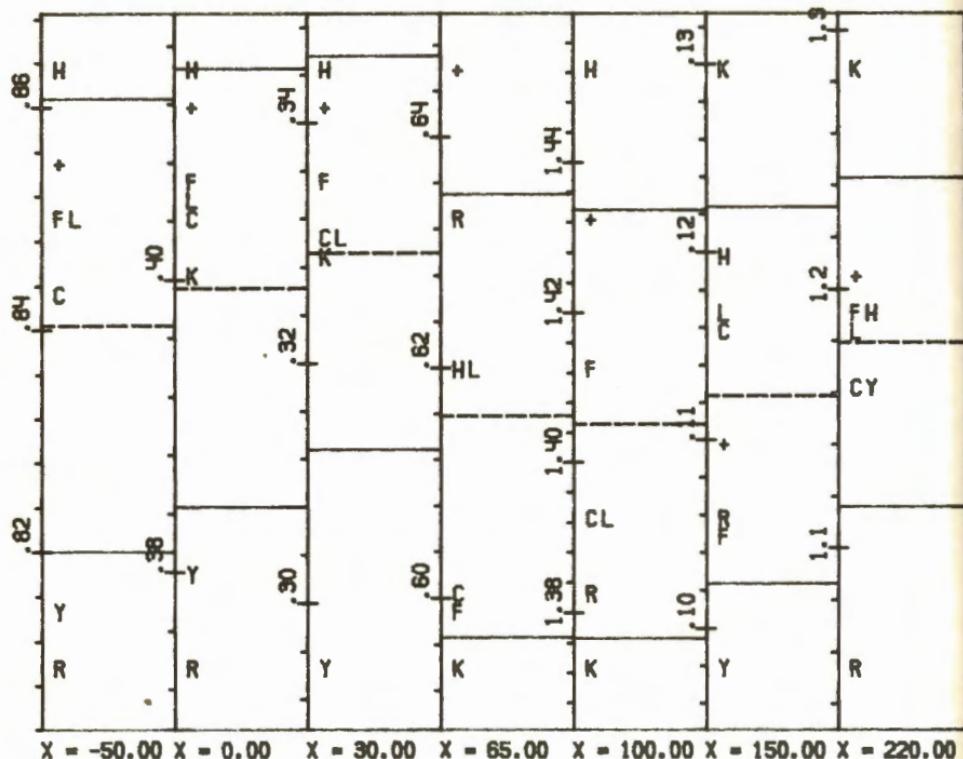
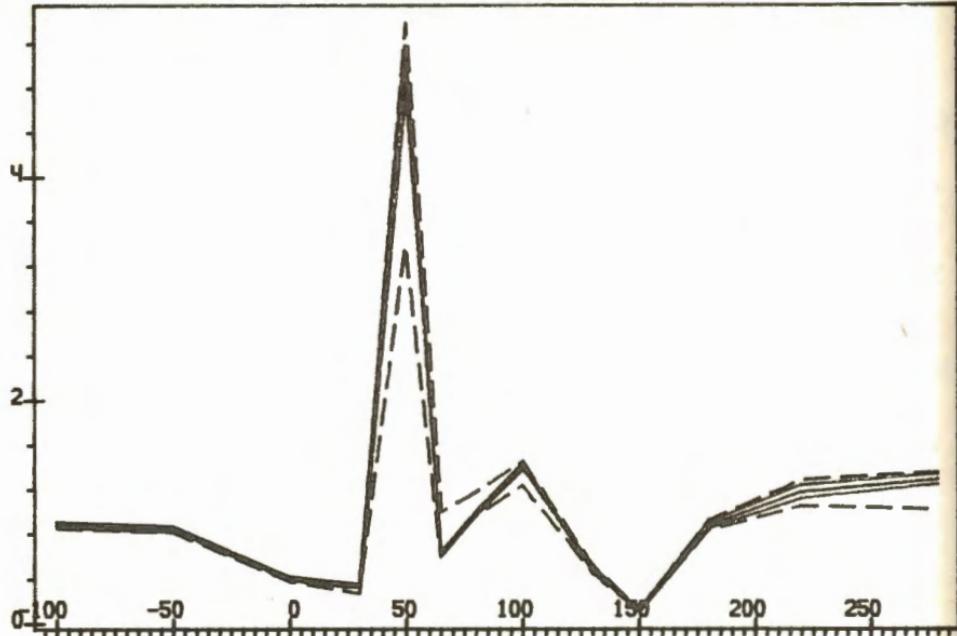


Рис. П2.20. Модель 2Д-5. Электрическое поле $E_x(\text{НР})$ $Z=0$. $T=300$

Таблицы трехмерных результатов

МОДЕЛЬ ЗД-1А (EXN, T=.1, Z=.0)

ЧАСТИК / X=

.0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0 4.0

Re E_x

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.390	.460	.720	1.020	1.060	1.040	1.020	1.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.440	.500	.730	1.000	1.050	1.030	1.020	1.000
4	СССР	.310	.310	.340	1.040	1.080	1.060	1.020	-
6	СССР	.440	.500	.740	1.000	1.060	1.040	1.020	1.000
7	США	.350	.425	.761	1.025	1.062	1.037	1.017	1.001
7.1	США	.360	.410	.740	1.040	1.080	1.040	1.020	1.000
9	ФРГ	.395	.472	.735	.994	1.049	1.034	1.016	-
СРЕДНЕЕ (0)		.384	.440	.681	1.017	1.063	1.040	1.019	1.000
НЕВЯЗКА (0)		.048	.067	.151	.019	.013	.010	.002	.000
СРЕДНЕЕ (1)		.384	.440	.738	1.017	1.063	1.037	1.019	1.000
НЕВЯЗКА (1)		.048	.067	.014	.019	.013	.004	.002	.000

Im E_x

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.120	-.110	-.060	.040	.060	.050	.030	.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.120	-.120	-.060	.030	.060	.050	.030	.000
4	СССР	-.110	-.110	-.110	.030	.050	.040	.020	-
6	СССР	-.130	-.120	-.070	.030	.060	.050	.030	.000
7	США	-.187	-.155	-.025	.059	.071	.052	.033	.005
7.1	США	-.200	-.180	-.040	.060	.070	.060	.040	.010
9	ФРГ	-.137	-.123	-.056	.033	.057	.046	.046	-
СРЕДНЕЕ (0)		-.143	-.131	-.060	.040	.061	.050	.033	.003
НЕВЯЗКА (0)		.035	.026	.027	.014	.007	.006	.008	.004

Re H_y

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.090	1.080	1.070	1.060	1.050	1.030	1.020	1.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.080	1.080	1.070	1.060	1.050	1.030	1.020	1.000
6	СССР	1.080	1.080	1.070	1.060	1.050	1.030	1.020	1.000
7	США	1.076	1.074	1.067	1.059	1.050	1.033	1.021	1.004
7.1	США	1.070	1.070	1.070	1.060	1.050	1.030	1.020	1.000
9	ФРГ	1.071	1.070	1.066	1.058	1.049	1.032	1.020	-
СРЕДНЕЕ (0)		1.078	1.076	1.069	1.059	1.050	1.031	1.020	1.001
НЕВЯЗКА (0)		.007	.005	.002	.001	.000	.001	.000	.002

Im H_y

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.020	.020	.020	.020	.020	.010	.010	.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.020	.020	.020	.020	.020	.010	.010	.000
6	СССР	.020	.020	.020	.020	.020	.010	.010	.000
7	США	.024	.022	.019	.017	.015	.013	.010	.004
7.1	США	.020	.020	.020	.020	.020	.010	.010	.010
9	ФРГ	.025	.024	.022	.020	.018	.015	.012	-
СРЕДНЕЕ (0)		.021	.021	.020	.019	.019	.011	.010	.003
НЕВЯЗКА (0)		.002	.002	.001	.001	.002	.002	.001	.004
СРЕДНЕЕ (1)		.021	.021	.020	.020	.019	.011	.010	.003
НЕВЯЗКА (1)		.002	.002	.001	.000	.002	.002	.000	.004

					Re E _y					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.360	.380	.460	.580	.690	.830	.910	.990	
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.380	.410	.480	.590	.700	.840	.910	.990	
3	СССР	.360	.370	.410	.540	.650	.760	.890		-
4	СССР	.350	.350	.410	.530	.630	.820	.890		-
5	СССР	.320	.340	.390	.510	.640	.790	.900	1.000	
6	СССР	.400	.420	.490	.600	.700	.840	.910	.990	
7	США	.386	.405	.470	.581	.689	.834	.909	.989	
7.1	США	.380	.400	.470	.580	.680	.830	.910	.990	
9	ФРГ	.373	.397	.465	.573	.684	.831	.917		-
10	СССР	.300	.320	.390	.520	.650	.820	.920		-
СРЕДНЕЕ (0)		.361	.379	.443	.560	.671	.819	.907	.991	
НЕВЯЗКА (0)		.031	.033	.039	.032	.026	.025	.010	.004	
СРЕДНЕЕ (1)		.361	.379	.443	.560	.671	.826	.907	.990	
НЕВЯЗКА (1)		.031	.033	.039	.032	.026	.015	.010	.000	
					Im E _y					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.160	-.160	-.170	-.160	-.140	-.100	-.070	-.020	
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.170	-.170	-.170	-.160	-.140	-.100	-.070	-.020	
3	СССР	-.160	-.160	-.150	-.100	-.090	-.090	-.070		-
4	СССР	-.100	-.110	-.120	-.140	-.140	-.120	-.090		-
5	СССР	-.110	-.110	-.120	-.140	-.150	-.130	-.110	-.020	
6	СССР	-.170	-.170	-.180	-.170	-.150	-.100	-.070	-.020	
7	США	-.186	-.191	-.191	-.177	-.150	-.102	-.070	-.019	
7.1	США	-.170	-.180	-.190	-.180	-.150	-.110	-.070	-.020	
9	ФРГ	-.174	-.174	-.179	-.172	-.149	-.104	-.072		-
10	СССР	-.120	-.120	-.120	-.110	-.090	-.050	-.030		-
СРЕДНЕЕ (0)		-.152	-.155	-.159	-.151	-.135	-.101	-.072	-.020	
НЕВЯЗКА (0)		.030	.030	.029	.028	.024	.021	.020	.000	
СРЕДНЕЕ (1)		-.152	-.155	-.159	-.151	-.135	-.106	-.077	-.020	
НЕВЯЗКА (1)		.030	.030	.029	.028	.024	.012	.014	.000	
					Re H _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.300	1.280	1.160	1.010	.950	.930	.950	.990	
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.270	1.250	1.150	1.020	.960	.940	.950	.990	
3	СССР	1.270	1.270	1.200	1.040	.970	.890	.920	.970	
5	СССР	1.390	1.380	1.290	1.120	1.000	.910	.910	1.000	
6	СССР	1.270	1.250	1.150	1.020	.960	.940	.950	.990	
7	США	1.281	1.272	1.166	1.016	.950	.933	.947		-
9	ФРГ	1.264	1.259	1.168	1.025	.956	.934	.947		-
10	СССР	1.330	1.330	1.200	1.030	.950	.920	.930		-
СРЕДНЕЕ (0)		1.297	1.286	1.186	1.035	.962	.925	.938	.988	
НЕВЯЗКА (0)		.044	.046	.047	.035	.017	.017	.016	.010	
СРЕДНЕЕ (1)		1.284	1.273	1.171	1.023	.957	.930	.938	.988	
НЕВЯЗКА (1)		.024	.028	.021	.010	.007	.011	.016	.010	

Im Hz

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.070	.050	.040	.040	.030	.010	-.010	-.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.080	.060	.040	.040	.030	.000	-.010	-.010
3	СССР	.210	.200	.120	.040	.010	-.050	-.050	-.030
5	СССР	.030	.030	.030	.020	.020	.020	.020	.020
6	СССР	.070	.060	.040	.040	.030	.000	-.010	-.010
7	США	.077	.056	.035	.041	.030	.005	-.007	-.010
9	ФРГ	.089	.071	.042	.035	.024	.003	-.008	-
10	СССР	.040	.000	.040	.000	.000	.000	.000	-
СРЕДНЕЕ (0)		.083	.066	.048	.032	.022	-.002	-.009	-.008
НЕВЯЗКА (0)		.055	.059	.029	.015	.011	.021	.019	.016
СРЕДНЕЕ (1)		.065	.047	.038	.037	.022	.005	-.004	-.008
НЕВЯЗКА (1)		.022	.024	.004	.008	.011	.007	.011	.016

Re Hz

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.150	.280	.270	.200	.100	.050	.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.140	.250	.250	.190	.100	.050	.000
3	СССР	.150	.180	.200	.200	.110	.050	.010
4	СССР	-	.090	.180	.150	.090	.040	-
5	СССР	.140	.350	.260	.160	.080	.030	.010
6	СССР	.130	.250	.240	.190	.100	.050	.000
7	США	.134	.273	.269	.201	.101	.051	.002
7.1	США	.130	.280	.280	.210	.100	.050	.000
9	ФРГ	.120	.254	.261	.200	.102	.052	-
10	СССР	.130	.280	.310	.250	.170	.080	-
СРЕДНЕЕ (0)		.136	.249	.252	.195	.105	.050	.003
НЕВЯЗКА (0)		.010	.070	.038	.027	.024	.012	.005
СРЕДНЕЕ (1)		.136	.266	.252	.189	.098	.047	.003
НЕВЯЗКА (1)		.010	.044	.038	.020	.008	.007	.005

Im Hz

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.030	.030	.040	.050	.050	.040	.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.030	.030	.040	.050	.050	.040	.010
3	СССР	.080	.150	.150	.100	.080	.070	.030
4	СССР	-	.090	.180	.150	.090	.040	-
5	СССР	.010	.010	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	.030	.030	.040	.050	.050	.040	.010
7	США	.036	.029	.038	.051	.050	.039	.010
7.1	США	.040	.020	.030	.050	.050	.040	.010
9	ФРГ	.043	.049	.051	.057	.052	.041	-
10	СССР	-.030	.000	.030	.010	-.020	-.010	-
СРЕДНЕЕ (0)		.030	.044	.060	.057	.045	.034	.011
НЕВЯЗКА (0)		.029	.045	.057	.042	.033	.023	.009
СРЕДНЕЕ (1)		.037	.032	.047	.046	.045	.034	.008
НЕВЯЗКА (1)		.020	.026	.041	.029	.033	.023	.004

		Re	H _y				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.090	1.090	1.040	.980	.960	.960
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.090	1.080	1.040	.990	.970	.970
6	СССР	1.090	1.080	1.040	.990	.970	.970
7	США	1.089	1.098	1.050	.988	.964	.963
7.1	США	1.090	1.100	1.050	.990	.970	.960
9	ФРГ	1.090	1.095	1.050	.982	.964	.963
СРЕДНЕЕ (0)		1.090	1.090	1.045	.987	.966	.964
НЕВЯЗКА (0)		.000	.009	.005	.005	.004	.005
		Im	H _y				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.000	.000	.020	.020	.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.000	.000	.010	.010	.000
6	СССР	.010	.000	.000	.010	.010	.000
7	США	.014	-.003	-.002	.015	.015	.006
7.1	США	.010	.010	.000	.020	.020	.010
9	ФРГ	.018	.004	.001	.013	.013	.004
СРЕДНЕЕ (0)		.012	.002	.000	.015	.015	.005
НЕВЯЗКА (0)		.003	.005	.001	.005	.005	.005
		Re	E _x				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.400	.440	.530	.680	.800	.910
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.450	.490	.570	.700	.810	.910
4	СССР	.320	.350	.450	.570	.720	-
6	СССР	.450	.490	.570	.700	.810	.910
7	США	.362	.387	.490	.652	.783	.905
7.1	США	.360	.380	.480	.640	.780	.900
9	ФРГ	.410	.447	.532	.671	.788	.905
СРЕДНЕЕ (0)		.393	.426	.517	.659	.784	.907
НЕВЯЗКА (0)		.049	.055	.046	.045	.031	.004
СРЕДНЕЕ (1)		.393	.426	.517	.659	.795	.907
НЕВЯЗКА (1)		.049	.055	.046	.045	.013	.004
		Im	E _x				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.120	-.120	-.120	-.100	-.070	-.040
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.120	-.130	-.120	-.100	-.080	-.040
4	СССР	-.110	-.110	-.130	-.140	-.140	-
6	СССР	-.130	-.130	-.130	-.100	-.080	-.040
7	США	-.189	-.192	-.161	-.119	-.081	-.044
7.1	США	-.200	-.200	-.180	-.140	-.090	-.050
9	ФРГ	-.136	-.135	-.132	-.109	-.080	-.046
СРЕДНЕЕ (0)		-.144	-.145	-.139	-.115	-.089	-.043
НЕВЯЗКА (0)		.036	.036	.023	.018	.023	.004
СРЕДНЕЕ (1)		-.144	-.145	-.139	-.115	-.080	-.043
НЕВЯЗКА (1)		.036	.036	.023	.018	.006	.004

УЧАСНИК / У=

.5 .75 1.0 1.25 1.5 2.0

			Re	H_z				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.060	.110	.150	.140	.100	.050
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.050	.100	.140	.120	.090	.050
4	СССР		.040	.090	-	.110	.100	.060
6	СССР		.060	.100	.140	.120	.090	.050
7	США		.042	.093	.152	.140	.102	.050
7.1	США		.040	.090	.150	.140	.100	.050
9	ФРГ		.039	.092	.149	.139	.102	.050
СРЕДНЕЕ (0)			.047	.096	.147	.130	.098	.051
НЕВЯЗКА (0)			.009	.007	.005	.013	.005	.004
СРЕДНЕЕ (1)			.047	.096	.147	.130	.098	.050
НЕВЯЗКА (1)			.009	.007	.005	.013	.005	.000
			Im	H_z				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.020	.010	-.010	.000	.010	.020
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.020	.010	.000	.000	.010	.020
4	СССР		.040	.090	-	.110	.100	.060
6	СССР		.020	.010	.000	.000	.010	.020
7	США		.020	.016	-.006	-.004	.008	.016
7.1	США		.020	.010	-.020	-.010	.000	.020
9	ФРГ		.019	.020	.003	.003	.012	.018
СРЕДНЕЕ (0)			.023	.024	-.005	.014	.021	.025
НЕВЯЗКА (0)			.008	.029	.009	.042	.035	.016
СРЕДНЕЕ (1)			.020	.013	-.005	-.002	.008	.019
НЕВЯЗКА (1)			.000	.004	.009	.005	.004	.002

МОДЕЛЬ ЗД-1А (EYN, T=.1, Z=.0)

УЧАСНИК / У=

Т а б л и ц а ПЗ.4
.5 .75 1.0 1.25 1.5 2.0

			Re	E_y				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.410	.520	.810	1.120	1.130	1.050
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.440	.560	.810	1.090	1.110	1.050
3	СССР		.370	.390	.440	1.060	1.050	1.010
4	СССР		.350	.350	-	1.140	1.130	1.070
5	СССР		.320	.300	.370	1.160	1.140	1.080
6	СССР		.450	.560	.820	1.100	1.110	1.050
7	США		.396	.482	.842	1.120	1.119	1.051
7.1	США		.390	.460	.810	1.130	1.130	1.060
9	ФРГ		.414	.533	.824	1.085	1.105	1.047
10	СССР		.330	.400	.850	1.180	1.200	1.150
СРЕДНЕЕ (0)			.387	.456	.731	1.118	1.122	1.062
НЕВЯЗКА (0)			.044	.092	.186	.036	.037	.036
СРЕДНЕЕ (1)			.387	.456	.731	1.118	1.114	1.052
НЕВЯЗКА (1)			.044	.092	.186	.036	.027	.019

УЧАСТНИК / У=

	.5	.75	1.0	1.25	1.5	2.0
	Im E _x					
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.140	-.100	-.010	.130	.130	.080
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.140	-.110	-.020	.120	.130	.080
3 СССР	-.160	-.100	-.020	.200	.160	.080
4 СССР	-.110	-.110	-.070	.060	.050	
5 СССР	-.110	-.110	-.080	.050	.050	.040
6 СССР	-.150	-.110	-.020	.120	.130	.080
7 США	-.179	-.122	.050	.157	.140	.079
7.1 США	-.180	-.140	.040	.160	.150	.080
9 ФРГ	-.152	-.112	-.003	.119	.126	.077
10 СССР	-.010	-.020	.090	.200	.200	.150
СРЕДНЕЕ (0)	-.133	-.103	.003	.133	.128	.080
НЕВЯЗКА (0)	.049	.031	.050	.049	.044	.029
СРЕДНЕЕ (1)	-.147	-.113	.003	.133	.128	.072
НЕВЯЗКА (1)	.025	.012	.050	.049	.044	.015

1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.

1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.

3 СССР

5 СССР

6 СССР

7 США

9 ФРГ

10 СССР

СРЕДНЕЕ (0)

НЕВЯЗКА (0)

СРЕДНЕЕ (1)

НЕВЯЗКА (1)

	Re H _x	1.260	1.220	1.170	1.120	1.090	1.050
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.240	1.200	1.160	1.120	1.080	1.050	
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.260	1.250	1.210	1.120	1.080	1.060	
3 СССР	1.390	1.400	1.460	.940	.960	.980	
5 СССР	1.240	1.200	1.150	1.110	1.080	1.040	
6 СССР	1.248	1.209	1.163	1.120	1.087	1.047	
7 США	1.237	1.203	1.160	1.120	1.087	1.047	
9 ФРГ	1.300	1.250	1.200	1.150	1.110	1.070	
10 СССР	1.272	1.241	1.209	1.100	1.072	1.043	
СРЕДНЕЕ (0)	.052	.067	.104	.066	.046	.027	
НЕВЯЗКА (0)	1.255	1.219	1.173	1.123	1.088	1.052	
СРЕДНЕЕ (1)	.022	.022	.023	.013	.011	.010	
НЕВЯЗКА (1)							

1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.

1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.

3 СССР

5 СССР

6 СССР

7 США

9 ФРГ

10 СССР

СРЕДНЕЕ (0)

НЕВЯЗКА (0)

СРЕДНЕЕ (1)

НЕВЯЗКА (1)

	Im H _x	.060	.050	.050	.040	.040	.030
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.070	.060	.050	.040	.040	.040	.030
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.190	.150	.120	.040	.040	.040	.020
3 СССР	.030	.030	.040	.020	.020	.020	.020
5 СССР	.060	.060	.050	.040	.040	.040	.030
6 СССР	.069	.060	.050	.042	.037	.027	
7 США	.078	.067	.055	.046	.040	.029	
9 ФРГ	.020	.020	.010	.000	.000	.000	
10 СССР	.072	.062	.053	.034	.032	.023	
СРЕДНЕЕ (0)	.052	.039	.031	.016	.015	.010	
НЕВЯЗКА (0)	.055	.050	.044	.038	.037	.027	
СРЕДНЕЕ (1)	.022	.018	.015	.008	.007	.005	
НЕВЯЗКА (1)							

МОДЕЛЬ ЗД-1А (EXN, T=10.0, Z=.0)

Т а б л и ц а П3.5

УЧАСТНИК / X=

.0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0 4.0

	Re E _x	.160	.270	.700	1.090	1.170	1.150	1.100	1.030
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.180	.290	.710	1.080	1.160	1.140	1.100	1.030	
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.									

ПАСТИК / X=	.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
1.2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.110	.230	.700	1.100	1.170	1.150	1.110	-
2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.100	.240	.740	1.090	1.160	1.150	1.110	1.030
6 СССР	.180	.290	.710	1.080	1.160	1.140	1.100	1.030
7 США	.109	.245	.752	1.110	1.176	1.145	1.101	1.026
7.1 США	.080	.190	.680	1.080	1.170	1.160	1.120	1.030
9 ФРГ	.164	.268	.704	1.085	1.169	1.146	1.103	-
11 СССР	.140	.270	.730	1.090	1.170	1.140	1.100	1.030
СРЕДНЕЕ (0)	.136	.255	.714	1.089	1.167	1.147	1.105	1.029
НЕВЯЗКА (0)	.037	.032	.023	.010	.006	.007	.007	.002
СРЕДНЕЕ (1)	.136	.263	.714	1.087	1.167	1.145	1.103	1.030
НЕВЯЗКА (1)	.037	.022	.023	.007	.006	.005	.004	.000
Im E _x								
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.030	.000	.000	.000	.010	.010	.000
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.040	.000	.010	.010	.010	.010	.000
1.2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-
2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6 СССР	-.050	-.040	.000	.010	.010	.010	.010	.000
7 США	-.024	-.021	-.011	-.002	.003	.006	.006	.003
7.1 США	-.030	-.020	-.010	-.010	.000	.010	.010	.000
9 ФРГ	-.053	-.041	-.003	.007	.007	.008	.007	-
11 СССР	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
СРЕДНЕЕ (0)	-.029	-.021	-.003	.002	.003	.006	.006	.000
НЕВЯЗКА (0)	.024	.018	.005	.006	.004	.005	.005	.001
СРЕДНЕЕ (1)	-.029	-.021	-.003	.002	.003	.006	.006	.000
НЕВЯЗКА (1)	.024	.018	.005	.006	.004	.005	.005	.000
Re H _y								
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000
6 СССР	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000
7 США	1.013	1.012	1.011	1.009	1.008	1.006	1.005	1.002
7.1 США	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.000
9 ФРГ	1.012	1.012	1.010	1.009	1.008	1.006	1.005	-
СРЕДНЕЕ (0)	1.011	1.011	1.010	1.010	1.009	1.009	1.003	1.000
НЕВЯЗКА (0)	.001	.001	.000	.001	.001	.002	.004	.001
Im H _y								
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	.000	.000
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	.000	.000
6 СССР	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	.000	.000
7 США	-.013	-.012	-.010	-.009	-.008	-.005	.004	.001
7.1 США	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	.000	.000
9 ФРГ	-.013	-.012	-.011	-.010	-.008	-.006	-.004	-
СРЕДНЕЕ (0)	-.011	-.011	-.010	-.010	-.009	-.009	.000	.000
НЕВЯЗКА (0)	.002	.001	.000	.000	.001	.002	.003	.000

.0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0 4.0

					Re E _y				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.120	.130	.210	.360	.510	.730	.840	.970
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.130	.140	.210	.360	.510	.730	.840	.970
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.060	.070	.150	.310	.480	.710	.830	-
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.050	.070	.150	.320	.480	.700	.830	.970
6	СССР	.130	.150	.220	.360	.510	.730	.840	.970
7	США	.069	.095	.183	.339	.503	.726	.842	.969
7.1	США	.060	.080	.160	.300	.470	.700	.820	.970
9	ФРГ	.123	.137	.199	.337	.492	.715	.833	-
10	СССР	.120	.150	.180	.360	.500	.750	.900	-
11	СССР	.160	.180	.260	.400	.540	.740	.850	-
СРЕДНЕЕ (0)		.102	.120	.192	.345	.500	.723	.843	.970
НЕВЯЗКА (0)		.039	.039	.035	.030	.020	.017	.022	.000
СРЕДНЕЕ (1)		.102	.120	.192	.345	.495	.723	.836	.970
НЕВЯЗКА (1)		.039	.039	.035	.030	.015	.017	.009	.000

					Im E _y				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.050	-.050	-.040	-.030	-.020	-.010	.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.060	-.060	-.050	-.040	-.030	-.020	-.010	.000
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.060	-.060	-.050	-.040	-.030	-.020	-.010	.000
7	США	-.032	-.031	-.030	-.027	-.022	-.013	-.008	-.001
7.1	США	-.030	-.030	-.030	-.030	-.030	-.020	-.010	.000
9	ФРГ	-.062	-.061	-.052	-.039	-.029	-.017	-.010	-
10	СССР	-.030	-.030	-.020	-.010	.000	.000	.000	-
11	СССР	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-
СРЕДНЕЕ (0)		-.032	-.032	-.028	-.023	-.017	-.011	-.006	.000
НЕВЯЗКА (0)		.026	.025	.022	.018	.015	.010	.005	.000

					Re H _x				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.040	1.030	1.020	1.010	1.000	1.000	1.000	1.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.030	1.030	1.020	1.010	1.000	1.000	1.000	1.000
6	СССР	1.040	1.030	1.020	1.010	1.000	1.000	1.000	1.000
7	США	1.041	1.037	1.024	1.011	1.003	.997	.996	.998
9	ФРГ	1.038	1.034	1.023	1.012	1.004	.998	.997	-
СРЕДНЕЕ (0)		1.038	1.032	1.021	1.011	1.001	.999	.999	1.000
НЕВЯЗКА (0)		.004	.003	.002	.001	.002	.001	.002	.001

					Im H _x				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.040	-.040	-.020	-.010	.000	.000	.000	.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.040	-.040	-.020	-.010	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.040	-.040	-.020	-.010	.000	.000	.000	.000
7	США	-.046	-.041	-.026	-.009	.000	.005	.005	.003
9	ФРГ	-.048	-.042	-.027	-.010	-.001	.005	.006	-
СРЕДНЕЕ (0)		-.043	-.041	-.023	-.010	.000	.002	.002	.001
НЕВЯЗКА (0)		.004	.001	.004	.000	.000	.003	.003	.002

УЧАСТНИК / X=	.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
					Re H_z			
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.020	.030	.030	.020	.020	.010	.000	
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.030	.030	.020	.020	.010	.010	
6 СССР	.010	.030	.030	.020	.020	.010	.010	
7 США	.018	.031	.032	.027	.019	.013	.004	
7.1 США	.020	.030	.030	.030	.020	.010	.010	
9 ФРГ	.016	.027	.029	.026	.018	.013	-	
СРЕДНЕЕ (0)	.016	.030	.030	.024	.019	.011	.007	
НЕВЯЗКА (0)	.005	.001	.001	.004	.001	.002	.005	
					Im H_z			
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.020	-.030	-.040	-.030	-.020	-.010	.000	
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.020	-.030	-.030	-.030	-.020	-.010	.000	
6 СССР	-.020	-.030	-.030	-.030	-.020	-.010	.000	
7 США	-.021	-.036	-.036	-.030	-.019	-.013	-.004	
7.1 США	-.020	-.030	-.030	-.030	-.020	-.010	.000	
9 ФРГ	-.022	-.037	-.038	-.032	-.020	-.014	-	
СРЕДНЕЕ (0)	-.020	-.032	-.034	-.030	-.020	-.011	-.001	
НЕВЯЗКА (0)	.001	.003	.005	.001	.000	.002	.002	
СРЕДНЕЕ (1)	-.020	-.032	-.034	-.030	-.020	-.011	-.001	
НЕВЯЗКА (1)	.001	.003	.005	.000	.000	.002	.002	

МОДЕЛЬ ЗД-1А (EXN, T=10.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / Y=	.5	.75	1.0	1.25	1.5	2.0	Т а б л и ц а П 3 . 7
					Re E_x		
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.170	.200	.320	.540	.710	.870	
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.190	.220	.340	.550	.710	.870	
1.2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.120	.160	.280	.510	.690	.860	
2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.110	.150	.290	.520	.690	.860	
6 СССР	.190	.220	.340	.550	.710	.870	
7 США	.121	.166	.314	.529	.705	.870	
7.1 США	.090	.130	.280	.480	.670	.850	
9 ФРГ	.175	.205	.314	.521	.693	.861	
11 СССР	.170	.220	.360	.560	.720	.870	
СРЕДНЕЕ (0)	.148	.186	.315	.529	.700	.865	
НЕВЯЗКА (0)	.038	.035	.028	.025	.015	.007	
СРЕДНЕЕ (1)	.148	.186	.315	.529	.700	.866	
НЕВЯЗКА (1)	.038	.035	.028	.025	.015	.005	
					Im E_x		
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.040	-.040	-.020	-.010	-.010	
1.1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.050	-.040	-.020	-.020	-.010	
1.2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
6 СССР	-.050	-.050	-.040	-.020	-.020	-.010	
7 США	-.024	-.022	-.018	-.015	-.011	-.005	

УЧАСТНИК / У=

7.1	США	.5	.75	1.0	1.25	1.5	2.0
9	ФРГ	-.030	-.020	-.020	-.020	-.010	-.010
11	СССР	-.053	-.050	-.040	-.024	-.015	-.007
СРЕДНЕЕ (0)		.000	.000	.000	.000	.000	.000
НЕВЯЗКА (0)		-.029	-.026	-.022	-.013	-.010	-.006
		.024	.022	.019	.010	.008	.005

Re H_z

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.010	.010	.010	.010	.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.010	.010	.010	.010	.010
6	СССР	.010	.010	.010	.010	.010	.010
7	США	.008	.012	.015	.014	.012	.008
7.1	США	.010	.010	.010	.010	.010	.010
9	ФРГ	.007	.011	.014	.013	.011	.008
СРЕДНЕЕ (0)		.009	.010	.012	.011	.010	.009
НЕВЯЗКА (0)		.001	.001	.002	.002	.001	.001

Im H_z

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.010	-.010	-.020	-.010	-.010	-.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010
6	СССР	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010
7	США	-.008	-.012	-.016	-.014	-.011	-.007
7.1	США	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010
9	ФРГ	-.008	-.013	-.017	-.015	-.012	-.008
СРЕДНЕЕ (0)		-.009	-.011	-.014	-.011	-.011	-.009
НЕВЯЗКА (0)		.001	.001	.004	.002	.001	.001

Re H_y

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000	1.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000	1.000
6	СССР	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000	1.000
7	США	1.012	1.010	1.006	1.001	.999	.998
7.1	США	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000	1.000
9	ФРГ	1.011	1.010	1.006	1.002	1.000	.998
СРЕДНЕЕ (0)		1.010	1.010	1.009	1.000	1.000	.999
НЕВЯЗКА (0)		.001	.000	.002	.001	.000	.001

Im H_y

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.010	-.010	-.010	.000	.000	.000
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.010	-.010	-.010	.000	.000	.000
6	СССР	-.010	-.010	-.010	.000	.000	.000
7	США	-.011	-.010	-.005	.000	.002	.002
7.1	США	-.010	-.010	-.010	.000	.000	.000
9	ФРГ	-.012	-.010	-.006	-.001	.002	.003
СРЕДНЕЕ (0)		-.011	-.010	-.009	.000	.001	.001
НЕВЯЗКА (0)		.001	.000	.002	.000	.001	.001

МОДЕЛЬ ЗД-1А (EYN, T=10.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / У=

Т а б л и ц а ПЗ.8

.5 .75 1.0 1.25 1.5 2.0

Re H_x

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.030	1.030	1.020	1.020	1.020	1.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.030	1.030	1.020	1.020	1.020	1.010
6	СССР	1.030	1.030	1.020	1.020	1.020	1.010
7	США	1.037	1.032	1.026	1.021	1.017	1.011
9	ФРГ	1.034	1.030	1.025	1.020	1.017	1.012
СРЕДНЕЕ (0)		1.032	1.030	1.022	1.020	1.019	1.011
НЕВЯЗКА (0)		.003	.001	.003	.000	.002	.001

Im H_x

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.040	-.030	-.030	-.020	-.020	-.010
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.040	-.030	-.020	-.020	-.020	-.010
6	СССР	-.040	-.030	-.020	-.020	-.020	-.010
7	США	-.041	-.035	-.028	-.021	-.017	-.011
9	ФРГ	-.042	-.036	-.030	-.023	-.018	-.012
СРЕДНЕЕ (0)		-.041	-.032	-.026	-.021	-.019	-.011
НЕВЯЗКА (0)		.001	.003	.005	.001	.001	.001

Re E_y

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.170	.350	.920	1.410	1.420	1.270
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.180	.370	.940	1.390	1.400	1.260
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.120	.320	.950	1.420	1.430	1.280
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.090	.330	1.030	1.400	1.390	1.270
6	СССР	.180	.370	.940	1.390	1.400	1.260
7	США	.125	.350	1.041	1.440	1.422	1.264
7.1	США	.080	.280	.970	1.420	1.430	1.290
9	ФРГ	.169	.348	.934	1.392	1.412	1.270
10	СССР	.160	.300	.900	1.450	1.450	1.220
11	СССР	.220	.410	.990	1.370	1.370	1.240
СРЕДНЕЕ (0)		.149	.343	.962	1.408	1.412	1.262
НЕВЯЗКА (0)		.044	.037	.046	.025	.023	.020
СРЕДНЕЕ (1)		.149	.343	.962	1.408	1.412	1.267
НЕВЯЗКА (1)		.044	.037	.046	.025	.023	.014

Im E_y

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.030	.020	.020	.020	.020
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.030	.030	.030	.020	.020
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.050	-.030	.030	.030	.020	.020
7	США	-.031	-.023	.000	.010	.015	.015
7.1	США	-.030	-.030	.000	.010	.010	.020
9	ФРГ	-.056	-.034	.023	.030	.024	.019
10	СССР	-.020	-.010	.010	.030	.030	.030
11	СССР	.000	.000	.000	.000	.000	.000
СРЕДНЕЕ (0)		-.029	-.019	.011	.016	.014	.014
НЕВЯЗКА (0)		.023	.014	.013	.013	.011	.011
СРЕДНЕЕ (1)		-.029	-.019	.011	.016	.014	.014
НЕВЯЗКА (1)		.023	.014	.013	.013	.011	.011

МОДЕЛЬ ЗД-1А (T=.1, Z=.0)

УЧАСТНИК / X=

.0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0

Т а б л и ц а ПЗ.9

				R_{xy}				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	13.90	18.90	45.30	92.40	103.00	101.30	99.50
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	17.70	23.10	47.60	89.40	101.40	100.90	99.40
4	СССР	5.90	5.80	7.60	134.00	134.00	114.00	98.00
6	СССР	17.50	23.00	48.00	90.10	101.80	101.20	99.50
7	США	13.60	17.74	50.86	94.02	102.80	101.20	99.43
7.1	США	14.82	17.58	47.84	96.65	105.80	102.10	99.56
9	ФРГ	15.25	20.77	47.80	88.36	100.30	100.70	99.30
СРЕДНЕЕ (0)		14.10	18.13	42.14	97.85	107.01	103.06	99.24
НЕВЯЗКА (0)		3.96	5.89	15.32	16.20	12.02	4.85	.55
СРЕДНЕЕ (1)		15.46	20.18	47.90	91.82	102.52	101.23	99.45
НЕВЯЗКА (1)		1.76	2.50	1.77	3.14	1.89	.48	.09

 R_{yx}

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	9.30	10.60	17.70	35.20	55.00	81.30	92.70
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	10.80	12.30	19.60	36.50	55.50	81.40	92.80
4	СССР	6.60	7.00	10.80	-	63.60	97.50	-
5	СССР	5.80	6.60	10.20	23.00	42.80	75.00	98.80
6	СССР	11.50	13.10	20.50	37.20	56.20	81.90	93.10
7	США	11.12	12.36	18.93	35.68	55.00	81.15	92.71
7.1	США	10.70	11.75	18.31	35.15	54.75	81.30	92.97
9	ФРГ	10.55	11.82	18.16	34.11	53.65	80.42	94.32
10	СССР	5.90	6.60	12.00	27.00	48.00	80.00	97.00
СРЕДНЕЕ (0)		9.14	10.24	16.24	32.98	53.83	82.22	94.30
НЕВЯЗКА (0)		2.37	2.71	4.04	5.12	5.74	6.10	2.33
СРЕДНЕЕ (1)		9.14	10.24	16.24	32.98	53.83	80.31	94.30
НЕВЯЗКА (1)		2.37	2.71	4.04	5.12	5.74	2.23	2.33

МОДЕЛЬ ЗД-1А (T=.1, Z=.0)

УЧАСТНИК / Y=

.5 .75 1.0 1.25 1.5 2.0

Т а б л и ц а ПЗ.10

			R_{xy}					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	14.80	17.60	27.60	49.10	69.20	89.20	
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	18.80	22.00	32.00	51.80	70.50	89.00	
4	СССР	5.90	6.30	14.00	35.00	61.70	94.20	
6	СССР	18.70	21.90	31.80	51.60	70.40	89.60	
7	США	14.05	15.49	24.06	45.08	66.70	88.47	
7.1	США	14.42	15.65	23.61	43.67	65.43	88.23	
9	ФРГ	15.71	18.21	27.26	47.93	67.51	88.53	
СРЕДНЕЕ (0)		14.63	16.74	25.76	46.31	67.35	89.60	
НЕВЯЗКА (0)		4.32	5.31	6.15	5.84	3.13	2.08	
СРЕДНЕЕ (1)		16.08	16.74	25.76	46.31	67.35	88.84	
НЕВЯЗКА (1)		2.14	5.31	6.15	5.84	3.13	.52	

УЧАСТНИК / У=		.5	.75	1.0	1.25	1.5	2.0
		R_{yx}					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	11.60	18.90	47.70	101.20	108.50	101.50
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	14.00	22.50	49.30	97.00	106.60	101.00
4	СССР	6.40	6.10	-	146.00	135.00	110.00
5	СССР	5.70	5.30	6.70	153.00	140.00	120.00
6	СССР	14.50	22.80	49.90	97.90	107.00	101.20
7	США	12.07	16.88	52.56	101.80	107.50	101.30
7.1	США	11.65	15.48	48.29	102.60	109.50	101.90
9	ФРГ	12.63	20.41	50.37	94.82	104.50	100.50
10	СССР	6.40	10.00	51.00	92.00	128.00	117.00
СРЕДНЕЕ (0)		10.55	15.37	44.48	109.59	116.29	106.04
НЕВЯЗКА (0)		3.44	6.73	15.34	22.95	13.93	7.67
СРЕДНЕЕ (1)		10.55	15.37	49.87	109.59	116.29	106.04
НЕВЯЗКА (1)		3.44	6.73	1.65	22.95	13.93	7.67

МОДЕЛЬ ЗД-1А (T=10.0, Z=.0)

Т а б л и ц а ПЗ.11

УЧАСТНИК / Х=		.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0

		R_{xy}						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ	2.80	7.20	48.00	117.70	135.40	129.70	120.30
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	3.30	8.20	49.90	115.00	135.40	129.00	120.00
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.30	5.40	48.90	120.00	138.00	132.30	122.50
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.10	5.70	52.70	118.00	136.00	132.00	122.00
6	СССР	3.40	8.31	49.90	115.00	133.30	129.00	120.00
7	США	1.21	5.92	55.26	120.90	136.00	129.50	120.10
7.1	США	.68	3.69	45.80	115.30	135.20	132.30	123.00
9	ФРГ	2.89	7.17	48.59	115.60	134.50	129.80	120.50
11	СССР	2.00	7.00	53.80	120.00	136.00	131.00	121.00
СРЕДНЕЕ (0)		2.08	6.51	50.32	117.50	135.53	130.51	121.04
НЕВЯЗКА (0)		1.04	1.48	3.03	2.38	1.27	1.40	1.16

		R_{yx}						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.60	2.00	4.30	12.50	25.80	52.70	70.90
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.80	2.20	4.70	12.90	26.10	52.90	71.00
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.30	.60	2.40	9.80	22.60	49.80	68.60
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.30	.50	2.30	10.00	22.60	49.60	68.40
6	СССР	1.92	2.30	4.70	12.90	26.10	52.90	71.00
7	США	.53	.93	3.27	11.31	25.17	52.98	71.34
7.1	США	.44	.68	2.39	9.08	21.70	49.01	68.30
9	ФРГ	1.74	2.10	4.02	11.22	24.11	51.33	69.81
10	СССР	1.40	2.20	3.20	13.00	25.00	56.00	81.00
11	СССР	.2	2.70	3.30	6.50	15.70	27.10	55.00
СРЕДНЕЕ (0)		1.27	1.68	3.78	11.84	24.63	52.22	71.24
НЕВЯЗКА (0)		.83	.94	1.34	1.97	1.80	2.30	3.68
СРЕДНЕЕ (1)		1.27	1.68	3.78	11.84	24.63	52.22	70.15
НЕВЯЗКА (1)		.83	.94	1.34	1.97	1.80	2.30	1.41

МОДЕЛЬ ЗД-1А (T=10.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / Y=

.5 .75 1.0 1.25 1.5 2.0

Т а б л и ц а ПЗ.12

				R_{xy}			
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	3.10	4.30	10.40	28.70	49.80	75.40
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	3.70	4.90	11.30	29.70	50.50	75.60
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.50	2.40	8.00	26.00	47.40	73.70
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.40	2.30	8.40	27.00	48.00	74.00
6	СССР	3.76	4.98	11.40	29.70	50.40	75.60
7	США	1.47	2.73	9.78	27.89	49.87	75.91
7.1	США	.80	1.79	7.67	22.83	44.24	71.95
9	ФРГ	3.24	4.36	9.93	27.14	48.02	74.43
11	СССР	2.80	4.90	12.80	31.60	51.50	75.70
СРЕДНЕЕ (0)		2.42	3.63	9.96	27.84	48.86	74.70
НЕВЯЗКА (0)		1.13	1.30	1.72	2.54	2.20	1.31
СРЕДНЕЕ (1)		2.42	3.63	9.96	27.84	48.86	75.04
НЕВЯЗКА (1)		1.13	1.30	1.72	2.54	2.20	.86

 R_{yx}

1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	2.90	11.80	81.50	190.20	194.40	156.60
1.1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	3.30	13.10	83.80	184.80	191.00	156.10
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.30	10.50	90.10	202.30	204.30	163.40
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.00	11.10	101.00	196.00	197.00	163.00
6	СССР	3.40	13.20	84.00	184.80	191.00	156.10
7	США	1.54	11.55	102.80	198.80	195.50	156.20
7.1	США	.78	7.51	89.74	192.20	197.70	161.50
9	ФРГ	2.96	11.48	83.85	186.20	192.80	157.50
10	СССР	2.60	9.00	81.00	210.00	210.00	150.00
11	СССР	4.60	16.80	98.60	188.00	188.00	154.00
СРЕДНЕЕ (0)		2.44	11.60	89.64	193.33	196.17	157.44
НЕВЯЗКА (0)		1.24	2.51	8.32	8.37	6.63	4.16
СРЕДНЕЕ (1)		2.44	11.03	89.64	193.33	194.63	157.44
НЕВЯЗКА (1)		1.24	1.83	8.32	8.37	4.78	4.16

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EXN, T=.1, Z=.0)

УЧАСТНИК / X=

.0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0 4.0

Т а б л и ц а ПЗ.13

				$Re E_x$			
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.410	.460	.670	.930	.990	1.000
6	СССР	.400	.460	.690	.940	1.000	1.000
7	США	.315	.389	.708	.965	1.010	1.007
2Д		.290	.360	.690	.920	.970	.990
СРЕДНЕЕ (0)		.354	.417	.690	.939	.993	.999
НЕВЯЗКА (0)		.060	.051	.016	.019	.017	.007
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.110	-.130	-.090	-.010	.020	.020
6	СССР	-.130	-.130	-.090	-.020	.010	.020
				$Im E_x$			
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.					.010	.000
6	СССР					.010	.000

УЧАСНИК / X=		.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
7	США	-.169	-.164	-.085	-.022	-.001	.009	.009	.004
2Д		-.160	-.140	-.060	-.010	.000	.010	.000	.000
СРЕДНЕЕ (0)		-.142	-.141	-.081	-.015	.007	.015	.007	.001
НЕВЯЗКА (0)		.027	.016	.014	.006	.010	.006	.005	.002
$\text{Re } H_y$									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000	1.000
6	СССР	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.000	1.000	1.000
7	США	.999	.998	.996	.997	.998	1.001	1.003	1.002
$\text{Im } H_y$									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.010	.010	.010	.010	.000	.000	.000
6	СССР	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.000
7	США	-.016	-.016	-.014	-.011	-.007	-.001	.003	.004

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EYN, T=.1, Z=.0)

Т а б л и ц а П3.14

УЧАСНИК / X=		.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.420	.440	.510	.610	.890	.790	.860	1.010
6	СССР	.430	.450	.510	.600	.690	.810	.890	.990
7	США	.405	.426	.491	.583	.668	.793	.873	.986
2Д		.380	.400	.470	.570	.650	.790	.870	.990
СРЕДНЕЕ (0)		.409	.429	.495	.591	.674	.796	.873	.994
НЕВЯЗКА (0)		.022	.022	.019	.018	.019	.010	.012	.011
СРЕДНЕЕ (1)		.409	.429	.495	.591	.674	.796	.873	.994
НЕВЯЗКА (1)		.022	.022	.019	.018	.019	.010	.012	.011
$\text{Re } E_y$									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.160	-.160	-.170	-.190	-.200	-.180	-.160	-.070
6	СССР	-.170	-.170	-.180	-.200	-.200	-.190	-.170	-.070
7	США	-.130	-.133	-.146	-.168	-.181	-.177	-.156	-.064
2Д		-.100	-.100	-.120	-.150	-.160	-.170	-.150	-.060
СРЕДНЕЕ (0)		-.140	-.141	-.154	-.177	-.185	-.179	-.159	-.066
НЕВЯЗКА (0)		.032	.031	.027	.022	.019	.008	.008	.005
$\text{Im } E_y$									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.390	1.380	1.260	1.070	.960	.920	.910	.970
6	СССР	1.390	1.390	1.260	1.070	.960	.910	.910	.970
7	США	1.427	1.434	1.307	1.075	.958	.900	.905	.970
2Д		1.470	1.500	1.370	1.050	.930	.880	.890	.970
СРЕДНЕЕ (0)		1.419	1.426	1.299	1.066	.952	.903	.904	.970
НЕВЯЗКА (0)		.038	.055	.052	.011	.015	.017	.009	.000
$\text{Re } H_x$									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.360	.330	.240	.150	.080	.000	-.040	-.040
6	СССР	.360	.340	.260	.160	.090	.000	-.040	-.050
7	США	.349	.318	.230	.147	.082	.004	-.032	-.045
2Д		.400	.380	.270	.180	.110	.020	-.020	-.040
СРЕДНЕЕ (0)		.367	.342	.250	.159	.091	.006	-.033	-.044
НЕВЯЗКА (0)		.022	.027	.018	.015	.014	.010	.009	.005
$\text{Im } H_x$									

УЧАСТНИК / X=		.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
		Re H _z						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.150	.320	.330	.260	.130	.060	-.010
6	СССР	.140	.320	.330	.250	.130	.060	-.010
7	США	.150	.358	.372	.284	.145	.069	-.007
2Д		.140	.380	.390	.290	.140	.060	-.010
СРЕДНЕЕ (0)		.145	.345	.355	.271	.136	.062	-.009
НЕВЯЗКА (0)		.006	.030	.030	.019	.008	.005	.001
		Im H _z						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.130	.210	.230	.220	.180	.140	.040
6	СССР	.120	.210	.240	.230	.190	.140	.040
7	США	.123	.200	.221	.215	.175	.134	.035
2Д		.120	.190	.220	.220	.180	.140	.040
СРЕДНЕЕ (0)		.123	.202	.228	.221	.181	.138	.039
НЕВЯЗКА (0)		.005	.010	.009	.006	.006	.003	.003

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EXN, T=.1, Z=.0)

УЧАСТНИК / Y=

Т а б л и ц а П3.15

	2.5	3.75	5.0	6.25	7.5	10.0
--	-----	------	-----	------	-----	------

		Re E _x						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.410	.430	.590	.930	.980	1.000	
6	СССР	.400	.420	.560	.930	.980	1.000	
7	США	.262	.304	.577	.936	.984	.998	
		Im E _x						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.110	-.130	-.130	-.040	-.020	.000	
6	СССР	-.130	-.130	-.130	-.040	-.020	-.010	
7	США	-.242	-.223	-.152	-.043	-.019	-.005	
		Re H _y						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.040	1.010	.960	.980	1.000	
6	СССР	1.010	1.030	1.020	.970	.980	1.000	
7	США	1.011	1.041	1.008	.965	.985	.997	

		Im H _y						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.010	.020	.000	.000	-.010	.000	
6	СССР	.010	.010	.000	.000	-.010	.000	
7	США	.023	.023	-.013	-.007	-.009	-.004	

		Re H _z						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.020	.150	.030	.010	.000	
6	СССР	.000	.010	.130	.030	.010	.000	
7	США	-.002	.033	.144	.030	.005	.000	

		Im H _z						
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.020	.000	.020	.010	.000	
6	СССР	.010	.020	.000	.020	.010	.000	
7	США	-.004	.070	-.001	.018	.010	.002	

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EYN, T=.1, Z=.0)
УЧАСТНИК / Y=

Т а б л и ц а ПЗ.16
2.5 3.75 5.0 6.25 7.5 10.0

			Re E _y					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.420	.400	.760	1.030	1.000	1.000
6	СССР		.430	.420	.830	1.020	1.000	1.000
7	США		.399	.419	.838	1.034	1.002	1.001
			Im E _y					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		-.160	-.140	-.050	.090	.030	.000
6	СССР		-.190	-.240	-.040	.090	.030	.010
7	США		-.165	-.090	.054	.097	.026	.005
			Re H _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		1.390	1.350	1.170	1.040	1.010	1.000
6	СССР		1.380	1.340	1.160	1.030	1.010	1.000
7	США		1.423	1.368	1.169	1.036	1.009	1.001
			Im H _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.320	.250	.110	.050	.020	.010
6	СССР		.330	.250	.120	.050	.020	.010
7	США		.302	.218	.102	.044	.020	.006

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EXN, T=10.0, Z=.0)

Т а б л и ц а ПЗ.17

УЧАСТНИК / X= .0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0 4.0

			Re E _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.150	.240	.650	.990	1.080	1.100
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.090	.210	.640	.980	1.070	1.100
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.090	.210	.650	.980	1.070	1.100
6	СССР		.160	.260	.640	.980	1.070	1.100
7	США		.108	.220	.663	1.004	1.085	1.101
2Д			.120	.220	.670	.990	1.070	1.090
СРЕДНЕЕ (0)			.120	.227	.652	.987	1.074	1.098
НЕВЯЗКА (0)			.030	.020	.012	.010	.007	.004
СРЕДНЕЕ (1)			.120	.227	.652	.987	1.074	1.100
НЕВЯЗКА (1)			.030	.020	.012	.010	.007	.005
			Im E _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		-.050	-.040	-.010	.000	.000	.010
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР		-.050	-.040	.000	.000	.010	.010
7	США		-.026	-.022	-.013	-.007	-.001	.006
2Д			-.030	-.030	-.010	.000	.010	.010
СРЕДНЕЕ (0)			-.026	-.022	-.005	-.001	.002	.006
НЕВЯЗКА (0)			.022	.018	.006	.003	.004	.005
СРЕДНЕЕ (1)			-.026	-.022	-.005	.000	.000	.006
НЕВЯЗКА (1)			.022	.018	.006	.000	.005	.005

УЧАСТНИК / X=		.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
Re H _y									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	СССР	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
7	США	1.005	1.005	1.005	1.005	1.004	1.004	1.004	1.003
Im H _y									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
7	США	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.002

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EYN, T=10.0, Z=.0)

Т а б л и ц а ПЗ.18

УЧАСТНИК / X=		.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
---------------	--	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

Re E _y									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.200	.200	.220	.260	.310	.410	.500	.750
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.130	.130	.150	.200	.250	.360	.450	.730
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.110	.110	.160	.240	.310	.390	.460	.730
6	СССР	.260	.260	.270	.290	.330	.410	.500	.750
7	США	.190	.207	.241	.280	.334	.435	.522	.761
2Д		.420	.420	.440	.450	.470	.510	.540	.630
СРЕДНЕЕ (0)		.218	.221	.247	.287	.334	.419	.495	.725
НЕВЯЗКА (0)		.112	.112	.105	.086	.073	.051	.035	.048

Im E _y									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.070	-.070	-.070	-.070	-.070	-.060	-.050	-.020
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.050	-.050	-.050	-.050	-.050	-.040	-.060	-.030
7	США	-.049	-.048	-.047	-.048	-.046	-.039	-.033	-.011
2Д		.230	.220	.210	.200	.180	.150	.130	.060
СРЕДНЕЕ (0)		.010	.009	.007	.005	.002	.002	-.002	.000
НЕВЯЗКА (0)		.111	.107	.103	.100	.092	.076	.069	.032

Re H _x									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.300	1.280	1.220	1.160	1.110	1.050	1.020	.980
6	СССР	1.370	1.350	1.270	1.180	1.120	1.050	1.010	.980
7	США	1.357	1.332	1.259	1.173	1.111	1.042	1.008	.976
2Д		3.210	3.090	2.690	2.240	1.930	1.550	1.340	1.040
СРЕДНЕЕ (0)		1.809	1.763	1.610	1.438	1.318	1.173	1.095	.994
НЕВЯЗКА (0)		.934	.885	.720	.535	.408	.251	.164	.031

Im H _x									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.230	-.210	-.160	-.110	-.070	-.020	.000	.020
6	СССР	-.310	-.280	-.210	-.130	-.070	-.020	.010	.030
7	США	-.289	-.267	-.201	-.123	-.070	-.016	.007	.023
2Д		.320	.300	.290	.280	.250	.200	.160	.090
СРЕДНЕЕ (0)		-.127	-.114	-.070	-.021	.010	.036	.044	.041
НЕВЯЗКА (0)		.300	.278	.241	.201	.160	.109	.077	.033

УЧАСТНИК / X=		.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0	4.0
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.090	.160	.180	.190	.180	.150	.080	
6	СССР	.110	.200	.220	.220	.180	.150	.080	
7	США	.110	.192	.216	.210	.177	.146	.071	
2Д		.520	.900	1.050	1.050	.950	.830	.500	
СРЕДНЕЕ (0)		.208	.363	.416	.418	.372	.319	.183	
НЕВЯЗКА (0)		.209	.358	.423	.422	.386	.341	.212	
<i>Re H_Z</i>									
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.070	-.130	-.150	-.140	-.130	-.100	-.050	
6	СССР	-.100	-.180	-.190	-.180	-.140	-.110	-.050	
7	США	-.095	-.167	-.183	-.171	-.136	-.108	-.047	
2Д		.040	.060	.090	.110	.130	.140	.110	
СРЕДНЕЕ (0)		-.056	-.104	-.108	-.095	-.069	-.044	-.009	
НЕВЯЗКА (0)		.065	.112	.133	.138	.133	.123	.080	

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EXN, T=10.0, Z=.0)

Т а б л и ц а ПЗ.19

УЧАСТНИК / Y=		2.5	3.75	5.0	6.25	7.5	10.0
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.150	.150	.320	.890	.970	.990
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.100	.100	.290	.890	.960	.990
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.090	.090	.350	.890	.970	.990
6	СССР	.160	.170	.330	.900	.970	.990
7	США	.085	.105	.336	.899	.968	.991
СРЕДНЕЕ (0)		.117	.123	.325	.894	.968	.990
НЕВЯЗКА (0)		.035	.035	.022	.005	.004	.000
<i>Re E_X</i>							
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.050	-.040	-.010	.000	.000
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.050	-.050	-.040	-.010	.000	.000
7	США	-.009	-.014	-.019	-.004	-.006	.000
СРЕДНЕЕ (0)		-.022	-.023	-.020	-.005	-.001	.000
НЕВЯЗКА (0)		.026	.025	.020	.005	.003	.000
<i>Im E_X</i>							
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.050	-.050	-.040	-.010	.000	.000
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.050	-.050	-.040	-.010	.000	.000
7	США	-.009	-.014	-.019	-.004	-.006	.000
СРЕДНЕЕ (0)		-.022	-.023	-.020	-.005	-.001	.000
НЕВЯЗКА (0)		.026	.025	.020	.005	.003	.000

		1.010	1.010	1.000	1.000	1.000	1.000
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.010	1.030	1.020	.970	.980	1.000
6	СССР	1.006	1.007	1.002	.996	.997	.999
7	США	.000	-.010	.000	.000	.000	.000
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	-.010	.000	.000	.000	.000
6	СССР	.000	-.010	.000	.000	.000	.000
7	США	-.005	-.006	-.001	.004	.003	.001
<i>Re H_Y</i>							
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.010	.020	.010	.000	.000
6	СССР	.000	.010	.020	.010	.010	.000
7	США	.005	.009	.019	.008	.005	.002
<i>Im H_Y</i>							
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.010	.020	.010	.000	.000
6	СССР	.000	.010	.020	.010	.010	.000
7	США	.005	.009	.019	.008	.005	.002

УЧАСТНИК / У=

2.5 3.75 5.0 6.25 7.5 10.0

			Im H _z				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.		.000	-.010	-.020	-.010	.000
6	СССР		.000	-.010	-.020	-.010	.000
7	США		-.004	-.009	-.019	-.007	-.004

МОДЕЛЬ ЗД-1В (EYN, T=10.0, Z=.0)

УЧАСТНИК / У=

Т а б л и ц а ПЗ.20

2.5 3.75 5.0 6.25 7.5 10.0

		Re E _y					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.190	.190	1.560	1.900	1.420	1.130
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.130	.130	1.690	2.010	1.480	1.160
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.100	.050	1.890	1.970	1.480	1.160
6	СССР	.180	.200	1.680	1.890	1.410	1.140
7	США	.066	.210	1.686	1.885	1.403	1.129
СРЕДНЕЕ (0)		.133	.156	1.701	1.931	1.439	1.144
НЕВЯЗКА (0)		.053	.067	.119	.056	.038	.015

		Im E _y					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.070	-.060	.200	.180	.100	.040
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	СССР	-.060	-.050	.200	.170	.090	.040
7	США	-.035	-.071	.171	.155	.087	.036
СРЕДНЕЕ (0)		-.033	-.036	.114	.101	.055	.023
НЕВЯЗКА (0)		.033	.034	.105	.093	.051	.021

		Re H _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.260	1.210	1.120	1.060	1.040	1.020
6	СССР	1.320	1.250	1.140	1.070	1.040	1.020
7	США	1.304	1.235	1.130	1.064	1.039	1.020

		Im H _x					
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	-.190	-.150	-.080	-.030	-.020	-.010
6	СССР	-.270	-.200	-.100	-.050	-.030	-.010
7	США	-.245	-.187	-.097	-.043	-.024	-.011

МОДЕЛЬ ЗД-1В (T=.1, Z=.0)

УЧАСТНИК / X=

Т а б л и ц а ПЗ.21

.0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0

			R _{xy}				
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	18.00	22.90	45.40	84.80	96.60	98.10
6	СССР	17.50	23.00	47.40	87.60	98.90	99.60
7	США	12.79	17.91	51.25	93.86	102.30	101.10
2Д	СССР	10.80	15.00	47.90	84.30	94.30	97.90
СРЕДНЕЕ (0)		14.77	19.70	47.99	87.64	98.02	99.17
НЕВЯЗКА (0)		3.54	3.93	2.43	4.39	3.41	1.49

УЧАСТНИК / X=	.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0
				R_{yx}			
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	10.00	11.10	17.70	34.50	54.50	80.40	90.30
6 СССР	10.36	11.30	17.80	34.60	54.80	83.90	97.60
7 США	8.37	9.22	14.90	31.29	51.84	81.64	95.87
2Д СССР	6.80	7.20	12.30	30.20	52.10	83.00	96.80
СРЕДНЕЕ (0)	8.88	9.70	15.68	32.65	53.31	82.24	95.14
НЕВЯЗКА (0)	1.64	1.91	2.62	2.24	1.56	1.54	3.30
СРЕДНЕЕ (1)	8.88	9.70	15.68	32.65	53.31	82.24	95.14
НЕВЯЗКА (1)	1.64	1.91	2.62	2.24	1.56	1.54	3.30

МОДЕЛЬ ЗД-1В (T=.1, Z=0)

УЧАСТНИК / Y= 2.5 3.75 5.0 6.25 7.5 10.0

Т а б л и ц а ПЗ.22

УЧАСТНИК / Y=	.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0
				R_{xy}			
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	17.90	18.20	35.30	93.50	99.50	100.00	
6 СССР	17.10	17.90	31.90	93.80	99.70	100.20	
7 США	12.44	13.11	28.62	94.29	99.84	100.20	
			R_{yx}				
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	9.90	9.90	42.20	99.10	98.50	99.90	
6 СССР	10.80	12.70	50.70	98.90	98.70	99.90	
7 США	8.81	9.59	51.14	100.30	98.60	99.91	

МОДЕЛЬ ЗД-1В (T=10.0, Z=0)

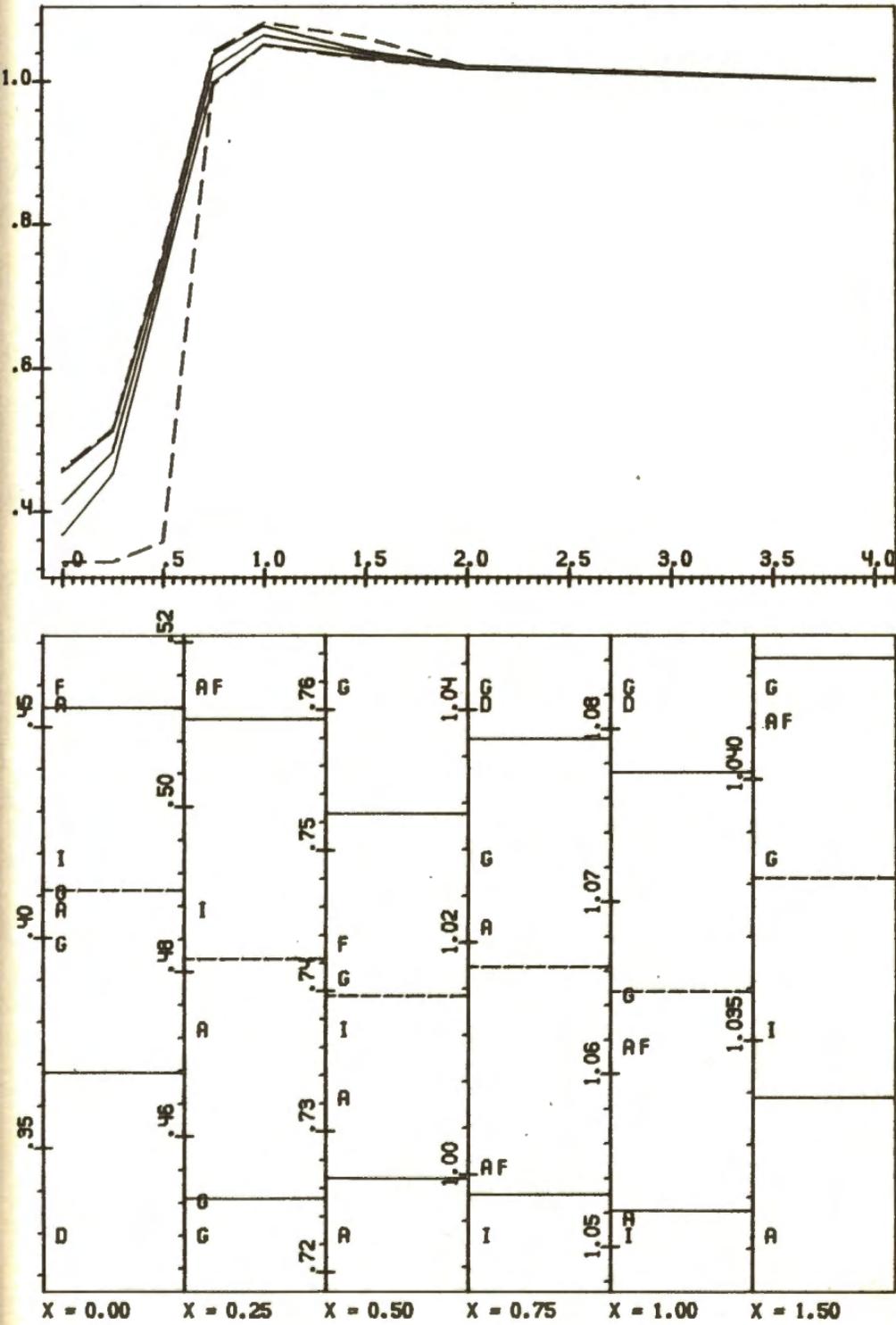
УЧАСТНИК / X= .0 .25 .5 .75 1.0 1.5 2.0

Т а б л и ц а ПЗ.23

УЧАСТНИК / X=	.0	.25	.5	.75	1.0	1.5	2.0
				R_{xy}			
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	2.40	6.10	41.70	96.50	114.90	119.30	117.70
1.2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.82	4.20	41.10	96.40	115.20	121.20	119.60
2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.80	4.40	41.70	95.70	115.00	120.00	119.00
6 СССР	2.88	6.77	40.90	95.30	114.30	119.50	117.50
7 США	1.22	4.83	43.52	99.95	116.60	120.20	117.90
2Д СССР	1.63	5.00	45.20	98.90	115.20	119.60	117.40
СРЕДНЕЕ (0)	1.63	5.22	42.35	97.12	115.20	119.97	118.18
НЕВЯЗКА (0)	.86	1.01	1.67	1.87	.76	.69	.90
			R_{yx}				
1 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	2.50	2.70	3.50	5.30	8.10	15.30	24.10
1.2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.60	1.70	2.30	3.90	6.30	12.70	20.60
2 СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.20	1.30	2.60	5.80	9.20	14.80	21.60
6 СССР	3.50	3.80	4.50	6.00	8.70	15.90	24.50
7 США	2.00	2.45	3.70	5.80	9.19	17.56	26.96
2Д СССР	2.20	2.40	3.20	4.80	6.70	11.50	16.90
СРЕДНЕЕ (0)	2.17	2.39	3.30	5.27	8.03	14.63	22.44
НЕВЯЗКА (0)	.80	.87	.79	.80	1.26	2.20	3.53

				R_{xy}			
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	2.50	2.60	10.60	80.00	93.90	98.50
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.90	1.00	8.10	78.00	93.00	98.20
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	.80	.90	12.20	79.90	93.20	98.20
6	СССР	2.78	3.06	10.95	80.70	93.90	98.50
7	США	.73	1.10	11.26	81.42	94.11	98.59
СРЕДНЕЕ (0)		1.54	1.73	10.62	80.00	93.62	98.40
НЕВЯЗКА (0)		1.01	1.02	1.53	1.28	.49	.18

				R_{yx}			
1	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	2.60	2.70	198.00	329.00	188.00	123.70
1.2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.60	1.70	285.00	406.00	218.00	134.50
2	СССР-ЧЕХОСЛОВ.	1.00	1.70	356.00	388.00	217.00	133.00
6	СССР	1.90	2.60	218.50	315.30	185.70	123.80
7	США	.32	3.15	223.30	315.20	182.80	122.60
СРЕДНЕЕ (0)		1.48	2.37	256.16	350.70	198.30	127.52
НЕВЯЗКА (0)		.87	.65	64.58	43.11	17.63	5.73

Рис. П4.1. Модель 3Д-1А. Модуль поля $E_x(x)$ E_x $Z=0$. $T=0.1$

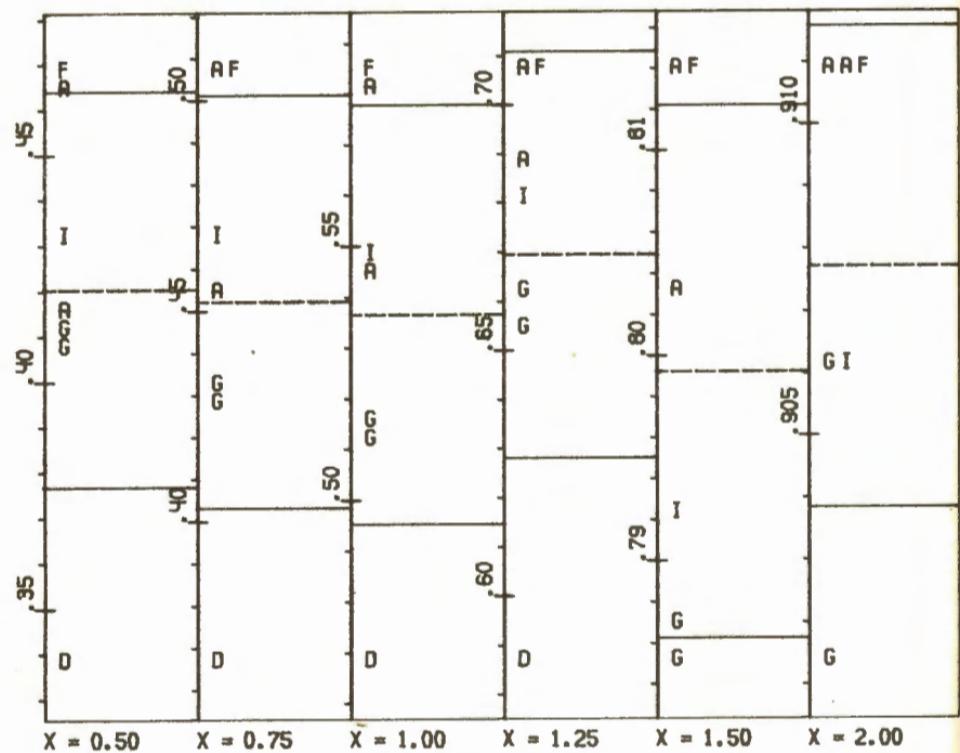
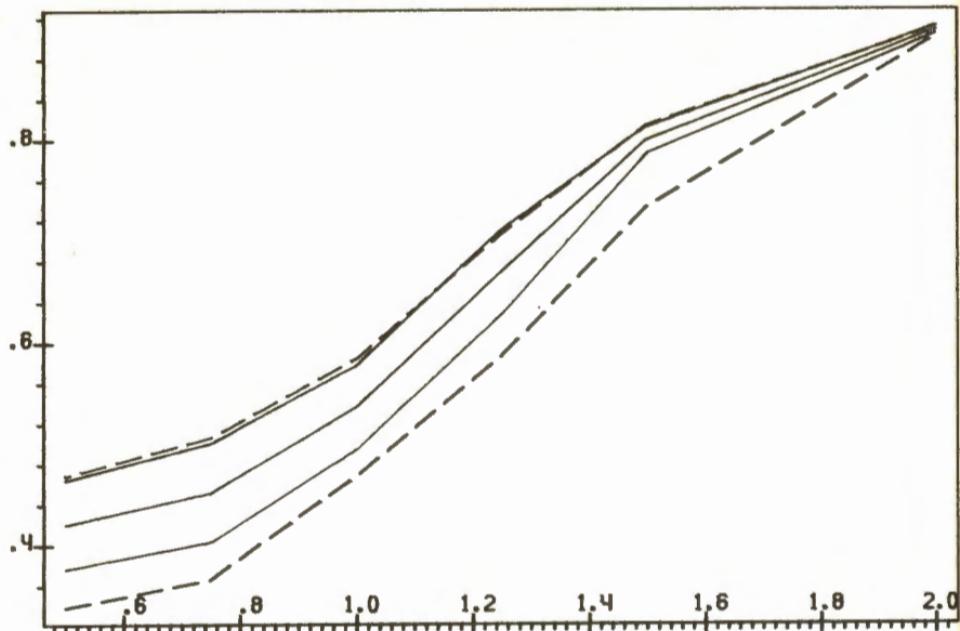


Рис. П4.2. Модель ЗД-1А. Модуль поля $E_x(y)$ при $Z=0$, $T=0.1$

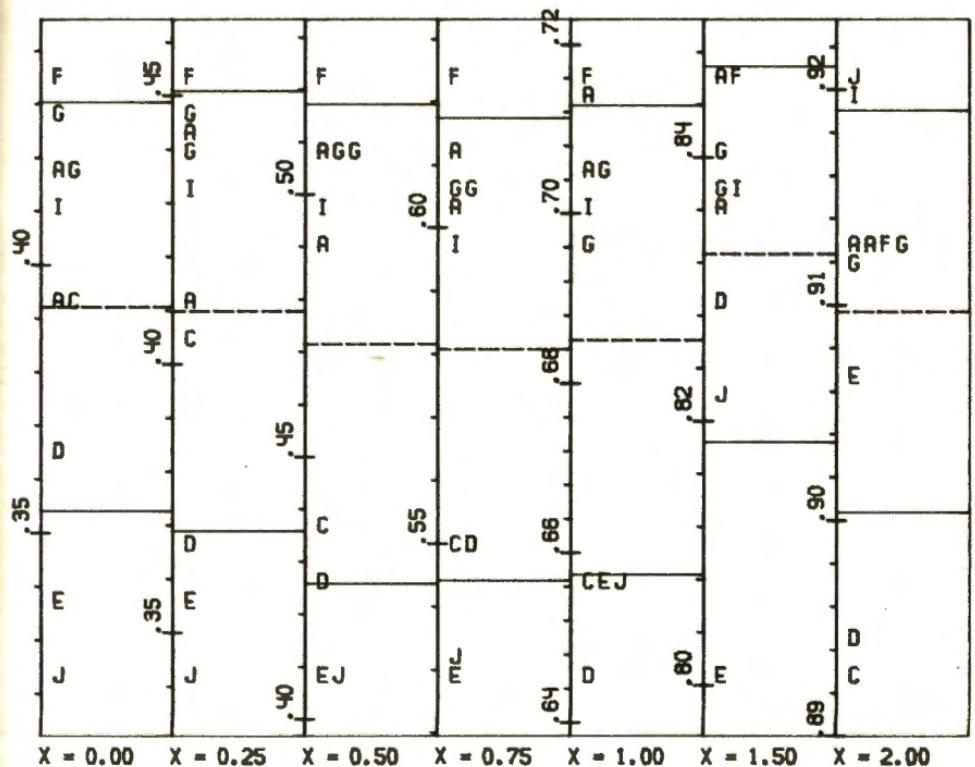
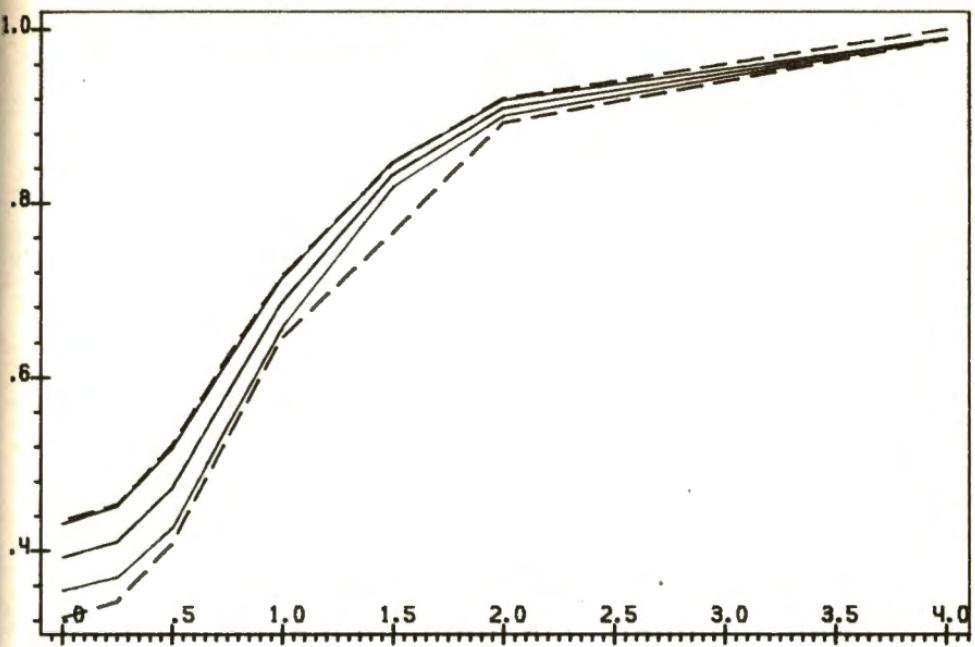


Рис. П4.3. Модель ЗД-1А. Модуль поля $E_y(x)$ EY $Z=0$. $T=0.1$

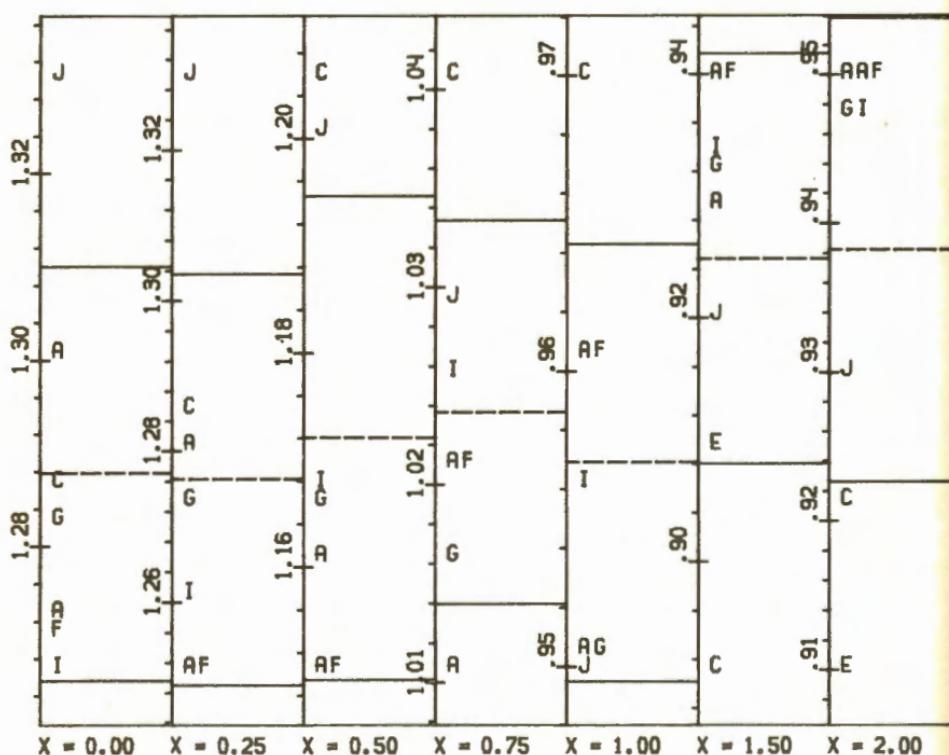
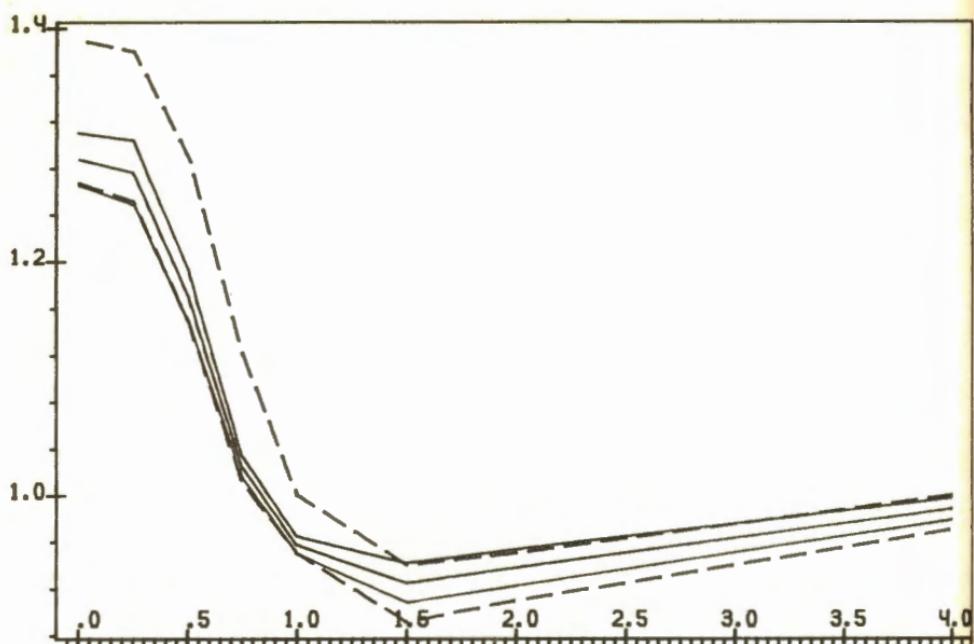


Рис. П4.4. Модель ЗД-1А. Модуль поля $H_x(x)$ при $Z=0$, $T=0.1$

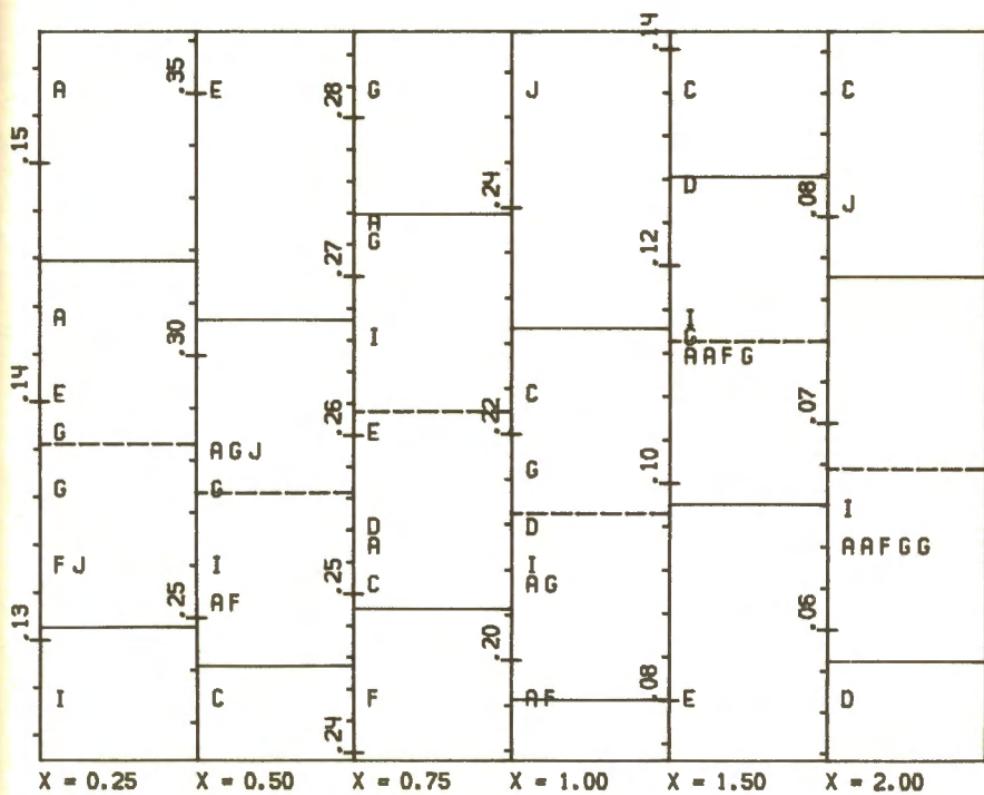
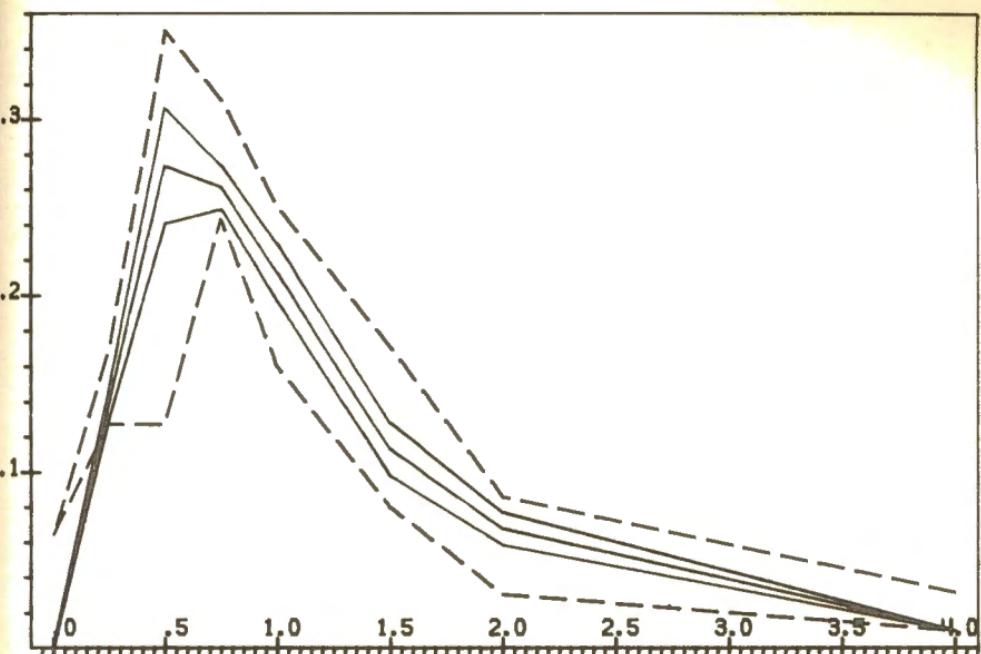


Рис. П4.5. Модель ЗД-1А. Модуль поля $H_z(x)$ EY $Z=0$. $T=0.1$

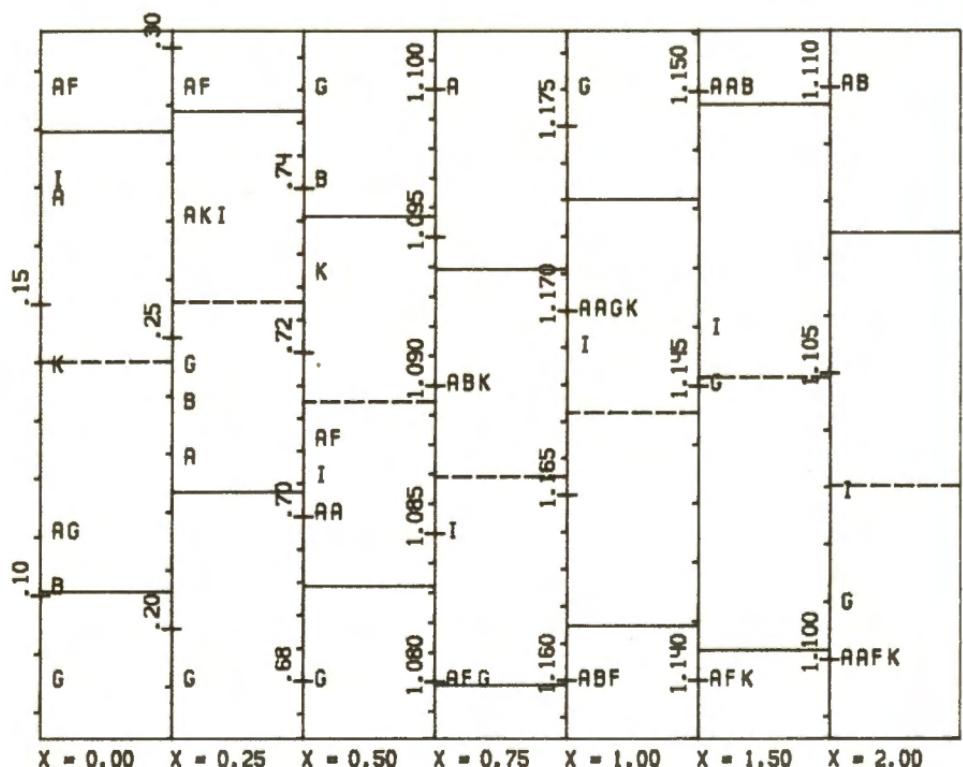
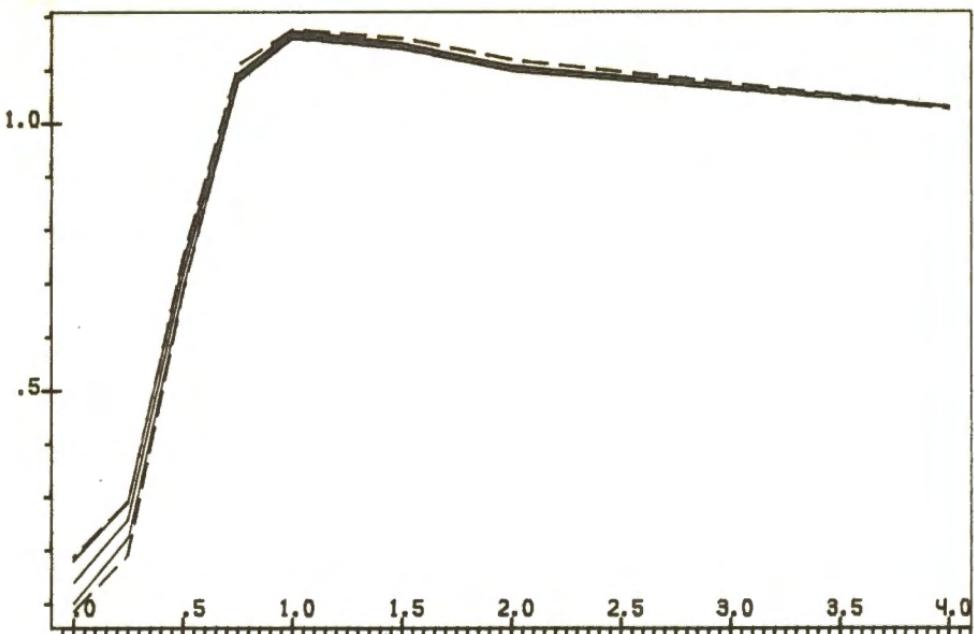


Рис. П4.6. Модель ЗД-1А. Модуль поля $E_x(x)$ E_x $Z=0$. $T=10$

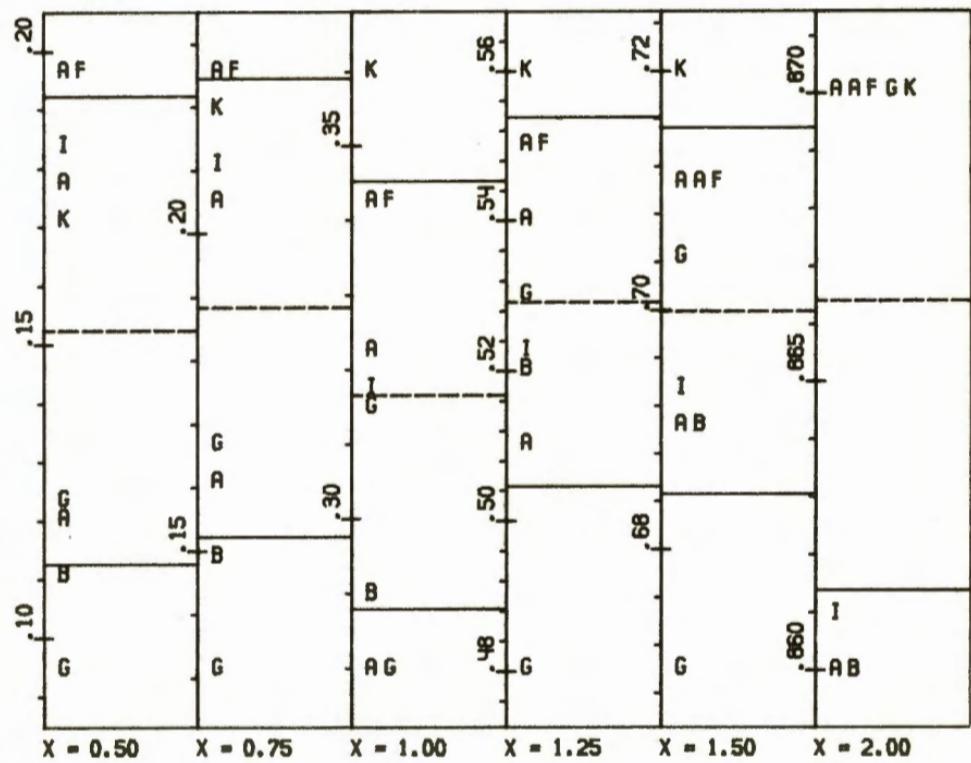
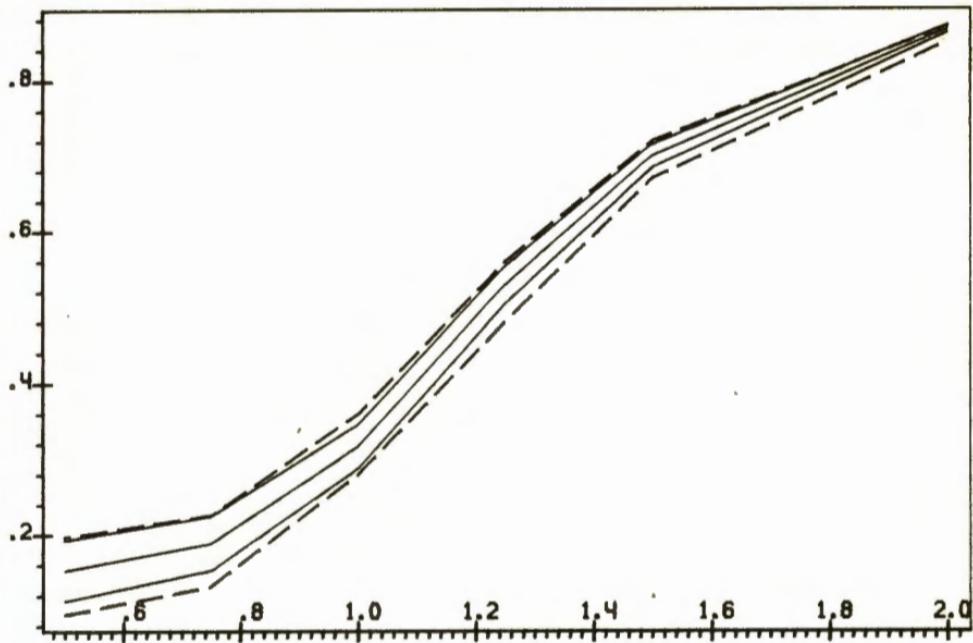


Рис. П4.7. Модель ЗД-1А. Модуль поля $E_x(y)$ $E_y = 0$, $T = 10$

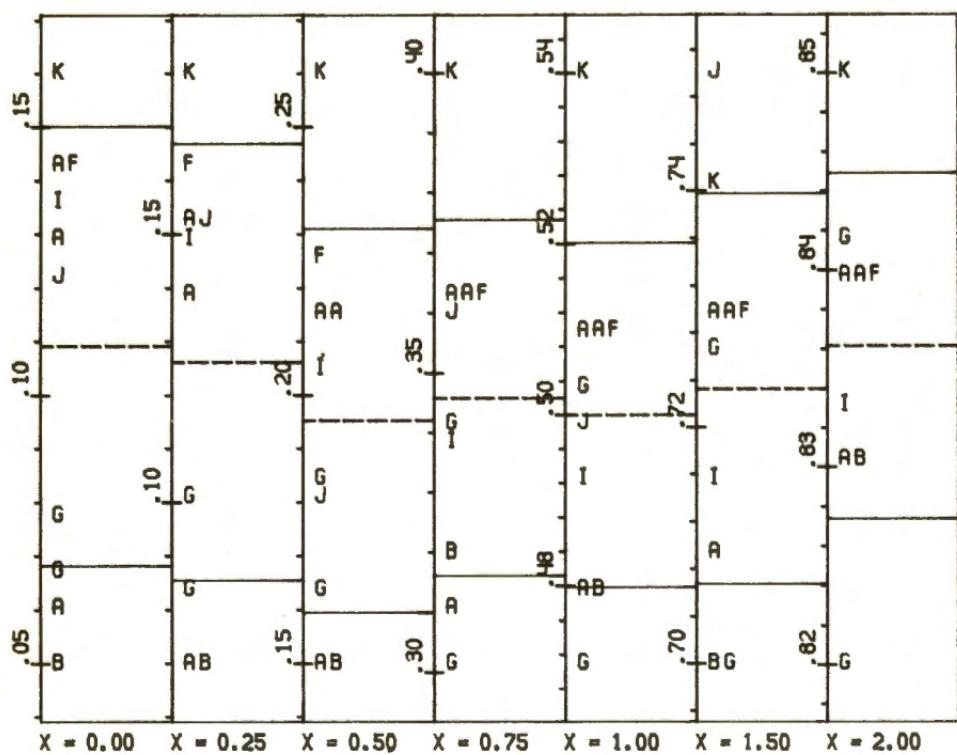
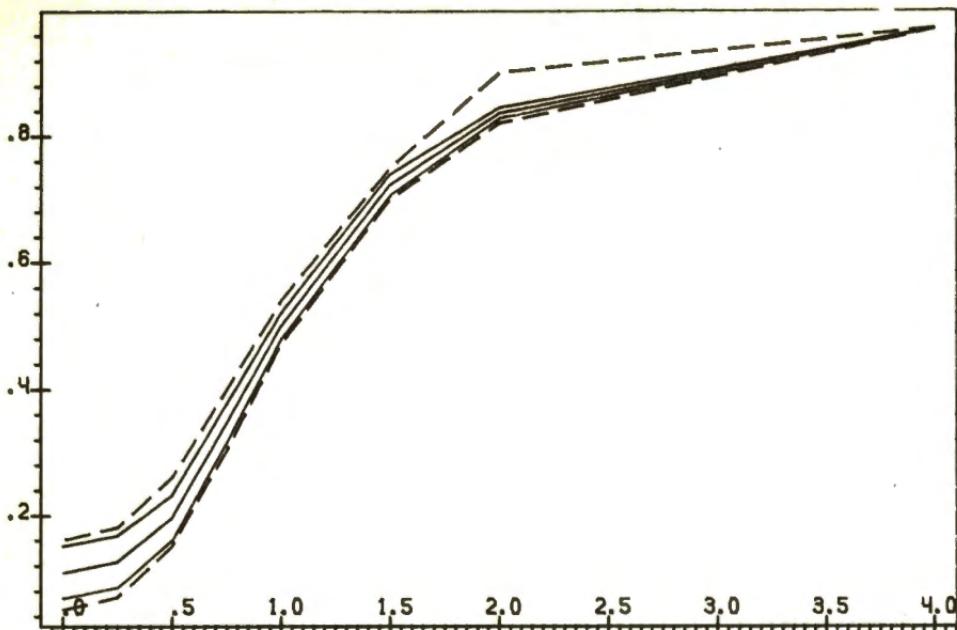


Рис. П4.8. Модель Зд-1А. Модуль поля $E_y(x)$ E_y $Z=0$. $T=10$

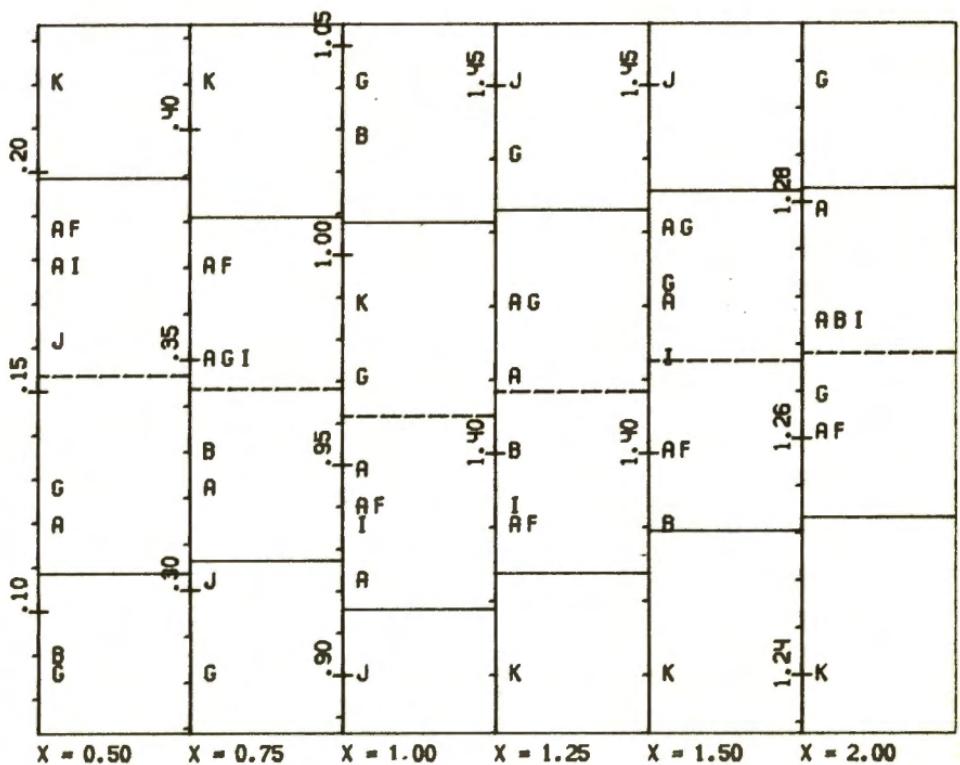
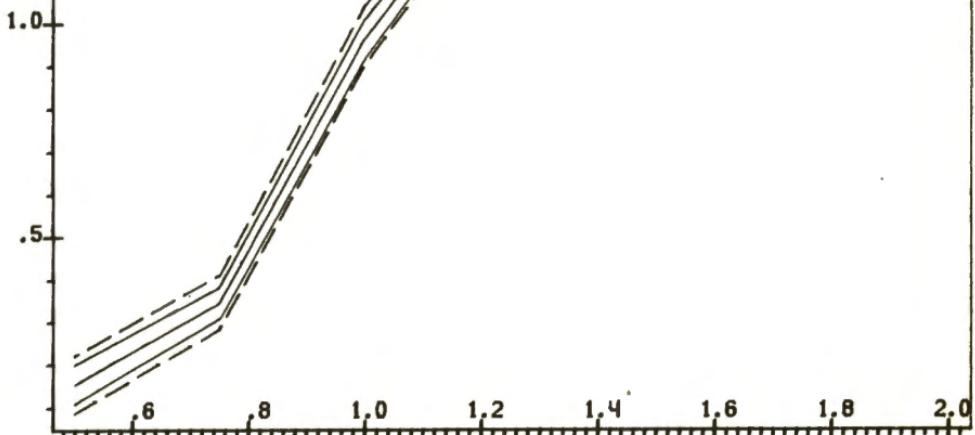


Рис. П4.9. Модель ЗД-1А. Модуль поля $E_y(y)$ при $z=0$, $T=10$

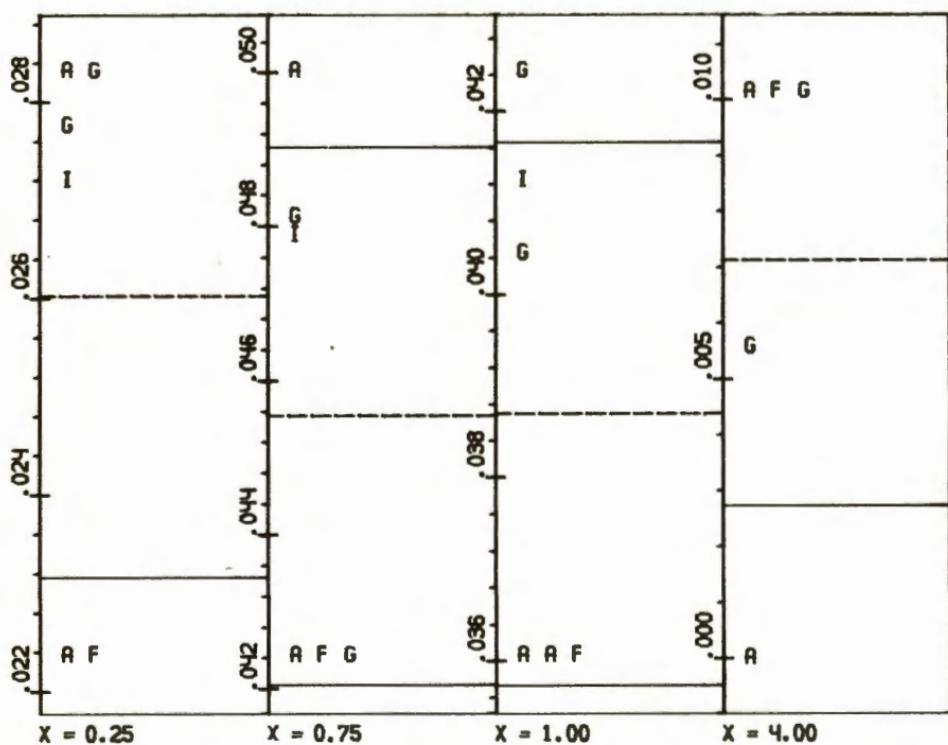
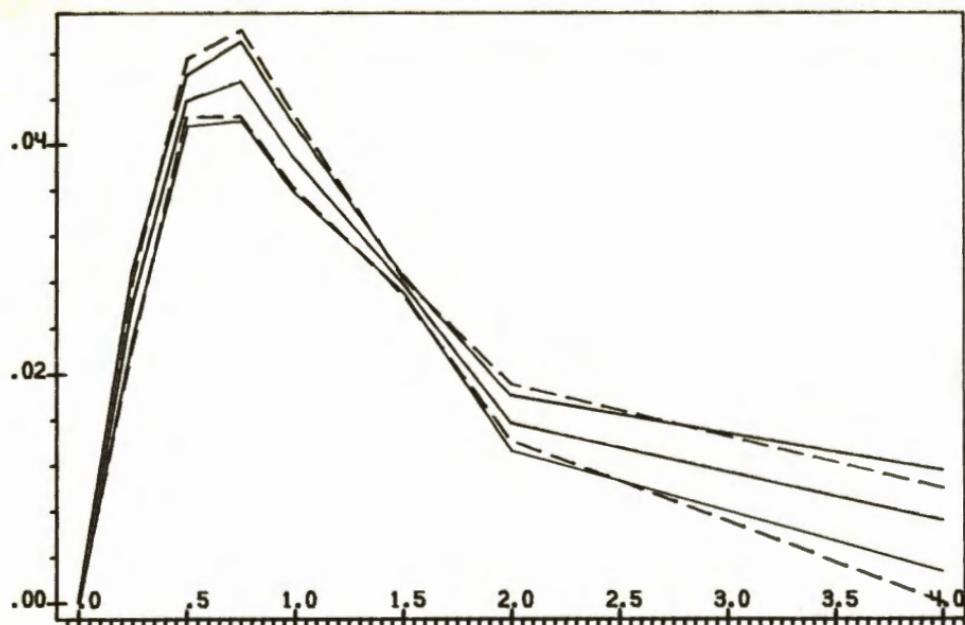


Рис. П4.10. Модель 3Д-1А. Модуль поля $H_z(x)$ EY $Z=0$. $T=10$

FDM2D-PW - программный пакет моделирования
электромагнитных полей в двумерно-неоди-
родных средах

Назначение. Пакет программ конечно-разностного моделирования электромагнитных полей FDM2D-PW позволяет вычислить компоненты поля и функции электропроводности на заданных периодах над двумерными геоэлектрическими структурами, возбуждаемыми вертикально-падающей плоской волной. Расчеты ведутся в частотной области в квазистационарном приближении.

Методика. Задача моделирования представляется как двумерная краевая задача в прямоугольной области с асимптотическими краевыми условиями первого порядка, что позволяет значительно ограничить размеры области моделирования. Нижняя слоистая часть глубинного разреза учитывается в краевых условиях и не входит в область моделирования. Аппроксимация краевой задачи осуществляется методом баланса, обеспечивающим второй порядок точности. Полученная система линейных уравнений решается с помощью специализированной для данного класса задач модификации метода исключения Гаусса. Для ускорения расчетов внутренние циклы процедуры исключения написаны на языке АССЕМБЛЕР ЕС ЭВМ и используются эффективные схемы прямого доступа к рабочим файлам на диске. Специальное внимание уделено алгоритмам расчета производных сеточного решения. Вычисляются практически все используемые функции электропроводности.

Аналоги. В СССР получили наибольшую известность два пакета программ аналогичного назначения: программы И.Л. Варданянц, разработанные для БЭСМ-6, и М.Н. Юдина - для БЭСМ-6 и ЕС ЭВМ. Отличительная черта этих программ - итерационное решение систем линейных уравнений. Прямые методы исключения, применяемые в пакете FDM2D-PW, дают, как правило, более точное решение, причем время решения на сетке с известным числом узлов может быть легко предсказано. В большинстве случаев решение методом исключения требует для получения равной точности заметно меньших вычислительных затрат, чем при решении итерационными методами.

Эффективность пакета программ FDM2D-PW подтверждена в рамках СОММЕИ.

Структура пакета. Пакет включает две программы моделирования FDME, FDMH соответственно для случаев Е- и Н- поляризации. Каждая программа представлена в двух модификациях: стандартной и расширенной, отличающихся максимально допустимой размерностью разностной сетки и, следовательно, объемом требуемой оперативной памяти. Программы используют общий набор сервисных подсистем.

Подсистема ввода и интерпретации исходных данных позволяет за один запуск программы просчитать серию моделей или модель с набором изменяющихся параметров (свойств среды, форматов представления результатов и т.д.), что значительно сокращает объем вводимой информации, снижает вероятность ошибок.

Подсистема диагностики ошибок следит за корректностью входного потока, выявляет и пытается исправить ошибки, выдает информационные сообщения об их местоположении и характере, останавливает выполнение программы при появлении неисправимых ошибок.

Графическая подсистема позволяет оперативно представить на АЦПУ рабочую графику. Возможно получить профильные графики и вертикальные разрезы компонент поля и некоторых функций электропроводности. Размеры и структура графиков и карт гибко регулируются. В пакет входит автономная программа FDMG2D, обеспечивающая графическое изображение на стандартном АЦПУ всевозможных частотных зависимостей результатов моделирования.

Подсистема учета машинного времени сообщает текущее время и дату, ведет хронометраж работы программ и по окончании работы представляет статистику: затраты по этапам работы, общие затраты и процент использования СРУ.

В программах имеются широкие возможности управления структурой и объемом выводимых результатов. Необходимый набор компонент поля и передаточных функций может быть получен в заданных точках как на поверхности Земли, так и на выбранных уровнях в Земле и атмосфере. Эти результаты могут быть записаны в специальные файлы на диске, доступные для дальнейшей автоматизированной обработки.

Заказчиком могут быть выбраны версии программ с печатью на русском и английском языках.

Эксплуатационные параметры. Пакет FDM2D-PW работает на ЭВМ типа ЕС с носителями магнитных дисков ЕС-5061 или ЕС-5066. Программы написаны на языке ФОРТРАН-IV, общий объем пакета превышает 10 тыс операторов. Для стандартной модификации программ моделирования (сетка до 3600 узлов) требуется 250 Кбайт оперативной памяти, для расширенной (сетка до 10000 узлов) - 350 Кбайт. Требуемый объем дисковой памяти составляет от 0,1 до 6 Мбайт в зависимости от размерности модели. Время расчета модели для одного периода на ЭВМ ЕС-1055 для сетки 40x30 узлов - 1 мин, для сетки 200x30 узлов - 5 мин, для максимальной сетки 200x50 - 40 мин. Программа FDMG2D требует 250 Кбайт оперативной памяти.

Эффективность применения. Использование пакета позволяет с гарантированной точностью, весьма умеренными затратами и большим комфортом для пользователя решать задачи двумерного моделирования практически без ограничения их сложности.

Комплектность поставки. Комплект поставки включает: 1) библиотеку программ в виде загрузочных модулей ЕС ЭВМ, 2) библиотеку заданий, каталогизированных процедур и тестовых данных, 3) библиотеки с пользовательской документацией (описание программ и подсистем, инструкция по применению, протоколы решения тестовых задач). Пакет программ сопровождается в течение 6 мес после внедрения. Может быть также выполнена адаптация программ для учета конкретных потребностей заказчика.

Первая версия пакета FDM2D-PW доступна для внедрения с 1989 г. Дальнейшее развитие пакета предусматривает его подключение к базам данных и разработку более мощной подсистемы визуализации результатов с использованием специализированных графических устройств. Данный пакет может быть дополнен программой FDM-E-LS, решающей прямую задачу в двумерной среде, возбуждаемой произвольной системой сторонних токов, параллельных оси двумерности. Разрабатывается версия пакета для персональных компьютеров типа IBM PC/AT.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Алексеев А.В., Бабурина Т.Е., Берсенев С.М. и др. Автоматизация моделирования при магнитотеллурическом зондировании неоднородных сред // Красноярск, 1986. 30с. (Препр. ВЦ СО АН СССР, № 14.).

Бердичевский М.Н., Жданов М.С. Анализ аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра, 1981. 327с.

Берсенев С.М. О конструировании ППП для решения обратных задач // Комплексы программ математической физики и архитектуры ЭВМ. Красноярск: ВЦ СО АН СССР, 1988. С. 53-58.

Богданов С.Н. Численное решение краевых задач многосеточными методами с использованием матричного процессора ЕС-1055М // Там же, 1988. С. 58-65.

Ваньян Л.Л., Дебабов А.С., Юдин М.Н. Интерпретация данных магнитотеллурических зондирований неоднородных сред. М.: Недра, 1984. 197с.

Варданянц И.Л. Использование метода переменных направлений при расчете магнитотеллурического поля методом сеток // У Всеобщая школа-семинар по электромагнитным зондированиям. Тезисы докладов. Киев: Наукова думка, 1978. С. 20-21.

Варданянц И.Л. Расчеты методом сеток магнитотеллурических полей над двумерно-неоднородными средами. Ч. 1,2 // Вопросы геофизики. 1978. Вып.27. С. 36-40.; 1979. Вып.28. С. 155-163.

Варданянц И.Л. Математическое моделирование магнитотеллурического поля над двумерными проводящими неоднородностями земной коры // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. ЛГУ, 1983. 16 с.

Варенцов И.М. Современные тенденции в решении прямых и обратных задач трехмерной геоэлектрики // Математическое моделирование электромагнитных полей. М.: ИЗМИРАН, 1983. С. 26-68.

Варенцов И.М. Применение комбинированного метода решения разностных систем в задачах моделирования двумерных электромагнитных полей // Электромагнитные зондирования Земли. М.: ИЗМИРАН, 1985. С. 29-49.

Варенцов И.М., Голубев Н.Г. Об одном алгоритме конечно-разностного моделирования электромагнитных полей // Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований. М.: ИЗМИРАН, 1980а. С. 169-185.

Варенцов И.М., Голубев Н.Г. Применение асимптотических граничных условий в задачах моделирования электромагнитных полей в неоднородных средах // Проблемы морских электромагнитных исследований. М.: ИЗМИРАН, 1980б. С. 77-95.

Варенцов И.М., Голубев Н.Г. Прямые и итерационные методы решения линейных систем в двумерных задачах моделирования электромагнитных полей // Математические методы в геоэлектрике. М.: ИЗМИРАН, 1982. С. 27-46.

Варенцов И.М., Голубев Н.Г. Конечно-разностная технология решения двумерных прямых задач геоэлектрики в классе региональных моделей // Электромагнитные зондирования Земли. М.: ИЗМИРАН, 1985. С. 23-29.

Губатенко В.П., Светов Б.С. Разделяющие системы координат для скалярных уравнений электромагнитного поля в неоднородной изотропной среде // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. № 2. С. 38-47.

Дмитриев В.И. Электромагнитные поля в неоднородных средах. М.: Изд-во МГУ, 1969. 132 с.

Дмитриев В.И., Барашков И.С. О расчете магнитотеллурического поля магнитной поляризации в двумерной неоднородной среде // Численные методы в геофизических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 38-46.

Дмитриев В.И., Барышникова И.А., Захаров Е.В. Аномальные электромагнитные поля пластовых тел. Л.: Недра, 1977. 168 с.

Дмитриев В.И., Захаров Е.В. Интегральные уравнения в краевых задачах электродинамики. М.: Изд-во МГУ, 1987. 167 с.

Дмитриев В.И., Мерщикова Н.А. Математическое моделирование магнитотеллурического зондирования глубинных неоднородностей электропроводности // Численные методы в геофизических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 3-37.

Дмитриев В.И., Мерщикова Н.А. О применении метода интегральных уравнений при моделировании электромагнитных зондирований неоднородных сред // Вычислительные методы и программирование. М.: Изд-во МГУ, 1980. Вып. 32. С. 200-215.

Дмитриев В.И., Позднякова Е.Е. Метод расчета ЭМ поля в сложной среде с локальными неоднородностями // Актуальные вопросы прикладной математики. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 24-43.

Дмитриев В.И., Фарзан Р.Х. Методы расчета аномального электромагнитного поля от локальной неоднородности // Математические модели электромагнитной разведки в геофизике. Будапешт: Изд-во Ун-та им. Л.Этвеша, 1980. С. 13-29.

Друскин В.Л., Книжнерман Л.А. Использование операторных рядов по ортогональным многочленам при вычислении функций от самосопряженных операторов и обоснование феномена Ланцша // М.: ИЗМИРАН, 1987. 14 с. (Деп. в ВИНТИ 2.03.87, № 1535-В87).

Жданов М.С. Аналоги интеграла типа Коши в теории геофизических полей. М.: Наука, 1984. 326 с.

Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра, 1986. 314 с.

Жданов М.С., Варенцов И.М., Голубев Н.Г., Сличак Р.В. Проблемы совершенствования конечно-разностных методов моделирования электромагнитных аномалий // Математические методы в геоэлектрике. М.: ИЗМИРАН, 1982. С. 5-26.

Жданов М.С., Сличак В.В. Конечно-разностное моделирование электромагнитных полей над трехмерными геоэлектрическими неоднородностями // Проблемы морских электромагнитных исследований. М.: ИЗМИРАН, 1980. С. 102-114.

Жданов М.С., Спичак В.В. Современные методы моделирования квазистационарных электромагнитных полей в трехмерно-неоднородных средах. М., 1984. 32 с. (Препр. ИЗМИРАН; № 45(519)).

Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 415с.

Зингер Б.Ш., Файнберг Э.Б. Электромагнитная индукция в неоднородных тонких слоях. М.: ИЗМИРАН, 1985. 234 с.

Кауфман А.А. Основы теории индуктивной рудной электроразведки. Новосибирск: Наука, 1974. 352 с.

Мадден Т.Р., Свифт Ч.М. Магнитотеллурические исследования электропроводности земной коры и верхней мантии // Земная кора и верхняя мантия. М.: Мир, 1972. С. 403-415.

Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1984. 656 с.

Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1977. 592 с.

Светов Б.С. Электродинамические основы квазистационарной геоэлектрики. М.: Наука, 1984. 183 с.

Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. М.: Мир, 1986. 230 с.

Спичак В.В. Пакет программ FDM3D для численного моделирования трехмерных электромагнитных полей // Алгоритмы и программы решения прямых и обратных задач электромагнитной индукции в Земле. М.: ИЗМИРАН, 1983. С. 58-68.

Спичак В.В. Дифференциальные краевые условия в неограниченной проводящей среде // Электромагнитные зондирования Земли. М.: ИЗМИРАН, 1985. С. 13-22.

Таборовский Л.А. Применение метода интегральных уравнений в задачах геоэлектрики. Новосибирск: Наука, 1975. 142 с.

Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 736 с.

Юдин М.Н. Вычисление коэффициентов разностной схемы на основе вариационного подхода при решении прямой задачи геоэлектрики методом сеток в трехмерной среде. М., 1981а. (Деп. в ВИНИТИ 29.04.81, № 1949-81).

Юдин М.Н. Совместное использование интегральных преобразований и метода сеток в прямых задачах геоэлектрики. М., 1981б. (Деп. в ВИНИТИ 29.04.81, № 1949-81).

Юдин М.Н. Альтернирующий метод численного решения прямых задач геоэлектрики // Математические методы в геоэлектрике. М.: ИЗМИРАН, 1983. С. 47-52.

Юдин М.Н., Казанцева Е.В. Программа расчета магнитотеллурического поля в двумерных слоистых средах, содержащих локальные неоднородности Е- и Н-поляризации. М., 1977. 25 с. (Ротапринт ВНИИгеофизика).

Яковлев А.Г., Модин И.Н. Электромагнитные зондирования геологических сред. М.: Изд-во МГУ, 1988. 190 с.

Agarwal A.K., Weaver J.T. Thin sheet calculations for
COMMEMI. Geophysical report, Univ. of Victoria. Victoria,
1987. 59 p.

Berdichevsky M.N., Zhdanov M.S. Advanced theory of deep
geomagnetic sounding // Amsterdam: Elsevier, 1984. 408 p.

Best M.E., Duncan P., Jacobe F.J., Scheen W.L. Numerical
modelling of the electromagnetic response of 3D conductors in
layered Earth // Geophysics. 1985. Vol.50. P. 665-676.

Brewitt-Taylor C.R., Weaver J.T. On the finite difference
solution of 2D induction problems // Geophys. J. Roy. astron.
Soc. 1976. Vol.47. P. 375-396.

Cerv V., Pek J., Praus O. Models of geoelectrical anomalies
in Czechoslovakia. // J. Geophys. 1984. Vol.55. P. 161-168.

Cerv V., Praus O. MT field of H'-polarization in models
with dipping interfaces // Stud. geophys. et geod. 1972.
Vol.16. P.285-296.

Cerv V., Praus O. Numerical modelling of electromagnetic
fields in geoelectrical block structures // Geofyz. sb. 1978.
Vol.26. P. 227-241.

Cerv V., Segeth K. A comparison of the accuracy of finite-
difference solution of boundary-value problem for the Helmholtz
equation obtained by direct and iterative methods //
Apl. mat. 1982. Vol.27(5). P. 375-390.

Chave A.D., Booker J.R. EM induction studies // Rev. of
Geophys. 1987. Vol.25. P. 989-1003.

Coggon J.H. Electromagnetic and electrical modelling by
finite element method // Geophysics. 1971. Vol.36. P.
132-155.

Courant R. Variational methods for the solution of problems
of equilibrium and vibrations // Bull. Amer. Math. Soc.
1943. Vol.49. P. 1-23.

Das U.C., Verma S.K. Numerical considerations in computing
EM response of 3D inhomogeneities in layered Earth //
Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1981a. Vol.86. P. 733-740.

Das U.C., Verma S.K. Versatility of digital linear filters
used in computing resistivity and EM sounding curves //
Geoexploration. 1981b. Vol.18. P. 297-310.

Das U.C., Verma S.K. EM response of an arbitrarily shaped
3D conductor in layered Earth // Geophys. J. Roy. Astron.
Soc. 1982. Vol.68. P. 55-66.

Dawson T.W., Weaver J.T. Threedimensional electromagnetic
induction in a non-uniform thin sheet at the surface of
uniformly conducting Earth // Ibid. 1979. Vol.59. P. 445-462.

D'Erceville I., Kunetz G. Some observations regarding naturally
occurring electromagnetic fields in applied geophysics // Geophysics. 1962. Vol.27. P. 651-665.

Green V.R., Weaver J.T. Two-dimensional induction in a
thin sheet of variable integrated conductivity at the surface

of uniformly conducting Earth. // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1978. Vol.55. P. 721-736.

Hohmann G.W. Electromagnetic scattering by conductors in the Earth near a line source of current // Geophysics. 1971. Vol.36. P. 101-131.

Hohmann G.W. Three-dimensional induced polarization and EM modelling // Geophysics. 1975. Vol.40. P. 309-324.

Hohmann G.W. Three-dimensional EM modelling // Geophys. Surv. 1983. Vol.6. P. 27-54.

Hohmann G.W. Numerical modelling for EM methods of geophysics // Electromagnetic methods in applied geophysics - theory. Vol.1. Tulsa: SEG, 1987. P. 313-364.

Hvozdara M. EM induction of a 3D conductivity inhomogeneity in the two-layered Earth. Pt. 1,2 // Stud. geophys. et geod. 1981. Vol.25. P. 167-180, 393-403.

Hvozdara M. Potential field of a stationary electric current in a stratified medium with a 3D perturbing body // Ibid. 1982. Vol.26. P. 160-184.

Hvozdara M. Electric and magnetic field in a stratified medium with a 3D conductivity inhomogeneity // Ibid. 1983. Vol.27. P. 59-84.

Hvozdara M. Solution of the stationary approximation for MT fields in a layered Earth with 3D and 2D inhomogeneities // J. Geophys. 1985. Vol.55. P. 214-221.

Hvozdara M., Kaikkonen P., Varentsov Iv.M. Algorithm for solving 3D problems of EM induction by means of a vector integral equation // Stud. geophys. et geod. 1987. Vol.31. P. 369-385.

Hvozdara M., Varentsov Iv.M. An experience of 3D modelling of electromagnetic fields using the integral equation method // IX Workshop on EM induction in the Earth. Abstracts. Moscow: Izmiran, 1988. P. 37.

Jones F.W., Pascoe L.J. A general computer programm to determine the perturbation of alternating electrical currents in a two-dimensional model // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol.24. P. 3-30.

Jones F.W., Pascoe L.J. A perturbation of alternating geomagnetic field by 3D conductivity inhomogeneities // Ibid. 1972. Vol.27. P. 479-485.

Jones F.W., Price A.T. The perturbations of alternating geomagnetic fields by condycting anomalies // Ibid. 1970. Vol.20. P. 317-334.

Jones F.W., Thomson D.J. A discussion of the finite difference method in computer modelling of electrical conductivity structures // Ibid. 1974. Vol.37. P. 537-543.

Kaikkonen P. A finite element programm package for electromagnetic modelling // J.Geophys. 1977. Vol.43. P. 179-192.

Kaikkonen P. Two-dimensional finite element modelling in

magnetotellurics // The development of the deep geoelectric model of Baltic shield. Pt.1: Numerical methods. Oulu, 1983. P. 79-106.

Kaikkonen P. Numerical electromagnetic modelling including studies of characteristic dimensions: A review // Surveys in Geophysics. 1986. Vol. 8. P. 301-337.

Kizak E., Silvester P. A finite element programm package for magnetotelluric modelling // Comput. Phys. Commun. 1975. Vol.10. P. 421-433.

Kizak E., Silvester P. Telford W.M. A recursive method in the E-polarization of magnetotelluric modelling by high-order finite elements // Acta geod., geophys. et montanist. Acad. sci. hung. 1977. Vol.12. P. 255-266.

Klugel M. Induction in plates with two-dimensional conductivity distribution // Ibid. 1977. Vol.12. P. 267-273.

Lee K.H., Pridmore D.F., Morisson H.P. A hybrid 3D electromagnetic modelling scheme // Geophysics. 1981. Vol.46. P. 796-805.

Mann J.E. A perturbation technique for solving boundary value problems arising in the electrodynamics of conducting bodies // Appl. Sci. Res. 1970. Vol.22. P. 113-126.

McKirdy D., Weaver J.T. Induction in a thin sheet of variable conductance at the surface of a stratified Earth. Pt.1. 2D theory. // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1984. Vol.78. P. 93-103.

McKirdy D., Weaver J.T., Dawson T.W. Induction in a thin sheet of variable conductivity at the surface of a stratified Earth // Ibid. 1985. Vol.80. P. 177-194.

Meijerink J.A., Van der Vorst H.A. Guidelines for the usage of incomplete decomposition in solving practical problems // J. comput. Phys. 1981. Vol.44. P. 134-155.

Muller W., Losecke W. Acceleration convergence techniques and grid spacing problems in two-dimensional magnetotelluric modelling // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1975. Vol.41. P. 185-191.

Pascoe L.J., Jones F.W. Boundary conditions and calculation of surface values for the general two-dimensional electromagnetic induction problem // Ibid. 1972. Vol.27. P. 179-193.

Petrick W., Ward S.H., Hohmann G.W. Three-dimensional EM modelling using a hybrid technique // Geophysics. 1981. Vol.46. P. 468.

Porstendorfer G. Electromagnetic field components and magnetotelluric sounding curves above horizontally inhomogeneous or anisotropic model media (Catalogue of models) // Geoelectric and geothermal studies. Budapest: Akademiai Kiado, 1976. P. 152-164.

Praus O. Numerical solution of the MT field in inhomogeneous structures // Ibid. P. 231-244.

Pridmore D.F., Hohmann G.W., Ward S.H., Sill W.R. An investigation of finite element modelling for electrical and electromagnetic data in three dimensions // Geophysics. 1981. Vol.46. P. 1009-1024.

Rankin D. The magnetotelluric effect of a dike // Geophysics. 1962. Vol.27. P. 666-676.

Reddy I.K., Rankin D. Magnetotelluric response of a two-dimensional sloping contact by the finite element method // Geophysics. 1973. Vol.105. P. 847-857.

Reddy I.K., Rankin D., Phillips R.J. 3D modelling in magnetotelluric and magnetic variational sounding // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1977. Vol.51. P. 313-325.

Rodemann Y. Elektromagnetische Induktion in einer leitfähigen Platte mit eingelagertem vertikalem, endlichem Zylinder: Ph.D. thesis. Braunschweig, 1978. 143 s.

Rodi W.L. A technique for improving the accuracy of finite element solutions for MT data // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1976. Vol.44. P. 483-506.

Silvester P., Haslam C.R.S. Magnetotelluric modelling by the finite element method // Geophys. Prospect. 1972. Vol.20. P. 872-891.

Smith J.T., Booker J.R. Magnetotelluric inversion for minimum structure // Geophysics. 1988. Vol.53. P. 1565-1576.

Tarlowsky Z. Survey of some iterative methods for solving large systems of equations generated by Helmholtz's equation // Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. 1977. N G-1 (110). P. 25-36.

Tatrallyay M. On the numerical modelling of two-dimensional conductivity structures in cylindrical and cartesian co-ordinates // Acta geod., geophys. et montanist. 1978. Vol. 13. P. 441-453.

Ting S.C., Hohmann G.W. Integral equation modelling of 3D MT response // Geophysics. 1981. Vol.46. P. 182-197.

Tripp A.C., Hohmann G.W. Block diagonalization of the EM impedance matrix of a symmetric buried body using group theory. // IEEE Trans. Geoscience and remote sensing. 1984. Vol.22. P. 62-69.

Turner M.J., Clough R.W., Martin H.C., Topp L.C. Stiffness and deflection analysis of complex structures // J. Aeronaut. Sci. 1956. Vol.23. P. 805-823.

Wait J.R., Spies K.P. Magneto-telluric fields for a segmented overburden // J. Geomagn. and Geoelectr. 1974. Vol.26. P. 449-458.

Wannamaker P.E., Hohmann G.W., San-Filipo W.A. EM modelling of 3D bodies in layered Earth using integral equations // Geophysics. 1984a. Vol.49. P. 60-74.

Wannamaker P.E., Hohmann G.W., Ward S.N. MT responses of 3D bodies in layered Earth. // Ibid. 1984b. Vol.49. P. 1517-1533.

Wannamaker P.E., Stodt J.A., Pijo L. Two-dimensional topographic responses in magnetotellurics modelled using finite elements // Geophysics. 1986. Vol.11. P. 2131-2144.

Wannamaker P.E., Stodt J.A., Pijo L. A stable finite element solution for two-dimensional magnetotelluric modelling // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1987. Vol.88. P. 277-296.

Ward S.H. Foreword and introduction. // Geophysics. 1981. Vol.36. P. 1-9.

Ward S.H., Hohmann G.W. Electromagnetic theory for geophysical applications // Electromagnetic methods in applied geophysics - theory. Vol.1 Tulsa: SEG, 1987. P. 131-312.

Weaver J.T. Finite difference calculations for COMMEMI: Geophysical report / Univ. of Victoria. Victoria, 1986. 72 p.

Weaver J.T., Brewitt-Taylor C.R. Improved boundary conditions for the numerical solution of B-polarization problems in geomagnetic induction // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1978. Vol.54. P. 300-317.

Weaver J.T., Le Quang B.V., Fischer G. A comparison of analytic and numerical results for a 2D control model in EM induction. Pt.1. B-polarization case. // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1985. Vol.82. P. 263-277.

Weaver J.T., Le Quang B.V., Fischer G. A comparison of analytic and numerical results for a 2D control model in EM induction. Pt.2., E-polarization case // Ibid. 1986. Vol.87. P. 917-948.

Weidelt P. Modellrechnungen zur Deutung als oberflächenhafte Zeitfahigkeitsanderung : Diplomarbeit. Gottingen, 1966. 128 p.

Weidelt P. Electromagnetic induction in three-dimensional structures // J. Geophys. 1975. Vol.41. P. 85-109.

Weidelt P. Numerical study of a conducting channelling effect // Acta geod., geophys. et montanist. 1977. Vol.12. P. 195-205.

Xiong Z., Luo Y., Wang S., Wu. G. Induced polarization and electromagnetic modelling of a three-dimensional body embedded in two-layered anisotropic Earth. // Geophysics. 1986. Vol.51(12). P. 2235-2246.

Zhdanov M.S., Golubev N.G., Spichak V.V., Varentsov Iv.M. The construction of effective methods for EM modelling // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1982. Vol.68. P. 589-607.

Zienkiewicz O.C., Cheung Y.K. The finite element method in structural and continuum mechanics. N.Y.: McGraw-Hill, 1967. 376 p.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ	5
1.1. Проблема математического моделирования в геоэлектрике	5
1.2. Методы интегральных уравнений	8
1.2.1. Объемные интегральные уравнения	9
1.2.2. Поверхностные интегральные уравнения	11
1.3. Методы дифференциальных уравнений	13
1.3.1. Представление задач моделирования как краевых задач	13
1.3.2. Конечно-разностная аппроксимация краевых задач	16
1.3.3. Численные методы решения разностных систем	18
1.3.4. Трансформации разностного решения	19
1.3.5. Контроль точности моделирования	20
1.3.6. Метод конечных элементов	20
1.4. Гибридные схемы моделирования	25
1.5. Аналитические и квазианалитические решения	26
2. ОРГАНИЗАЦИЯ СРАВНЕНИЯ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ	32
2.1. Принципы сравнения программ	32
2.1.1. Источники погрешностей численного моделирования	32
2.1.2. Опыт сравнения программ	35
2.2. Программа международного проекта СОММЕМІ	36
2.2.1. Задачи проекта	36
2.2.2. Структура тестовых моделей	38
2.2.3. Форма представления результатов	47
2.3. Пакеты программ моделирования	49
2.3.1. Программы, использующие метод интегральных уравнений	51
2.3.2. Программы, использующие метод конечных разностей	53
2.3.3. Программы, основанные на методе конечных элементов	55
3. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ	57
3.1. Модельные расчеты	57

3.1.1. Участники сравнения	57
3.1.2. Аналитическая модель 2Д-0	58
3.1.3. Модели простых геоэлектрических структур	60
3.1.4. Модели сложных геоэлектрических структур	65
3.2. Анализ результатов	68
3.2.1. Типичные расхождения результатов и их причины	68
3.2.2. Основные проблемы двумерного моделирования	70
4. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ	72
4.1. Модельные расчеты	72
4.1.1. Участники сравнения	72
4.1.2. Модель ЗД-1 (вариант А)	73
4.1.3. Модель ЗД-1 (вариант В)	76
4.2. Итоги сопоставления трехмерных расчетов	77
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Таблицы двумерных результатов	81
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Диаграммы двумерных результатов	133
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Таблицы трехмерных результатов	153
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Диаграммы трехмерных результатов	175
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. FDM2D-PW - программный пакет моделирования электромагнитных полей в двумерно-неодно- родных средах	185
ЛИТЕРАТУРА	188

CONTENTS

INTRODUCTION	3
1. SURVEY OF ELECTROMAGNETIC MODELLING METHODS IN INHOMOGENEOUS MEDIA	5
1.1. Problem of numerical modelling in geoelectrics	5
1.2. Methods of integral equations	8
1.2.1. Volume integral equations	9
1.2.2. Surface integral equations	11
1.3. Methods of differential equations	13
1.3.1. Boundary value problems in geoelectrics	13
1.3.2. Finite-difference approximation of boundary value problems	16
1.3.3. Numerical solution of finite-difference equations .	18
1.3.4. Transformation of finite-difference solution . .	19
1.3.5. Accuracy of numerical modelling	20
1.3.6. Method of finite elements	20
1.4. Hybrid schemes of numerical modelling	25
1.5. Analytical and quasi-analytical methods	26
2. COMPARISON OF MODELLING PROGRAMS	32
2.1. Basis of program comparison	32
2.1.1. Sources of errors in numerical modelling	32
2.1.2. Experience of program comparison	35
2.2. International project COMMEMI	36
2.2.1. Project aims	36
2.2.2. Structure of test models	38
2.2.3. Presentation of results	47
2.3. Packages of modelling programs	49
2.3.1. Programs using integral equation methods	51
2.3.2. Programs using finite difference methods	53
2.3.3. Programs using finite element methods	55
3. COMPARISON OF 2D NUMERICAL MODELLING RESULTS	57
3.1. Model calculations	57
3.1.1. Participants of comparison	57
3.1.2. Analytical model 2D-O	58
3.1.3. Models with simple geoelectric structure	60
3.1.4. Models with complex geoelectric structure	65

3.2. Analisys of results	68
3.2.1. Typical misfit of results and their sources	68
3.2.2. Main problems in 2D numerical modelling	70
4. COMPARISON OF 3D NUMERICAL MODELLING RESULTS	72
4.1. Model calculations	72
4.1.1. Participants of comparison	72
4.1.2. Model 3D-1 (variant A)	73
4.1.3. Model 3D-1 (variant B)	76
4.2. Conclusions on comparison of 3D results	77
Appendix 1. Tables of 2D results	81
Appendix 2. Diagramms of 2D results	133
Appendix 3. Tables of 3D results	153
Appendix 4. Diagramms of 3D results	175
Appendix 5. FDM2D-PW - program package for finite-difference modelling of electromagnetic responses in 2D inhomogeneous media	185
References	188

Научное издание

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
(Материалы международного проекта СОММЕМІ)

Утверждено к печати

Институтом земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР

Редактор издательства Ю.А. Юдина

Художник А.Г. Кобрин

Художественный редактор В.Ю. Яковлев

Технические редакторы Е.Ф. Альберт, Х.Х. Акмаева

ИБ № 47347

Подписано к печати 15.05.90

Т – 03899. Формат 60×90¹/16

Бумага офсетная № 1

Печать офсетная

Усл. печ. л. 12,5 Усл. кр. отт. 12,63 Уч.-изд. л. 14,6

Тираж 600 экз. Тип. Зак. 261

Цена 2 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени

издательство "Наука"

117864, ГСП-7, Москва, В-485,

Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства "Наука"

121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

Оригинал макет изготовлен

Институтом земного магнетизма, ионосферы

и распространения радиоволн АН СССР

2 p. 40 κ.