

НОВОЕ В ЗАРУБЕЖНОЙ ДЕМОГРАФИИ

ИМИТАЦИОННЫЕ  
МОДЕЛИ  
В ДЕМОГРАФИИ

Сборник статей под редакцией  
А. Г. ВОЛКОВА



МОСКВА «СТАТИСТИКА» 1980

3-1-15

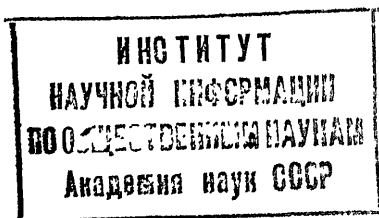
ББК 60.7  
И52

ИНИ ЦСУ СССР

НОВОЕ В ЗАРУБЕЖНОЙ ДЕМОГРАФИИ  
ОТДЕЛ ДЕМОГРАФИИ

Редакционная коллегия:

В. А. Белова, В. А. Бирюков, А. Я. Брыляцкий,  
А. Г. Волков, Л. Е. Дарский



Имитационные модели в демографии: Сб. статей/Под ред. А. Г. Волкова.—М.: Статистика, 1980.—207 с., ил.—(Новое в зарубежной демографии).

1 р. 70 к.

В последние годы для анализа демографических явлений широко применяется метод имитации, при котором развитие семьи представляется как случайный процесс, идущий в соответствии с известными вероятностями наступления таких событий, как брак, зачатие, рождение ребенка, развод и т. д. В сборнике представлены работы зарубежных демографов по имитационным демографическим моделям.

Для статистиков, демографов и специалистов по прикладной математике

И  $\frac{10805^*-140}{008(01)-80}$  63—80 0703000000

ББК 60.7  
312

\* Второй индекс 10803.

© Перевод на русский язык, предисловие, «Статистика», 1980.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Этот сборник серии посвящен одному из сравнительно новых и в последнее время бурно развивающихся за рубежом методов демографического анализа — имитационному моделированию. Собственно говоря, всякую модель можно считать имитационной, поскольку она предназначена для того, чтобы воспроизвести, имитировать реальный процесс или явление. Однако предпочтительнее, как сейчас и делают, называть имитационными особый класс демографических моделей — *числовые стохастические модели*. Один из пионеров в этой области исследований, шведский демограф Ханнес Хюрениус предложил даже применять этот термин только к их подклассу — *микроимитационным* стохастическим моделям. Во всяком случае в статьях сборника рассматриваются именно такие модели.

Стохастическая имитация широко применяется как в нашей стране, так и за рубежом в различных областях научного исследования. Однако общественные науки, в частности демография, обратились к ней лишь в самое последнее время.

Демографическая наука, изучая закономерности смены поколений людей, с самого начала широко пользовалась приемами моделирования — условного представления реальных демографических отношений. Уже первые несовершенные таблицы смертности XVIII века были, в сущности, *числовыми моделями* порядка вымирания людей, представляющими закономерности изменения смертности с возрастом. Такого рода числовые модели широко применяются и сейчас при изучении как отдельных демографических процессов — в виде так называемых демографических таблиц (смертности, брачности, прекращения брака), так и воспроизводства населения в целом.

По мере накопления фактических знаний о закономерностях воспроизводства населения и повышения достоверности данных числовые модели становились все более совершенными и включали все больше демографических переменных, в той степени, в какой допускала это имеющаяся информация.

Почти с самого зарождения демографии предпринимались и попытки найти «закон роста населения» или его компонентов — рождаемости и смертности — с помощью так называемых *аналитических моделей*. Аналитические модели основываются на тех или иных гипотезах о закономерностях демографических процессов и выражают взаимосвязи между ними и их влияние на воспроизводство населения в обобщенной математической форме. Классическим примером может служить модель стабильного населения, выражающая зависимость между темпом роста населения, его возрастной структурой и возрастными характеристиками рождаемости и смертности.

Развитие демографических исследований, да и сами тенденции демографических процессов показали, что воспроизводство населения представляет собой сложное явление, складывающееся под одновременным и взаимосвязанным воздействием целого ряда факторов. Существующие традиционные модели не в состоянии учесть все эти факторы в их взаимосвязи: аналитические модели наталкиваются при этом на трудность аналитического выражения закономерностей, числовые — на отсутствие подходящих данных, те и другие — на недостаточную изученность всех компонентов демографического движения.

Демографические процессы происходят в совокупностях людей, в населении в целом. Однако эти процессы складываются из событий в жизни отдельных людей или семей, составляющих население. На уровне индивидов (или семей) действуют одни факторы, на уровне населения — другие. Различна и природа этих факторов. Тем не менее необходимо их взаимосвязанное изучение, поскольку они представляют собой звенья одного и того же процесса смены поколений людей.

До сих пор, когда объектом исследований было лишь ограниченное число признаков (пол, возраст, брачное состояние), демографические процессы изучались преимущественно на макроуровне, т. е. для населения в

целом и отдельных более или менее крупных его подгрупп. Соответственно в *макромоделях* задавалась некоторая структура населения и «вероятности» (доли) наступления определенных демографических событий в каждой группе или населении в целом. Пример — проводимые повсеместно перспективные расчеты численности и возрастно-полового состава населения путем передвижки его по возрастам, в которых, как правило, учитываются лишь вероятности смерти и рождения, зависящие от возраста.

Когда же потребовалось исследовать демографическое поведение (в частности, намерения родителей относительно числа детей) и вместе с тем биологические компоненты воспроизводства населения (вероятность зачатия, различные исходы беременности и т. д.), а в число общих демографических переменных включить такие, как очередность рождения, интервалы между рождениями, прекращение брака, взаимосвязанное изучение всех этих компонентов на макроуровне оказалось практически невозможным. Для того чтобы одновременно учесть их в модели, нужно было бы знать совместные распределения населения по всем этим признакам и оперировать с гигантскими объемами данных. Оказалось удобнее исследовать эти компоненты на микроуровне, т. е. для отдельных индивидов (или семей). В *микромодели* объектом моделирования служит история жизни индивида или семьи. Вступление в брак, зачатие, рождение ребенка, прекращение брака, смерть учитываются здесь не в виде одновременного наступления таких событий в жизни ряда людей, находящихся в том или ином состоянии, а как последовательность независимых событий в жизни отдельного индивида. Структуру же населения и общие характеристики демографического процесса получают путем обобщения данных об историях жизни индивидов. Поскольку для отдельных индивидов каждое из этих событий можно рассматривать как случайное, удобным средством для их совместного изучения стали *стохастические модели*.

В так называемых *детерминистских* моделях вероятность какого-либо демографического события рассматривается как доля людей в населении, с которыми это событие происходит, а число таких событий определяется произведением этой доли и числа людей, подверженных риску данного события. В отличие от них в *стоха-*

*стических* моделях каждое демографическое событие рассматривается как случайная величина, подчиняющаяся заданному распределению вероятностей, а соответствующее число событий определяется на основании многократной реализации этой случайной величины с учетом свойств ее распределения. Демографический процесс в целом интерпретируется как множество случайных событий, наступление которых происходит с определенными вероятностями. Закономерность, свойственная процессу, проявляется, таким образом, лишь в среднем, при достаточно большом числе случаев.

Стохастические модели могут воспроизводить закономерности как макроуровня, так и микроуровня. Однако на микроуровне возможна только стохастическая имитация, поскольку наступление того или иного события в жизни данного индивида или семьи есть результат случая<sup>\*</sup>.

Принцип имитационной стохастической микромодели состоит в том, что жизнь человека рассматривается как состоящая из некоторых достаточно малых промежутков времени, в течение которых с ним может произойти то или иное демографическое событие (обычно только одно) — вступление в брак, зачатие, рождение ребенка и т. д. Определяется возможная последовательность таких событий и состояние индивида, в котором каждое событие может произойти (например, вступить в брак может только человек, в браке не состоящий). Задаются числовые значения вероятностей наступления того или иного события для данного состояния в зависимости от возраста (промежутка времени) и от исхода предшествующего события, причем вероятности разных событий принимаются независимыми. Исследуемая совокупность считается при этом однородной в том смысле, что вероятность наступления данного события одинакова для всех индивидов (семей), находящихся в данном состоянии. Описание последовательности событий и распределение вероятностей каждого из них составляют собственно модель. Нужно подчеркнуть, что допущение случайного характера событий не превращает воспроизводство

---

\* О классификации моделей и сущности стохастической имитации см в статьях Н Кейфица и Г Файхтингера в одном из предыдущих выпусков серии — «Демографические модели» (М, 1977).

населения в неупорядоченный стихийный процесс: распределение вероятностей события отражает компонент необходимости, ибо оно обусловлено сущностью процесса, а случайность — лишь форма его реализации.

Имитация производится следующим образом. Прослеживается жизнь каждого индивида. Для каждого ее отрезка генерируется случайное число, равномерно распределенное на интервале  $(0-1)$ , и сравнивается с известной вероятностью данного события. Если случайное число превышает значение этой вероятности, то считается, что событие произошло, и индивид переводится в соответствующее иное состояние. В противном случае он остается в данном состоянии и процедура повторяется для следующего отрезка времени. Процесс повторяется до тех пор, пока не произойдет изменение состояния индивида или не окончится его жизнь. Далее то же делается с каждым индивидом до тех пор, пока исходная совокупность не окажется исчерпанной. Каждое полученное таким образом событие фиксируется, после окончания имитации результаты подытоживаются для всего имитируемого населения и вычисляются демографические коэффициенты, а также другие необходимые характеристики. Таким образом, демографический процесс представляется как множество случайных событий в жизни людей, образующих население. При этом в отличие от обычных, в том числе макроимитационных, моделей удается избежать оценки вероятностей событий в зависимости от многих параметров одновременно.

Распределение вероятностей тех или иных событий выражает закономерность процесса, оно определяется исходя из прошлого опыта или из некоторых теоретических представлений о сущности данного процесса. Обычно проводится несколько серий имитации, результаты которых осредняются, поскольку по условиям модели они должны соответствовать реальности лишь в среднем. Близость средних результатов по ряду повторений имитации к фактическим характеристикам населения указывает на то, что модель учитывает все сколько-нибудь существенные компоненты процесса.

Случайные числа определяются по принципу рулетки, с помощью датчика случайных чисел, что и дало методу название метода Монте-Карло. Именно из-за трудоемкости получения случайных чисел стохастическая имитация стала распространяться лишь с появлением

быстродействующих электронных цифровых вычислительных машин. Любопытно, однако, что французский демограф Де Бетюн — один из первых, кто применил стохастическую имитацию для оценки распределения рождений во времени, — «генерировал» случайные числа вручную, извлекая из ящика детские мраморные шарики.

Главное преимущество имитационных стохастических микромоделей состоит в том, что они дают возможность, варьируя значение той или иной входной переменной, выяснить ее влияние на воспроизводство населения, а также сравнивать значение разных факторов в образовании общего результата их действия. Задавая определенную последовательность действий, с помощью такой модели можно исследовать определенный характер демографического поведения.

Модели могут служить средством разработки методов изучения демографических процессов. Сравнивая имитированные результаты с фактическими, можно оценить пригодность различных показателей и проверить справедливость принятых в модели гипотез. Стохастический характер имитации дает возможность оценить вариацию компонентов модели и определить границы, в которых будет находиться результат при тех или иных значениях входных параметров модели.

Исследователи отмечают, что, поскольку модель требует детальных гипотез о характере распределения вероятностей учитываемых событий, в процессе разработки самой модели часто обнаруживается недостаток знаний об исследуемом процессе, что может подсказать пути дальнейшего их поиска. Более того, если какой-либо фактор неизвестен, то можно оценить его значение, задавая произвольный набор таких значений и затем выбирая те, при которых общий результат не выходит за реалистичные пределы.

Все перечисленное ранее делает стохастические имитационные микромодели полезным инструментом демографического анализа. Правда, проведение имитации с большим числом параметров требует достаточно большого объема машинной памяти, а применение моделей часто ограничено из-за отсутствия всех необходимых данных. С теми или иными трудностями при подборе входных данных сталкивались авторы почти всех моделей. Приходится констатировать, что современная ста-



тика не дает еще всей необходимой информации для расчета по моделям. Некоторых данных недостает просто из-за слабой изученности тех или иных компонентов воспроизводства населения. Однако эти ограничения и трудности компенсируются расширением возможностей анализа, которые предоставляет этот метод моделирования. Не случайно он получает все большее распространение — библиография по проблемам стохастической имитации насчитывает уже несколько десятков книг и статей.

Выбирая статьи для сборника, мы пытались по возможности полно представить применение стохастической микроимитации для решения разнообразных исследовательских задач.

В двух работах — статье Ханнеса Хюрениуса, Ингвара Холмберга и Маргареты Карлссон и статье Ингвара Холмберга — представлена динамическая модель, имитирующая процесс демографического перехода в Швеции — от высоких уровней рождаемости и смертности к низким. Модель учитывает все основные компоненты воспроизводства населения: брачность (для первых и повторных браков), разводы в зависимости от продолжительности брака, смертность, а также рождаемость, представленную в модели двумя характеристиками — распределением по числу рожденных детей и распределением интервалов между рождениями по их продолжительности. Модель имитирует демографическую историю семей с обобщением на сводные характеристики воспроизводства населения. Расчеты проведены не только для начального высокого и конечного низкого уровней рождаемости и смертности, но и для ряда промежуточных состояний, примерно соответствующих этапам демографического перехода в Швеции. Благодаря тщательному подбору значений отдельных компонентов демографического движения (хотя некоторые из них за неимением точных данных пришлось реконструировать) авторам удалось достаточно точно воспроизвести процесс демографического перехода.

Привлекает тщательная теоретическая разработка модели, весьма подробное ее логическое обоснование и формулировка исходных гипотез. Для последующего применения важно, что авторы уделяют много места описанию трудностей при разработке модели, в частности подбору необходимых для расчетов исходных данных

и приведению их к виду, удобному для ввода в модель. Исследована зависимость результатов расчетов от числа семей, жизненный цикл которых имитируется.

Хотя основной целью исследования, по словам авторов, было выяснение «работоспособности» модели, при расчетах получены и весьма интересные содержательные результаты. Модель, в частности, дала возможность изучить взаимодействия между входными переменными и влияние этих входных переменных на рождаемость и ее изменение. Оказалось, в частности, что в условиях ограничения деторождения чем ниже частота разводов, тем ниже и рождаемость. Этот парадоксальный факт авторы объясняют тем, что в браках, оканчивающихся разводом, ожидаемое число детей уже достигнуто, а второй брак, хотя и увеличивает число рождений, но незначительно. В условиях неограниченного деторождения парадокс исчезает. Было показано также, что на возрастные характеристики рождаемости оказывает существенное влияние распределение интервалов между рождениями, что еще раз подчеркивает эффективность когортного подхода к исследованию рождаемости для правильной оценки ее изменений. Читателю будут интересны и другие содержательные результаты расчетов по модели.

Для решения иной задачи применяют метод стохастической имитации Н. Крафтс и Н. Айрленд. Они справедливо указывают, что описание демографического перехода еще не даст ответа на вопрос, почему он произошел и какими факторами обусловлен. Для того чтобы на него ответить, нужно объяснить изменения, произошедшие в демографическом поведении семей, и попытаться связать эти изменения с теми изменениями уровня рождаемости, которые выступают в общих статистических данных. Н. Крафтс и Н. Айрленд полагают, что для такого объяснения необходима гипотеза, раскрывающая механизм репродуктивного поведения супругов, которую авторы называют «теорией формирования семьи». Проверка такой гипотезы возможна, по их мнению, с помощью модели, имитирующей репродуктивное поведение супругов и учитывающей естественные, биологические факторы деторождения. Предлагаемая ими модель включает ряд тщательно подобранных оцененных входных переменных. Предпринята попытка показать, как влияет на число детей в семье изменение

супругами практики контрацепции по мере того, как фактическое число детей приближается к желаемому. В отличие от других модель предусматривает «контроль», т. е. поведение супругов меняется в зависимости от того, в какой степени они реализовали свои планы в отношении деторождения, с учетом дожития детей.

Модель не претендует на исследование социальных факторов репродуктивного поведения и имитирует лишь эффект той или иной практики контрацепции на различных этапах жизненного цикла. Представление поведения супругов в зависимости от «полезности» детей и «издержек», связанных с их воспитанием, как регуляторов применения или неприменения контрацепции еще не доказывает существования именно такого механизма демографического поведения и тем более не объясняет его социальной детерминации. Последнее вообще вряд ли возможно в рамках предлагаемой авторами «теории формирования семьи». Однако нельзя не согласиться с ними в том, что именно стохастическая имитация, принимающая в расчет случайность, позволяет учесть одновременно влияние многих факторов, в совокупности определяющих решение супругов относительно рождения ребенка и реализацию этого решения. При дальнейших исследованиях социальной детерминации репродуктивного поведения изложенная в статье методика анализа может оказаться весьма полезной.

Одно из важных достоинств имитационных стохастических моделей, как мы уже указывали, состоит в возможности изучить влияние отдельных факторов на воспроизводство населения или его компоненты. Например, последовательно изменяя значения отдельных компонентов рождаемости и оставляя неизменными остальные, можно выяснить, в какой мере каждый из них воздействует на рождаемость, а тем самым указать пути воздействия на рождаемость в желательном направлении. Эта особенность моделей делает их хорошим средством для оценки эффективности тех или иных мер демографической политики. Пожалуй, именно в этой области имитационные стохастические микромоделли сейчас применяются наиболее широко. Интересный пример такого рода дает исследование Сюнити Иноуэ, посвященное изучению изменений в рождаемости при тех или иных мерах демографической политики. В отличие от других аналогичных моделей она включает как биологические

(оплодотворяемость, послеродовая стерильность), так и демографические (брачность, прекращение брака, репродуктивные установки, методы контрацепции и их эффективность) компоненты.

Испытав модель в условиях неограничиваемой рождаемости (гуттериты) и при внутрисемейном ограничении деторождения (Япония) и убедившись в ее адекватности как в том, так и в другом случае, автор применяет ее для изучения факторов и перспектив рождаемости в Пакистане в условиях демографической политики, направленной на снижение рождаемости. Микроимитация производится при различных вариантах изменения каждой из 14 (!) входных переменных, соответствующих различным мерам демографической политики. Исследуется эффект изменения таких переменных, как возраст вступления в брак, желаемое число детей, распространенность практики контрацепции и др.

Результаты имитации рождаемости при различных наборах входных переменных показали, что распространение контрацепции и повышение ее эффективности не могут привести к значительному снижению рождаемости, если они не сопровождаются изменением социальных норм, регулирующих возраст вступления в брак и предпочтения в отношении желаемого числа детей. Отсюда следует, что демографическая политика, предусматривающая лишь программы контроля рождаемости, не может дать значительного эффекта. Для изменения современного высокого уровня рождаемости необходим комплекс мероприятий. Важно учесть при ее проведении социально-экономические факторы, воздействующие на изменение социальных норм. Эти выводы, по существу, еще раз подтверждают справедливость позиции советских ученых в отношении проблем народонаселения развивающихся стран.

В статье анализируются результаты четырех «сценариев» демографической политики, предусматривающих разную степень интенсивности программ по контролю рождаемости и разную скорость изменения социальных норм. Как оказалось, наибольший эффект в смысле снижения рождаемости дает сценарий, где активная программа контроля рождаемости сопровождается существенным изменением социальных норм, регулирующих репродуктивное поведение. Интересен и раздел работы, посвященный прогнозированию рождаемости при

различных вариантах демографической политики, который раскрывает еще одну область применения стохастической имитации.

Примечательно, что входные параметры модели предусматриваются в сравнительно простом виде специально в расчете на ее применение в условиях ограниченной информации, т. е. в ситуации, характерной для развивающихся стран. Остается добавить, что в принципе модель может быть применена для аналогичного исследования в условиях низкой или снижающейся рождаемости.

Своеобразный пример применения стохастической микроимитации дает статья Беннета Дайка и Джин У. Мак-Клюэр, которые с помощью стохастической имитационной микромодели восстановили основные демографические характеристики небольшой (менее 700 человек) популяции — изолята Нортсайд на одном из островов в Вест-Индии за 50 лет. Для малых популяций непосредственно получить демографические характеристики трудно, так как даже при доброкачественных исходных данных случайные ошибки делают показатели недостоверными. В статье весьма подробно описан процесс получения таких характеристик с помощью имитации. Примечательная особенность работы — в описании процесса «пригонки» модели, последовательного приближения имитированных данных к фактическим. Модель пригодна не только для исследований в области исторической демографии. Изложенные в статье приемы могут найти применение также при изучении динамики населения и прогнозировании населения небольших населенных пунктов, в частности отдельных городов.

Включенные в сборник работы не исчерпывают, конечно, всего разнообразия моделей такого типа. Однако они дают представление о возможностях стохастической микроимитации как инструмента демографического анализа. Гибкость и универсальность этого метода делают его весьма перспективным средством изучения взаимосвязей факторов и аналитического демографического прогноза. Нет сомнения в том, что это направление демографической «технологии» будет развиваться и в нашей стране. Хотелось бы надеяться, что изложенные здесь методы и примеры будут этому способствовать.

*А. Г. Волков*

*Ханнес Хюрениус, Ингвар Холмберг,  
Маргарета Карлссон*

## ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ. ДМ 3

Hannes Hyrenius, Ingvar Holmberg, Margareta Carlsson. Demographic Models. DM 3. Göteborg, 1967 (Demographic Institute. University of Göteborg, Sweden. Reports, № 5)

### ВСТУПЛЕНИЕ

Работа над демографическими моделями началась в Демографическом институте Гетеборгского университета несколько лет назад. С тех пор были опубликованы три отчета по этой проблеме\*.

Со времени издания последнего отчета исследования шли в двух направлениях:

1. Совершенствование модели рождаемости, описанной в отчетах № 2 и 4, с целью включить в нее больше переменных и более тщательно подобрать входные данные.

2. Разработка динамических демографических моделей.

Данный отчет посвящен второму из этих направлений.

Модель для имитации процесса рождаемости была статической в том смысле, что в ней не учитывалось время. Если мы хотим получить модель, учитывающую изменения, происходящие во времени, то к проблеме ее построения следует подойти несколько иначе. Разрабатываемая сейчас динамическая модель включает компо-

---

\* Report 2. A fertility simulation model. By H. Hyrenius and I. Adolfsson. Göteborg, 1964; Report 3. New technique for studying demographic-economic-social interrelations. By H. Hyrenius, I. Adolfsson and I. Holmberg. Göteborg, 1966.—1965; Report 4. Demographic models. Second report (DM 2). By H. *Примеч. пер.*

пенты как микро-, так и макроуровней и основывается в значительной степени на так называемом нуль-стабильном населении.

Для того чтобы не откладывать представление этой модели на слишком долгий срок, этот отчет отражает главным образом теоретические аспекты ее построения и содержит лишь ограниченное число результатов, полученных при практических расчетах по модели. В ближайшем будущем предполагается провести несколько серий испытаний модели с различными наборами входных данных. Результаты этих испытаний будут опубликованы отдельно.

## 1. СТАЦИОНАРНОЕ, СТАБИЛЬНОЕ И НУЛЬ-СТАБИЛЬНОЕ НАСЕЛЕНИЯ

Обычное *стационарное возрастное распределение* основывается на таблице смертности—или соответствующем ряде возрастных показателей смертности—и на предположении, что число рождений постоянно и уравнивает число смертей. Равносильным этому было бы предположение о постоянстве, в абсолютных числах, возрастного распределения живущих или возрастного распределения смертей. Такая модель населения не требует конкретного указания на уровень рождаемости или на характер ее изменения с возрастом.

*Стабильное возрастное распределение* основывается не только на таблице смертности (или эквивалентных характеристиках смертности), но и на ряде возрастных коэффициентов рождаемости.

В 1920-х гг. Лотка показал, что население, подчиняющееся постоянному порядку возрастных показателей смертности и рождаемости, в конечном счете приобретает неизменное относительное возрастное распределение независимо от исходного возрастного распределения. Более строгое доказательство этого свойства, так называемой сильной эргодичности, было дано в 1961 г. Лопесом. Исследование функции чисел рождений при условии постоянства смертности и рождаемости дает так называемое интегральное уравнение Лотки:

$$1 = \int_0^{\infty} e^{-\rho x} \varphi(x) dx, \quad (1.1)$$

где  $\rho$  — собственный коэффициент естественного прироста (intrinsic rate of natural increase), а  $\varphi(x)$  — функция чистой рождаемости, т. е.  $\varphi(x)dx$  — вероятность для девочки при ее рождении родить девочку в возрасте от  $x$  до  $x+dx$ . Стабильное возрастное распределение дается выражениями

$$c(x) = be^{-\rho x} l(x) \quad (1.2)$$

и

$$b = \frac{1}{\int_0^{\infty} e^{-\rho x} l(x) dx}, \quad (1.3)$$

где  $c(x)$  — доля населения в возрасте  $x$ ;  $l(x)$  — функция дожития из таблицы смертности, а  $b$  — собственный\* годовой коэффициент рождаемости в расчете на одну женщину.

Вычислить  $\rho$  можно разными способами, разработанными в свое время Лоткой (Lotka), Викасселлом (Wicksell), Коулом (Coale), Кейфицем (Keyfitz) и др. Два главных способа заключаются в том, чтобы вычислять его (1) на основании самого интегрального уравнения и (2) путем перспективного исчисления населения.

Исходный метод вычисления собственного коэффициента прироста состоит в том, чтобы разложить подынтегральную функцию в степенной ряд, доведя разложение до второй или третьей степени, и решить полученное таким образом уравнение. Простое и обычно достаточное приближение можно получить, заменив  $\rho$  величиной  $r$ :

$$r = \sqrt[m]{R} - 1, \quad (1.4)$$

где  $R$  — чистый коэффициент воспроизводства, а  $m$  — средний возраст матерей при рождении девочек.

Перевод вычислений на ЭВМ сделал возможным применение итерационных методов, которые дают значения  $\rho$  большой точности после всего лишь нескольких итераций. В этом случае интеграл заменяется конечной суммой, т. е.

$$1 = \sum e^{-r(x+1/2)} L(x) f(x), \quad (1.5)$$

---

\* Т. е. присущий режиму воспроизводства данного стабильного населения. — *Примеч. пер.*



где  $L(x)$  — стационарное возрастное распределение из таблиц смертности и  $f(x)$  — возрастные коэффициенты рождаемости.

В течение последних нескольких лет был разработан новый способ вычисления  $r$ . Этот способ основан на перспективном исчислении населения путем передвижки по возрастам с постоянными возрастными показателями смертности и рождаемости; передвижка производится до тех пор, пока население не станет стабильным. Собственный коэффициент естественного прироста получается в этом случае из главного корня матрицы передвижки, который стремится к  $e^{5r}$ , если перспективное исчисление производится по пятилетним интервалам.

Рождаемость,  $f(x)$ , в данном случае понимается как относительная частота рождений девочек, если вычисления, как это обычно и бывает, производятся для женского пола. Если пользоваться обычными коэффициентами рождаемости, включающими рождения детей обоих полов, а затем уменьшать их, учитывая соотношение полов, то в вычисления вносится некоторая ошибка, хотя сию и можно пренебречь.

Вначале возрастные коэффициенты рождаемости принимались в расчет безотносительно к брачному состоянию. Правильнее, однако, рассматривать их как взвешенные средние из возрастных коэффициентов рождаемости для брачных и для внебрачных детей. Весами служат фактические доли замужних и незамужних женщин в каждой возрастной группе. Эти доли есть результат действия коэффициентов брачности примерно за последние 30 лет. Как показал впервые Викселл, при таком уточнении легко учесть доли состоящих в браке, соответствующие брачности определенных лет (или когорт).

Следующим шагом в развитии теории стабильного населения было введение понятия *полуштабильного населения*, которое возникает при постоянной рождаемости, но снижающейся смертности. Такие рождаемость и смертность приводят к возрастному распределению, очень близкому к стабильному, если население в течение конкретного рассматриваемого периода времени сохраняло некоторый заданный темп роста. Эта модель применялась для разработки методов демографического анализа населений, относительно которых не было достаточно полных данных.

Собственный коэффициент прироста,  $\rho$ , испытывает совместное влияние смертности, брачности, а также как брачной, так и внебрачной рождаемости. Одно и то же значение  $\rho$  можно получить, разумеется, при бесконечном числе различных сочетаний этих компонентов.

В дальнейшем изложении стабильное возрастное распределение будет называться *ро-стабильным возрастным распределением*, а при необходимости будет указываться и величина  $\rho$ .

Настоящая работа основывается на подклассе *ро-стабильных* возрастных распределений, соответствующих  $R=1$  и  $\rho=0$ . Этот класс распределений будем называть поэтому *нуль-стабильными возрастными распределениями*.

Различие между нуль-стабильным и стационарным возрастными распределениями, основанными на одном и том же порядке вымирания, заключается в том, что последнее не требует никаких предположений относительно рождаемости и тем самым имеет более общий характер. С другой стороны, условиями нуль-стабильного населения можно воспользоваться для того, чтобы более подробно исследовать влияние, оказываемое на рост населения его семейной структурой.

Очевидно, что чистый уровень воспроизводства, равный 1 (т. е.  $\rho=0$ ), может достигаться при двух различных уровнях рождаемости и смертности, а именно при условии, что (а) и смертность и рождаемость высоки, (б) и смертность и рождаемость низки. Следовательно, необходимо различать *нуль-стабильные населения высокого уровня* и *нуль-стабильные населения низкого уровня*.

Рассмотренные ранее модели были статическими в том смысле, что они основывались на фиксированных наборах данных и не учитывали их изменения во времени. Если же целью исследования служит демографический переход, который в данном контексте означает демографическое развитие от нуль-стабильного населения высокого уровня до нуль-стабильного населения низкого уровня, то без включения фактора времени, разумеется, обойтись нельзя.

Переход от примитивного демографического состояния с высокой смертностью и высокой рождаемостью к более развитому состоянию с низкой смертностью и низкой рождаемостью можно представить, внося дискрет-

ные изменения во входные данные. Однако такого рода шаговый метод не может дать удовлетворительного описания динамики населения. Между тем если желательно исследовать весь период демографического перехода от «примитивного» состояния к более «развитому» состоянию, то эта проблема становится особенно важной.

Разрешить эту проблему можно с помощью так называемых *динамических демографических моделей*. В моделях такого рода дискретные изменения во входных данных заменяются данными, представляемыми в виде функций времени. Такие модели дали бы возможность более рационально и систематически вносить изменения во входные переменные. Изменения в смертности, рождаемости, брачности и т. д. обычно рассматриваются как непрерывные процессы. Приближенный учет изменений шаговым методом мог бы значительно исказить представление о механизме, порождающем эти непрерывные изменения.

Разработка модели, которую можно было бы применить для исследования демографического перехода — весьма сложная задача, и, как мы имели повод упомянуть, лучший путь ее разрешения заключается в том, чтобы постепенно разрабатывать отдельные части этой модели и последовательно их объединять.

В этом отчете представлен один из первых шагов в разработке динамической демографической модели. Разработка модели еще не закончена, однако модель готовится такой гибкой, что дальнейшие изменения будут связаны в основном с включением в расчеты более подходящих данных.

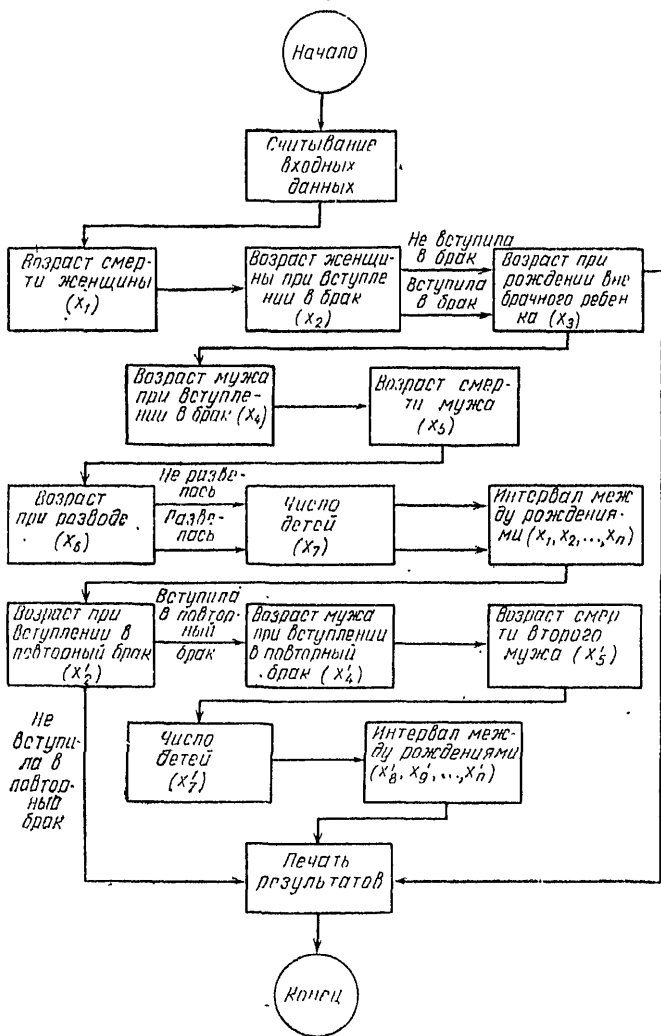
## 2. ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ МОДЕЛИ

Общая схема модели основывается на некоторых упрощающих предположениях, а именно:

- 1) предполагается, что смертность, брачность и рождаемость независимы;
- 2) чистая\* внебрачная рождаемость учитывается не полностью путем приближенной оценки;
- 3) предполагается, что повторно вступают в брак только один раз;

---

\* Т. е. не учитывающая смертности. — *Примеч. пер.*



Блок-схема модели

4) возраст мужа при вступлении в брак получают на основании возраста жены при вступлении в брак в соответствии с простым функциональным соотношением между ними.

Эти предположения помогают сделать первый подход к модели менее сложным; на последующих этапах разработки модели принятые ограничения можно будет ослабить.

Структура модели описывается с помощью блок-схемы (см. рисунок).

Более подробно различные компоненты модели представлены далее.

Модель включает как микро-, так и макроэлементы. На микроуровне моделируются события в жизни каждой из женщин в соответствии с различными распределениями частот и с помощью случайного механизма. Это делается следующим образом.

Событие  $E_i$  подчиняется некоторому распределению частот  $F_{E_i}(X; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ , где  $X$  — некоторая характеристика женщины, например ее возраст в данное время, возраст при вступлении в брак или продолжительность брака, и  $\alpha_1, \alpha_2$  и т. д. — некоторые параметры. Генерируется случайное число ( $R_j$ ) между 0 и 1, и если

$$R_j < F_{E_i}(X; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), \quad (2.1)$$

то предполагается, что событие  $E_i$  произошло, и фиксируются тип события и значение  $X$ . Если  $R_j \geq F_{E_i}(X; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  для всех значений  $X$ , то считается, что событие  $E_i$  не произойдет. Если, например,  $E_i$  относится к смертности, то

$$F_{E_i} = 1 - \int_0^x g(t) dt = 1 - l(x) \quad (l(0) = 1), \quad (2.2)$$

где  $g(t)dt$  — вероятность для новорожденного при рождении умереть в возрастном интервале  $t, t+dt$ . Последовательные испытания вида (2.1) затем дают требуемую вероятность в конкретно указанном возрастном интервале в соответствии со следующими соображениями.

Если  $R_j$  попадает в интервал

$$1 - \int_0^{x-1} g(t) dt \leq R_j < 1 - \int_0^x g(t) dt,$$

то это дает

$$\begin{aligned} r(x-1) &= [1-l(x)] - [1-l(x-1)] = \\ &= l(x-1) - l(x) = d(x-1), \end{aligned}$$

что соответствует вероятности для новорожденного при рождении, согласно таблице смертности, умереть в возрастном интервале  $x-1$ ,  $x$ . Возраст  $x-1$  фиксируется, и впоследствии обращение к нему означает интервал  $x-1$ ,  $x$ .

Этот прием применяется ко всем возможным событиям, рассматриваемым в модели. Далее такие испытания производятся с шагом в один год начиная с исходного возраста  $Z$ , лежащего в интервале 15—19 лет, до предельного возраста  $Y$ , который составляет либо 50 лет, либо возраст прекращения брака, если брак прекращается раньше, чем женщина достигнет 50 лет.

Последовательность, в которой определяется наступление различных событий, такова:

1. Возраст смерти женщины ( $x_1$ ).

Риск смерти вычисляется на основании функции дожития из таблицы смертности.

2. Возраст женщины при вступлении в брак ( $x_2$ ).

Риск вступления в брак определяется на основании математической функции, которая была подобрана таким образом, чтобы она отражала изменение доли женщин, никогда не состоявших в браке к точным возрастам 15, 20, 25 и т. д. лет. При подборе этой функции смертность не учитывалась. Однако при применении модели смертность учитывается автоматически, поскольку если  $x_2$  больше, чем  $x_1$ , то вступления в брак не происходит. Иными словами, возраст при вступлении в брак определяется независимо от предварительно определенно-го возраста смерти.

3. Возраст при рождении внебрачного ребенка ( $x_3$ ).

Здесь принято ограничивающее предположение, что женщина может иметь только одного внебрачного ребенка. Это событие, а также возраст при рождении данного ребенка определяются очень приблизительно на основании того, в течение какого времени женщина остается не состоящей в браке.

4. Возраст мужа при вступлении в брак ( $x_4$ ).

Этот возраст определяется по возрасту жены при вступлении в брак на основании линейного уравнения регрессии.

#### 5. Возраст смерти мужа ( $x_5$ ).

Для обоих полов применяется одна и та же функция дожития. Различие в смертности между полами учитывается, перед применением этой функции, путем добавления положительной константы к возрасту мужа.

#### 6. Возраст при прекращении брака ( $x_6$ ).

Здесь остается лишь определить, будет ли брак расторгнут, поскольку возможность того, что он прекратится вследствие смерти жены или мужа, учтена ранее. Риск развода определялся на основании функции, зависящей от продолжительности брака.

#### 7. Дети, рожденные в браке ( $x_7$ ).

Число детей в каждом браке определяется предварительно на основании распределения браков по возрасту при вступлении в брак и по числу детей. Число детей, определенное таким образом, может быть изменено впоследствии, если (1) брак прекращается и (2) до вступления в брак рожден ребенок.

#### 8. Возраст при родах ( $x_8, x_9, \dots, x_n$ ).

Возраст при каждом роде определяется на основании распределений интервалов между вступлением в брак и первым рождением и между последующими рожденьями. Учитываются только дети, рожденные живыми. Интервалы накапливаются и процесс прекращается (1) если достигнуто определенное ранее число детей или (2) в возрасте, когда по той или иной причине прекращается брак. Общее число детей складывается из всех детей, рождение которых установлено таким способом.

#### 9. Возраст при вступлении в повторный брак.

Возраст при вступлении в повторный брак определяется после того, как определены все события в пунктах 1—8, если брак прекратился вследствие смерти мужа или развода до того, как жена достигла 50 лет. Если вступление в повторный брак произошло, то повторно определяются события по пунктам 4, 5, 7 и 8.

После того как эти испытания проведены, рассмотрение данной семьи заканчивается и фиксируются все полученные о ней сведения. Такие же действия повторяются затем для следующей семьи и т. д.

Для проведения имитации на ЭВМ описанный процесс был запрограммирован на языке Алгол. Машинная программа содержит четыре подпрограммы: первая прочитывает все входные данные и размещает их во внешней памяти, вторая — главная подпрограмма —

производит имитацию, а две оставшиеся выводят на печать результаты вычислений. Время, затрачиваемое на серию имитации объемом в 400 семей и на печать результатов, составляет приблизительно 50 минут для ЭВМ, которой мы пользовались (Facit EDB 3). В настоящее время машинные программы переписываются на языке Фортран IV и адаптируются к ЭВМ с большей памятью и быстродействием (IBM 360/50).

### 3. СБОР И ОБРАБОТКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Входные данные, которые непосредственно применялись при вычислениях по модели и относились к условиям низкого уровня (как он был определен в разделе 1), почерпнуты в основном из официальной статистики населения для Швеции. Таким образом, эти данные имеют несколько ограниченный характер, поскольку они относятся лишь к условиям Швеции. Вопросы о том, насколько они пригодны для характеристики общих демографических закономерностей, мы коснемся в следующем разделе (см. 3.1).

Описание модели в предыдущей главе уже подсказало отчасти, какие данные нужны для ее применения. По техническим причинам наиболее удобно вводить данные в ЭВМ в виде таблиц или функций накопленных частот событий. Далее, в разделах 3.2—3.6, приведено описание различных входных данных и того, как они должны быть видоизменены для применения в модели.

#### 3. 1. Демографический переход на примере населения Швеции

Перед тем как характеризовать различные входные данные, желательно дать некоторое представление о том, как происходил демографический переход в Швеции. Мы покажем также, с помощью несложных вычислений, каким образом некоторые из показателей рождаемости существенно изменяются в зависимости от изменения характера брачности. Тем самым будут объяснены некоторые причины, побудившие нас выбрать для применения в модели именно данные по Швеции.

Швеция — одна из очень немногих стран мира, располагающая достоверными статистическими данными о населении, охватывающими весь период демографиче-



ского перехода. Непрерывные ряды демографических данных относительно возрастного-полового состава населения, смертности и рождаемости имеются с середины XVIII века. Кроме того, с середины XIX века стали собираться и публиковаться данные о распределении населения по возрасту, полу и брачному состоянию вместе. Для предыдущих лет (1750—1860) приближенные исчисления таких распределений были выполнены шведским статистиком Густавом Зундбергом (Sundbärg). С середины XIX века мы располагаем также сведениями о брачности.

Развитие населения Швеции можно представить по следующим подпериодам.

1. В течение XVIII века, вплоть до 1810 г., коэффициент рождаемости и коэффициент смертности колебались приблизительно одинаково: первый — вокруг уровня 35‰, второй — вокруг уровня 30‰; коэффициент естественного прироста составлял приблизительно 5‰. Фактический среднегодовой прирост населения оставался близким к этой величине, поскольку миграция была незначительной.

2. В течение периода 1810—1870 гг. коэффициент рождаемости оставался на том же уровне, однако коэффициент смертности начал снижаться. В результате этого коэффициент естественного прироста увеличился до уровня, несколько превышающего 10 ‰. Фактический прирост населения, однако, остался почти на том же уровне благодаря сильной миграции в течение последней части этого периода.

3. С 1870 г. тенденцию к снижению обнаружил также коэффициент рождаемости. Примерно к 1920 г. он достиг 20‰. Коэффициент смертности продолжал снижаться и в том же году составил около 15‰. Коэффициент естественного прироста в сравнении с предыдущим периодом несколько уменьшился — до 8‰. Миграция снизила общий коэффициент прироста до величины, лишь не намного превышающей 6‰.

4. С 1920 г. и в последующие годы тенденция коэффициента смертности к снижению не прекратилась, однако сейчас он стабилизировался на уровне приблизительно 10‰. Колебания коэффициента рождаемости были гораздо большими — от минимального уровня ниже 14‰ в 1934 г. до максимального выше 20‰ в 1944 г. Сейчас он колеблется на уровне около 15‰.

Рассматривая демографический переход в Швеции, необходимо указать на три важных обстоятельства:

1) время, в течение которого коэффициент смертности достиг современного низкого уровня, было весьма долгим—почти 150 лет. В наши дни снижение смертности в некоторых развивающихся странах происходит гораздо более быстрыми темпами;

2) как смертность, так и рождаемость стали снижаться, начиная с умеренного их уровня. Ни в одном из пятилетних периодов после 1750 г. коэффициент рождаемости в Швеции не превосходил 35‰, за исключением 1751—1755 и 1821—1825 гг., и население увеличивалось очень медленно — в среднем на 0,7‰ в год;

3) хотя разница между коэффициентом рождаемости и коэффициентом смертности достигла высшей точки в середине XVIII века, эмиграция уменьшала темпы роста населения, так что общий коэффициент прироста населения оставался почти на том же уровне, что и раньше.

Высказывались соображения о том, что общая модель демографического перехода нереалистична и что несправедливо также не учитывать различия в потенциале роста, присущие разным стадиям перехода и соответствующие, скажем, начальному значению валового коэффициента воспроизводства 3,5 по сравнению с его значением 2,5. Это, разумеется, справедливо, однако при одном и том же уровне брачной рождаемости можно получить множество уровней как коэффициента рождаемости, так и валового коэффициента воспроизводства (ВКВ), просто изменяя характер брачности. Если пренебречь внебрачной рождаемостью, то ВКВ получается как средняя из возрастных коэффициентов брачной рождаемости ( $f_x$ ), взвешенная долями замужних женщин в различных возрастных группах ( $p_x$ ):

$$\text{ВКВ} = q \cdot \sum f_x p_x, \quad (3.1)$$

где  $q$  — соотношение полов при рождении.

В табл. 3.1 приведены доли замужних по пятилетним возрастным группам для населения нескольких стран, возрастные коэффициенты брачной рождаемости для Швеции до 1870 г. и соответствующие ВКВ. На основании специального коэффициента брачной рождаемости ( $G$ ) можно также вычислить общий коэффициент рождаемости с помощью следующего соотношения:

$$b = p_{15-49}^m \cdot G, \quad (3.2)$$

Таблица 3.1

Коэффициенты брачной рождаемости, доли замужних и соответствующие валовые коэффициенты воспроизводства населения

Возраст, лет	Коэффициенты брачной рождаемости* $f_x(5)$	Доля замужних ( $p_x(5)$ в %) в каждой возрастной группе				
		Швеция			Индия, 1961 г.	Маврикий, 1962 г.
		1970 г.	1934 г.	1963 г.		
20—24	457	17	21	43	92	68
25—29	375	45	49	78	94	83
30—34	319	64	64	85	91	85
35—39	239	72	69	86	87	85
40—44	135	74	70	84	78	79
45—49	26	72	68	82	70	71
ВКВ**		1,81	1,87	2,68	3,40	2,98

\* В качестве коэффициентов «неограничиваемой» брачной рождаемости взяты меданные значения когортных коэффициентов для Швеции, относящиеся к когортам 1731/35—1851/55 годов рождения.

\*\* Вычислены по формуле  $ВКВ=5 \cdot q \cdot \sum f_x(5) \cdot p_x(5)$ , где  $q=0,4878$ .

где  $p_{15-49}^m$  — доля во всем населении замужних женщин в возрастах 15—49 лет.

В табл. 3.2 показаны специальные коэффициенты брачной рождаемости в Швеции для отдельных периодов, доли замужних в населении некоторых других стран и общий коэффициент рождаемости, вычисленный в соответствии с только что приведенным соотношением. В начале этой главы затрагивался вопрос о том, насколько общий характер имеют данные, примененные в модели. Из табл. 3.1 и 3.2 видно, что при одинаковых исходных данных можно получить множество различных показателей роста. Таким образом, по-видимому, и статистическими данными для населения Швеции можно воспользоваться в первом приближении для изучения общей схемы демографического перехода.

### 3. 2. Смертность

Смертность в модели была представлена таблицами смертности населения Швеции для 1963 г. Эти таблицы дают значение ожидаемой продолжительности

Таблица 3.2

Специальные коэффициенты брачной рождаемости, доля замужних и соответствующие общие коэффициенты рождаемости

Годы	Фактические коэффициенты для Швеции		Доля замужних в возрастах 15—49 лет, %			
	специальный коэффициент брачной рождаемости*	общий коэффициент рождаемости	Мексика, 1960 г.	Индия, 1961 г.	Маврикий, 1962 г.	Венесуэла, 1963 г.
			14,1	19,3	15,1	12,6
общий коэффициент рождаемости						
1751—1800	251	34	35	48	38	32
1801—1850	255	32	36	49	39	32
1851—1900	263	30	37	51	40	33
1801—1810	242	31	34	47	37	30
1851—1860	272	33	38	52	41	34

\* Общее число детей, рожденных живыми в браке, деленное на среднее годовое число замужних в возрастах 15—49 лет.

жизни при рождении 71, 56 года для мужчин и 75, 63 года для женщин. Если в качестве корня таблицы взять  $l_0 = 1000$  для женщин и  $l_0 = 1069$  для мужчин, то получим стационарное возрастное распределение по пятилетним возрастным группам, приведенное в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Возрастное распределение стационарного населения по пятилетним возрастным группам. Таблицы смертности населения Швеции 1963 г. Корень таблицы для мужчин 1069, для женщин 1000

Возраст, лет $x, x+4$	$L_x^F$ (5)	$L_x^M$ (5)	Возраст, лет $x, x+4$	$L_x^F$ (5)	$L_x^M$ (5)
0—4	4 930	5 246	55—59	4 549	4 631
5—9	4 918	5 228	60—64	4 363	4 302
10—14	4 913	5 217	65—69	4 049	3 825
15—19	4 904	5 202	70—74	3 544	3 158
20—24	4 891	5 172	75—79	2 781	2 294
25—29	4 880	5 144	80—84	1 805	1 346
30—34	4 862	5 113	85—89	859	570
35—39	4 840	5 076	90—94	262	149
40—44	4 811	5 026	95— $\omega$	40	21
45—49	4 755	4 949			
50—54	4 674	4 829	0— $\omega$	75 630	76 498

Функция дожития в таблице смертности содержит необходимые данные непосредственно в том виде, в каком они нужны для ввода в ЭВМ, и никаких дополнительных вычислений не нужно. При вычислениях по модели для обоих полов применялась таблица смертности женщин. Разница в смертности мужчин и женщин учитывалась перед применением этой функции путем добавления к возрасту мужа некоторой положительной константы. Предполагалось также, что смертность замужних и незамужних одинакова.

### 3. 3. Брачность

#### 3.3.1. ПЕРВЫЕ БРАКИ

При дальнейшем применении модели предполагается, что все входные данные будут представлены в виде функций. Иными словами, теперешний «числовой ввод» будет заменен «функциональным вводом». Сейчас ведутся исследования по разработке соответствующих функций для всех входных переменных, однако функция, представляющая брачность, уже сейчас может быть применена в настоящей модели. Эта функция выводится следующим образом.

Пусть  $v_x$  будет «силой брачности». Тогда справедливо хорошо известное соотношение

$$O_x = e^{-\int_0^x v_t dt} \approx e^{-\sum_0^{x-1} n_t}, \quad (3.3)$$

где  $O_x$  — доля женщин, еще никогда не вступавших в брак к точному возрасту  $x$ , и  $n_x$  — возрастные коэффициенты брачности. Таким образом,  $O_x$  вычисляется безотносительно к смертности. Распределение первых браков по возрасту вступления в брак дается выражением

$$W_x = v_x \cdot O_x = O_x - O_{x+1}. \quad (3.4)$$

Теперь задача заключается в том, чтобы найти математическую функцию, которая достаточно точно описывала бы значения  $O_x$  (или  $W_x$ ). Были испробованы различные функции. Наилучшее согласие с фактическими данными было получено, когда изменение доли женщин, никогда не состоявших в браке к точному возрасту  $x$ , ( $O_x$ ), было представлено логистической функцией.

В данном случае была применена логистическая функция вида

$$y(x) = \frac{A + Be^{h(x-T)}}{1 + e^{h(x-T)}}, \quad (3.5)$$

где  $A$  и  $B$  — ординаты и асимптоты,  $T$  — абсцисса точки перегиба и  $k$  — постоянная, зависящая от степени вариации  $y(x)$  в соответствии с дифференциальным уравнением

$$y'(x) = k \frac{(y-A)(B-y)}{B-A}. \quad (3.6)$$

Логистическая функция симметрична относительно точки перегиба, и для того, чтобы получить скошенное распределение по возрасту вступления в брак, применялась только часть кривой. Согласно кривой с фактическими данными оказалось достаточно хорошим, чтобы оправдать ее применение для вычислений. В табл. 3.4 представлены возрастные коэффициенты брачности для Швеции за 1963 г., а в табл. 3.5 фактическое распределение по возрасту вступления в брак сравнивается с распределением, полученным с помощью этой функции.

Из корреляционной таблицы возрастов при вступлении в первый брак мужчин и женщин было получено простое уравнение линейной регрессии вида

$$\bar{y}_{x_i} = a + b \cdot x_i. \quad (3.7)$$

На основании распределения первых браков по возрасту мужей и жен для Швеции за 1963 г. были получены следующие значения параметров этого уравнения:

$$a = 6,00,$$

$$b = 0,893.$$

Разумеется, эта методика не вполне удовлетворительна, однако для первого раза она была сочтена приемлемой. На следующем этапе работы над моделью предполагается ввести распределение мужей по возрасту при вступлении в брак вокруг средних значений возраста их жен,  $\bar{y}_{x_i}$ .

### 3.3.2. ПОВТОРНЫЕ БРАКИ

В соответствии с предпосылками, упомянутыми в гл. 2, предполагалось, что каждая женщина может вступить в повторный брак только один раз. Вероятности

Таблица 3.4

Возрастные коэффициенты брачности для первых ( $n_x$ ) и повторных ( $n'_x$ ) браков и доли состоявших в браке в прошлом среди всех когда-либо состоявших в браке ( $p_x$ ). Швеция, 1963 г.

Возраст, лет	$n_x$	$n'_x$	$p_x$	Возраст, лет	$n_x$	$n'_x$	$p_x$
15—19	35	207	0,0028	35—39	39	72	0,0554
20—24	180	267	0,0143	40—44	22	40	0,0744
25—29	176	196	0,0270	45—49	12	24	0,0980
30—34	82	119	0,0405				

Таблица 3.5

Сравнение фактических показателей брачности с вычисленными по логистической функции

Возраст, лет $x, x+4$	Коэффициент брачности, ‰ $n_x, x+4$	Доля достигших возраста $x$ и еще не состоящих в браке ( $O_x$ )		Доля вступающих в брак в возрастном интервале $x, x+4$	
		фактическая*	вычисленная**	фактическая	вычисленная
15—19	35	1 000	1 000	161	218
20—24	180	839	782	498	358
25—29	176	341	424	199	255
30—34	82	142	169	48	94
35—39	39	94	75	17	26
40—44	22	77	49	8	7
45—49	12	69	42	4	2
50—54	2	65	40		

\* В соответствии с отношением  $O_x = e^{-5 \sum_{t=15}^{x-5} n_t, t+4}$ .

\*\* По логистической функции

$$O_x = 1000 \cdot \frac{1,10 + 0,04 \cdot e^{0,2827(x-23,0)}}{1 + e^{0,2827(x-230)}}$$

повторных браков были получены на основании чисел, лиц, состоявших в браке в прошлом, но не состоящих в браке теперь, в определенных точных возрастах; эти числа установлены с помощью соотношения

$$S_x = e^{-\sum_{t=0}^{x-1} n_t} \quad (3.8)$$

где  $n'_x$  — повозрастные коэффициенты повторных браков (см. табл. 3.4).

### 3. 4. Развод

В этой первой попытке применения модели вероятности развода были дифференцированы только по продолжительности брака. Официальная статистика Швеции дает сведения о сокращении численности брачных когорт вследствие разводов, и эти сведения были положены в основу вычисления требуемых вероятностей (табл. 3.6).

### 3. 5. Рождаемость

Данные о брачной рождаемости были получены на основании коэффициентов рождаемости по возрасту и по продолжительности брака для последних лет (табл. 3.7). Эти коэффициенты были преобразованы с тем, чтобы получить среднее число детей, рожденных живыми, вплоть до конца репродуктивного периода, женщинами, вступившими в брак в отдельных возрастах. Полученные таким образом данные (табл. 3.8) сравнивались с соответствующими данными переписи населения 1960 г. После некоторого округления данных в первом из сравниваемых рядов было получено путем простой линейной интерполяции распределение женщин по возрасту при вступлении в брак и числу рожденных детей.

Что касается внебрачной рождаемости, то учитывалась лишь возможность иметь вне брака только одного ребенка. Предполагалось, что это рождение происходит в течение периода, предшествующего вступлению в брак. Для вычисления вероятностей внебрачных рождений имелись только возрастные коэффициенты. Поскольку результаты специального исследования еще не были получены, для вычислений принимались эти коэффициенты, просто преобразованные в вероятности.

Временные интервалы между вступлением в брак и первым рождением и между следующими рожденьями были определены по данным специального исследования. Распределение интервалов по продолжительности в целых годах было получено на основании более подробного распределения их в месяцах. Распределение интервалов между вступлением в брак и первым рождением живого ребенка было, далее, разделено на две части, одна



Таблица 3.6

Вероятности развода по продолжительности брака  
Швеция, 1960, 1961 гг.

Продолжительность брака (в годах)	Вероятность развода, ‰	Продолжительность брака (в годах)	Вероятность развода, ‰	Продолжительность брака (в годах)	Вероятность развода, ‰	Продолжительность брака (в годах)	Вероятность развода, ‰
0	0,5*	7	10,0	13	6,6	20	4,5
1	4,0	8	9,0	14	6,3	21	4,2
2	10,0	9	8,5	15	6,0	22	3,9
3	12,6	10	8,0	16	5,7	23	3,6
4	13,0	11	7,5	17	5,4	24	3,3
5	12,6	12	7,0	18	5,1	25	3,0
6	11,0			19	4,8		

\* Показатель получен расчетным путем.

Таблица 3.7

Коэффициенты брачной рождаемости по возрасту матери и продолжительности брака, ‰. Швеция, 1961—1963 гг.

Продолжительность брака (в годах)	Возраст матери при рождении ребенка, лет						
	15—19	20—21	25—29	30—34	35—39	40—44	45—49
0—4	520	297	237	192	128	52	3
5—9		141	127	105	67	23	3
10—14			70	56	38	15	1
15—19				37	25	10	1
20—					21	7	1
Все браки	520	267	177	97	44	12	1

из которых представляла распределение для вступивших в брак до 20 лет, а другая — для вступивших в брак в 20 лет и позже (табл. 3.9).

### 3. 6. Нуль-стабильное женское население по возрасту и брачному состоянию

Население, составившее основу модели, было получено следующим путем. Первый шаг состоял в вычислении на основании возрастных коэффициентов брач-

Распределение браков по числу детей\*

Возраст при вступлении в брак, лет	Среднее число детей	Доля браков с числом детей, %					
		0	1	2	3	4	5
19	2,50	10	15	25	25	15	10
22	2,20	15	18	25	22	14	6
27	1,80	20	24	25	20	9	2
32	1,20	30	35	25	6	3	1
37	0,60	64	20	10	4	2	
42	0,20	88	6	4	2		
47	0,02	98	2				

\* Число детей, рожденных в течение брачной жизни к концу репродуктивного периода, по отдельным возрастам матери при вступлении в брак. Распределения построены так, чтобы они соответствовали оценкам средних чисел детей для Швеции в 1960—1963 гг.

Таблица 3.9

Процентное распределение интервалов между рожденьями.  
Оценки.

Интервал (в годах)	Интервал между вступлением в брак и первым живорождением (0—1) для вступивших в брак		Интервал между последовательными живорождениями (1—2, 2—3 и т. д.)
	до 20 лет	в 20 и более лет	
0	55	25	0
1	35	35	15
2	8	20	30
3	2	12	24
4		7	16
5		1	10
6			5
Средняя	0,57	1,44	2,91

ности стационарной совокупности не состоящих в браке по хорошо известным формулам:

$$O_x = e^{-\sum_{t=0}^{x-1} n_t} \quad (3.9)$$

$$\text{и} \quad O_x = \frac{(O_x + O_{x+1})}{2} \quad (3.10)$$

Смертность учитывалась с помощью следующего выражения:

$$W_x \approx O_x \cdot L_x, \quad (3.11)$$

где  $L_x$  — все лица возраста  $x$  в стационарном населении. Наконец, число женщин, когда-либо состоявших в браке,  $L_x - W_x$ , распределялось на две группы — замужних в настоящее время и бывших замужем в прошлом — на основании доли  $p_x$  бывших замужем в прошлом в группе (замужние + бывшие замужем в прошлом) в фактическом населении:

$$F_x = p_x (L_x - W_x) \quad (3.12 \text{ а})$$

$$\text{и} \quad G_x = (1 - p_x) (L_x - W_x). \quad (3.12 \text{ б})$$

Распределение нуль-стабильного населения по возрасту и брачному состоянию представлено в табл. 3.10.

Применение коэффициентов рождаемости к стационарному возрастному распределению дало чистый коэффициент воспроизводства для состоящих в браке 0,961 и для не состоящих в браке 0,124, или же  $R_n = 1,085$ .

Примерно две трети детей, родившихся вне брака, позднее переходят в категорию брачных (легитимизируются) главным образом вследствие оформления брака их биологическими родителями, но некоторые из них также в результате вступления матери в брак с другим мужчиной и последующего усыновления им внебрачного ребенка. Если считать этих детей родившимися не вне брака, а до брака, то чистый коэффициент воспроизводства для состоящих в браке станет равным 1,044 и для не состоящих в браке — 0,041.

#### 4. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИИ МОДЕЛИ

Для проверки качества модели был проведен ряд испытаний ее. Каждое испытание состояло из серии имитации различного объема (200 — 400 семей). Эти серии испытаний преследовали двоякую цель: во-первых, выяснить, «работает» ли модель как таковая, т. е. дает ли применение модели для конкретных расчетов осмысленные лабильные результаты, и, во-вторых, исследовать вариацию результатов серий имитации рав-

Нуль-стабильное женское население по возрасту  
и брачному состоянию

Возраст, лет $x, x+4$	$L_x(5)$	$W_x(5)$	$F_x(5)$	$G_x(5)$
17—19	2 941	2 769	0	172
20—24	4 891	2 792	31	2 068
25—29	4 880	1 022	113	3 745
30—34	4 862	548	181	4 133
35—39	4 840	409	253	4 178
40—44	4 811	355	330	4 126
45—49	4 755	324	430	4 001

$W_x(5)$  — никогда не состоявшие в браке;

$F_x(5)$  — состоявшие ранее, но сейчас не состоящие в браке;

$G_x(5)$  — состоящие в браке;

$L_x(5)$  — все население;  $L_x(5) = W_x(5) + F_x(5) + G_x(5)$ .

ного объема и установить, как влияет увеличение объема на случайные колебания, что представляет особый интерес для определения оптимального объема дальнейших серий имитации.

Проведенные до сих пор серии испытаний неизменно основывались на одном и том же наборе входных данных (см. гл. 3). Результаты отдельных серий имитации, как было упомянуто в гл. 2, подытоживались специальной машинной программой и выводились на печать в виде таблиц. Однако здесь будут представлены только некоторые из полученных выходных переменных, в частности те, которые относятся к брачности и рождаемости.

### 1. Брачность

В табл. 4.1 представлено распределение браков по возрасту вступления в брак, полученное при применении модели. В этой таблице оно сравнивается также с гипотетическим распределением. Согласие между двумя распределениями оказалось достаточно хорошим, и проверка по критерию  $\chi^2$  показала, что различия между ними можно считать несущественными.

В этом контексте можно произвести сравнение между исходным нуль-стабильным населением и населени-

Доля еще не бывших замужем к точному возрасту  
и распределение по возрасту вступления в брак  
по логистической функции (А) и полученное по модели (Б)

Возраст, лет $x, x+4$	Доля еще не бывших замужем к точному возрасту		Доля вступающих в брак в возрастном интервале $x, x+4$	
	А	Б	А	Б
17—19	1 000	1 000	165	175
20—24	835	825	382	385
25—29	453	440	273	265
30—34	180	175	100	100
35—39	80	75	28	32
40—44	52	43	7	3
45—49	45	40	2	2

ем, полученным по модели. Такое сравнение показывает, что две основные группы — женщины, никогда не состоявшие в браке, и женщины, состоявшие когда-либо в браке, — воспроизводятся моделью почти без погрешностей, что вполне естественно, поскольку смертность низка. Однако если из группы состоявших когда-либо в браке (т. е. состоящих в браке, вдовых и разведенных — *Пер.*) выделить женщин, состоявших в браке в прошлом, но теперь незамужних, то результаты оказываются гораздо менее удовлетворительными. Объяснение этого кроется в том факте, что при выводе гипотетического населения применялись фактически наблюдавшиеся доли бывших замужем в прошлом среди бывших замужем в прошлом и замужних вместе. В модели же эта группа выделялась по показателям риска прекращения брака. Эти расхождения следует считать не дефектами, допущенными при построении модели, а, скорее, примером трудностей, возникающих при преобразовании наблюдаемых частот во входные данные для расчетов по модели.

## 2. Рождаемость

Выходные переменные, относящиеся к рождаемости, которые представлены далее, — это число детей в каждой семье, интервалы между рождениями живых детей и возрастные коэффициенты рождаемости.

Процентное распределение интервалов между рожденьями  
на основании имитации объемом в 2000 семей

Интервал (в годах)	Интервал между вступлением в брак и первым живорожде- нием (0-1) для вступивших в брак		Интервал между последовательными живорождениями (1-2, 2-3 и т. д.)
	до 20 лет	в 20 лет и более	
0	59	25	
1	33	37	15
2	6	16	28
3	2	13	25
4		8	16
5		1	12
6			4
Σ	100	100	100
Общее число ин- тервалов	306	1 365	2 362
Средняя	0,51	1,45	2,96

В табл. 4.2 приведены распределения интервалов между вступлением в брак и первым рождением и между последующими рожденьями. Согласно с ожидаемыми распределениями оказалось очень хорошим (ср. с табл. 3.9).

Распределение по возрасту при вступлении в брак и числу детей, рожденных женщинами, еще состоявшими в браке к концу репродуктивного периода, показано в табл. 4.3. При сравнении этого распределения с ожидаемыми значениями оно представлено средними величинами (средним числом детей) для каждого возраста при вступлении в брак. Между этими средними и гипотетическими средними не ожидалось очень хорошего согласия, поскольку распределения интервалов, примененные для определения возрастов при рождении ребенка, были получены независимо от среднего числа детей. Однако упомянутое ранее сравнение обнаружило приемлемое согласие, за исключением старших возрастов, где благодаря меньшему числу браков, заключенных в этих возрастах, распределение испытывает более заметное влияние случайных колебаний.

Таблица 4.3

Распределение браков по возрасту при вступлении в брак и числу детей. Женщины, еще состоящие в браке к концу репродуктивного периода

Возраст вступления в брак, лет	Число браков	из них с числом рожденных детей						Средняя
		0	1	2	3	4	5	
17—19	302	41	50	54	87	48	22	2,39
20—24	583	85	116	133	146	53	50	2,20
25—29	413	67	68	119	117	28	14	2,03
30—39	265	87	38	93	33	14		1,43
40—49	87	87						0,00
Σ	1 650	367	272	399	383	143	86	1,95

Указанные ранее обстоятельства касаются также и возрастных коэффициентов брачной рождаемости, представленных в табл. 4.4. Весьма трудно установить с полной достоверностью, какие коэффициенты рождаемости соответствуют средним числам детей, примененным в модели. Тем не менее сравнение с соответствующими коэффициентами рождаемости для Швеции в 1963 г. показало их близкое сходство.

Делая общий вывод, можно сказать, что результаты, полученные при этих первых испытаниях модели, вполне приемлемы и что в целом они показали хорошее согласие с ожидавшимися значениями. Вследствие весьма ограни-

Таблица 4.4

Сравнение возрастных коэффициентов брачной рождаемости, полученных по модели (А) и наблюдавшихся в Швеции в 1963 г. (Б)

Возраст, лет	Коэффициенты рождаемости, ‰		Возраст, лет	Коэффициенты рождаемости, ‰	
	А	Б		А	Б
17—19	517	522	35—39	44	44
20—24	281	275	40—44	9	12
25—29	193	183	45—49	0	1
30—34	111	99			

ченной памяти ЭВМ, применявшейся до сих пор в этих испытаниях, результаты оказались до некоторой степени подверженными влиянию случайных колебаний, слишком значительных, чтобы допустить их в будущих применениях модели. Однако они могут быть устранены, если проводить расчеты на более совершенной ЭВМ.

## 5. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Относительно дальнейшей работы с моделью можно высказать следующие соображения.

1. В данном отчете отражены лишь некоторые результаты, полученные при произведенных до сих пор сериях имитации. Причины этого были указаны во вступлении, но, кроме того, эти серии испытаний рассматривались просто как средство опробования модели. Дальнейшая работа предусматривает дополнительные серии имитации, относящиеся как к условиям низкого уровня, так и к условиям высокого уровня. Предполагается провести также ряд серий имитации для промежуточного уровня демографического развития, прежде чем вносить изменения в модель с целью преобразовать ее в полностью динамическую модель. Такие изменения будут касаться «функционализации» всех входных переменных, т. е. они будут представлены как функции времени.

2. Изложенные здесь результаты показывают, что серии имитации должны иметь весьма большой объем (более чем 400 семей). Это обусловлено тем, что возраст при вступлении в брак определяется в модели и что поэтому в старших возрастах оказывается относительно меньше заключенных браков, чем в младших.

3. Из демографических переменных до сих пор не была включена в модель только миграция. Это будет сделано на последующих этапах работы над моделью. Однако некоторые из переменных, уже включенных в модель, трактовались весьма приближенно. В частности, это относится к разводам, повторным бракам и внебрачной рождаемости. Этот факт побудил начать специальное исследование разводов — их зависимости от возраста вступления в брак, различий в возрастах мужа и жены, числа детей и т. д.

4. На той ЭВМ, которая сейчас применялась, большие практические трудности были связаны с получением совершенно нового набора случайных чисел для каждой



серии имитации. Однако этого не случится, когда можно будет воспользоваться новой ЭВМ. Тогда окажется возможным также производить столь большие серии имитации, что они, в свою очередь, позволят сократить случайную вариацию. Расхождения между сериями имитации одинакового объема оказались незначительными, что очень упростит дальнейшие применения модели.

5. Параллельно с работой по улучшению входных данных должно быть проведено новое исследование старых данных о населении Швеции, на основе которых развитие ее населения может быть подвергнуто более детальному анализу. Результаты этих исследований будут изложены позднее в специальном отчете.

*Ингвар Холмберг*

## ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ. ДМ 4

Ingvar Holmberg. Demographic Models. DM 4. Foreword by Hannes Hyrenius. Göteborg, 1968 (Demographic Institute. University of Göteborg, Sweden. Reports, № 8)

### 1. ВСТУПЛЕНИЕ

Некоторое время тому назад в серии отчетов Демографического института Гетеборгского университета под названием «Демографические модели. ДМ 3» было представлено описание демографической модели совершенно нового типа\*. Это был один из первых этапов в разработке более строгой модели, предназначенной в качестве инструмента исследования для оценки эффектов изменения в факторах, определяющих рост населения. Исследование имеет цель изучить влияние планирования семьи и программ здравоохранения на население в масштабе страны в целом и ее частей, а также улучшить методы перспективных исчислений населения.

В первом отчете внимание было сосредоточено главным образом на логическом обосновании модели и были представлены лишь немногие результаты ее испытания. В гл. 3 мы приводим некоторые комментарии к общей схеме модели и краткое резюме результатов, полученных при первых ее испытаниях. В данном отчете основное внимание сконцентрировано на результатах применения модели. Эти результаты могут рассматриваться как продолжение и расширение предыдущих ее испытаний; они были получены при различных уровнях

---

\* Упомянутый отчет напечатан в этом сборнике (с. 14—41), и поэтому некоторые части данной работы, повторяющие его содержание, опущены.— *Примеч. пер.*

смертности, брачности и рождаемости. Применявшиеся входные данные описаны в гл. 2.

Рассматриваемые здесь серии испытаний объединены в две группы в соответствии с уровнями входных данных. Результаты применения модели, касающиеся условий низкого уровня, т. е. низкой смертности и низкой рождаемости, представлены в гл. 4, а относящиеся к условиям высокого уровня — в гл. 5. Для того чтобы получить некоторое представление о пригодности модели для описания перехода от высокого уровня к низкому, был проведен ряд испытаний, касающихся различных промежуточных состояний. Их результаты представлены в гл. 6.

## 2. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ

В предыдущем отчете был детально описан порядок получения входных данных для испытания модели в условиях низкого уровня демографических процессов. Как было в нем указано, основой для испытания модели послужили данные официальной статистики населения Швеции. Путем весьма несложных расчетов было показано, каким образом можно получить различные уровни некоторых демографических показателей. Был сделан также вывод о том, что применение статистических данных о населении для Швеции дало вполне реалистическую картину демографических изменений. Был упомянут и другой важный довод, а именно что Швеция — одна из очень немногих стран мира, которые имеют достаточно достоверные статистические данные о населении, охватывающие весь период демографического перехода.

Однако модель требует некоторых весьма специфических данных, которые очень трудно получить из официальных статистических источников. В таких случаях для того, чтобы иметь некоторые данные по крайней мере для испытания модели, оказалось необходимым прибегнуть к условной их реконструкции. В следующих разделах — с 2.1 по 2.3 — более подробно описаны входные данные и порядок их преобразования применительно к условиям высокого уровня и некоторых промежуточных состояний.

## 2. 1. Смертность

Данные относительно смертности имеются не ранее чем с середины XVIII века. Они включают совместные распределения смертей по возрасту, полу и причинам смерти по следующим возрастным группам: 0—1, 1—3, 3—5, 5—10, 10—15, ..., 85—90 и до  $\infty$ . Данные о смертности не подвергались никакой коррекции, для расчетов были взяты непосредственные данные. Поэтому в них должны были существовать некоторые неправильности, в частности в возрастном распределении. Для ввода в модель данные должны иметь вид функции дожития из таблиц смертности. Официальные таблицы смертности были построены и опубликованы для периода 1816—1840 гг. и затем для каждого следующего десятилетия. Шведский статистик И. Фритзель (Fritzell) построил таблицы смертности для двух более долгих периодов — 1751—1790 и 1791—1815 гг. Имеются также таблицы, построенные другими учеными, которые охватывают некоторые более короткие отрезки этих периодов. Для того чтобы дополнить имеющиеся сведения, а также получить сравнимые данные об изменении смертности за весь период с 1950 до 1960 г., для каждого пятилетнего отрезка этого периода таблицы смертности были построены специально. Для этого применялась особая машинная программа, вычислявшая, кроме полных таблиц смертности, также чистый и валовой коэффициенты воспроизводства и собственные коэффициенты естественного прироста (*intrinsic rates of natural increase*). Полные результаты этой работы будут изложены позднее в отдельном отчете этой серии.

Из результатов указанных ранее вычислений были выбраны пять\* уровней смертности, а именно:

Уровень	$l_{15}$	$e_0$	$e_{15}$	Примерная дата
1	0,5889	33,7	40,3	1750 г.
2	0,6908	39,5	41,2	1800 г.
3	0,7919	50,9	48,7	1885 г.
4	0,8973	61,0	52,7	1920 г.
5	0,9751	75,6	62,0	1963 г.

Примерные даты означают год, когда был достигнут данный уровень.

\* В оригинале шесть, однако в дальнейшем рассматриваются только 5 уровней смертности.— *Примеч. пер.*

## 2. 2. Брачность и разводимость

В то время как данные о смертности с самого начала статистического учета населения (речь идет о Швеции. — *Пер.*) были достаточно полными, с данными о брачности дело обстоит гораздо хуже. До 1801 г. первые браки не отграничивались от повторных; если для первых браков распределение по возрасту известно с 1830 г., то для повторных браков — лишь с 1870 г. Однако до 1880 г. эти статистические данные не вполне удовлетворительны, поскольку применялись лишь очень широкие возрастные интервалы, и только с этого года стали выделять пятилетние возрастные группы. В прошлом предпринимались некоторые попытки оценить уровень брачности за годы до 1801 г., но эти оценки неизбежно не вполне определены. Однако все же по ним можно сделать вывод, что уровень брачности с середины XVIII века до середины XIX века был весьма высоким и лишь после этого брачность начала снижаться, достигнув наиболее низкого уровня в 1930-х гг. В течение последних 30 лет брачность снова повышалась, и теперешний ее уровень, вероятно, выше, чем он был в течение XVIII века. На основе всех этих данных были разработаны четыре варианта уровня брачности. Для того чтобы оттенить крайние условия, были взяты еще два варианта брачности: один — очень низкий, другой — очень высокий, с возрастными коэффициентами брачности такими же, как на Ямайке\* и в Юго-Западной Африке. Было получено шесть вариантов уровня брачности:

Уровень	Доля никогда не состоявших в браке в возрасте 50 лет, $0_{50}$	Средний возраст при вступлении в брак
1	0,0000	22,2
2	0,0438	24,8
3	0,0961	26,4
4	0,1358	26,7
5	0,2060	26,6
6	0,4589*	31,8

Поскольку брачность сильно зависит от экономических и социальных условий, примерные годы, когда был достигнут тот или иной ее уровень, не указываются.

Относительно частоты повторных браков никаких подходящих данных для периода до 1870 г. найти не

\* Вероятно, учтены только юридически оформленные браки. — *Примеч. пер.*

удалось. Но даже и для последующего времени опубликованные данные мало пригодны для включения в модель. Некоторые сведения относительно общего уровня (повторной брачности.— *Пер.*) можно получить из приближенных вычислений, сделанных Г. Зундбергом (Sundbärg). Согласно его вычислениям, в течение второй половины XVIII века доля повторных браков в общем числе браков составляла около 13% и в среднем за период 1802—1805 гг., когда эта доля впервые стала известна, — около 12%. После этого частота повторных браков изменялась так же, как частота первых браков, однако самое раннее из известных снижений брачности было более выражено для повторных, чем для первых браков. Весьма вероятно, что здесь действовали также другие причины, например улучшение условий, влияющих на смертность. Увеличение доли повторных браков после 1935 г. явилось, в свою очередь, следствием роста числа разводов, поскольку разведенные женщины проявляют большую склонность к повторному браку, чем вдовы.

Для того чтобы иметь хоть какие-нибудь показатели частоты повторных браков для применения в модели, входные данные были получены на основании сегодняшней ситуации. На основе возрастных коэффициентов брачности для повторных браков было вычислено, какую долю среди разведенных или овдовевших женщин составляют те, кто не вступил в повторный брак через 5, 10, 15 и т. д. лет после прекращения первого брака. Путем снижения на постоянную величину вероятностей вступления в повторный брак, определенных по этим числам, были получены четыре уровня повторной брачности:

Уровень	Доля не вступивших в повторный брак через 35 лет после прекращения брака
1	0,0118
2	0,1527
3	0,2345
4	0,6131

По этим данным были приближенно оценены распределения вероятностей интервалов между моментом прекращения брака и моментом вступления женщины в новый брак. Таким образом, обе причины прекращения брака (овдовение и развод) рассматривались вместе.

Официальные данные относительно частоты разводов до 1831 г. полностью отсутствуют, и в те годы, с

которых началась публикация таких данных, эта частота была ничтожно малой. Кроме того, первые учетные документы статистики естественного движения населения не предусматривали вопроса о расторжении брака. Это можно считать подтверждением того факта, что в течение периода, предшествующего 1831 г., разводы были крайне редкими или практически не наблюдались.

После этого года отмечается постепенное нарастание частоты разводов. Если в среднем за 1831—1840 гг. она составила примерно 21 развод на 100 000 замужних женщин, то для периода 1961—1965 гг. соответствующий показатель составлял 491.

В данном примере испытания модели были применены те же показатели риска развода в зависимости от продолжительности брака, что и полученные ранее. Путем трехкратного снижения коэффициентов были получены четыре варианта этого показателя:

Уровень	Доля не расторгших брак после 35 лет брака
1	0,8260
2	0,8660
3	0,9330
4	0,9663

### 2. 3. Рождаемость

Статистика рождений была в Швеции той отраслью первоначальной статистики населения, которая, как и статистика смертности, всегда отличалась достаточной полнотой. Ежегодные данные о числе брачных рождений по возрасту матери имеются начиная с 1775 г., а начиная с 1868 г. есть соответствующие данные и о внебрачных рождениях. Г. Зундберг дополнил их сведениями для периода 1750—1774 гг. расчетным путем, опираясь на факт постоянства этих чисел.

Как уже упоминалось, показатели рождаемости, примененные при испытании модели, — это распределение женщин, еще состоящих в браке к концу репродуктивного периода, по числу детей в зависимости от возраста при вступлении в брак и от интервала между рождениями. Распределение получено на основании среднего числа детей для некоторых выбранных возрастов при вступлении в брак. Для вычисления этих средних нужно знать по крайней мере коэффициенты

рождаемости по возрасту матери и по продолжительности брака. Данные такого рода имеются только начиная с 1910 г., и для периода 1911—1934 гг. они были преобразованы в коэффициенты рождаемости по возрасту матери при вступлении в брак и по продолжительности брака, на основании которых можно было вычислить среднее число детей для соответствующих брачных когорт. Аналогичные расчеты очень легко можно было сделать и для следующих лет.

Для лет перед началом века можно проследить только изменение возрастных коэффициентов брачной рождаемости. Поскольку эти коэффициенты относятся к разным группам по продолжительности брака, полученное на их основе среднее число рожденных детей будет несколько искажено. Однако для проведенных до сих пор испытаний модели такое приближение сочли приемлемым.

Коэффициенты рождаемости были выбраны за несколько периодов так, чтобы представить различные этапы перехода от высокой к низкой рождаемости. Таким путем были получены шесть уровней; каждый уровень можно охарактеризовать средним числом детей, рожденных женщинами, вступившими в брак в возрастах 15—19 лет и еще состоящими в браке в возрасте 50 лет. Эти шесть уровней следующие:

Уровень	Среднее число детей	Уровень	Среднее число детей
1	8,73	4	5,03
2	7,73	5	4,16
3	6,45	6	2,50

Подходящих входных данных относительно внебрачной рождаемости для некоторых периодов практически не существует. Как упоминалось, распределение внебрачных рождений по возрасту матери было впервые установлено для 1868 г., однако, насколько можно судить по опубликованным итогам, число внебрачных детей имело тенденцию к повышению начиная с 1780-х гг.

Здесь было также применено распределение вероятностей внебрачных рождений, рассмотренное в предыдущем отчете\*; оно будет применяться до тех пор, пока не удастся собрать другие сведения об этих фактах.

\* См. в этом сборнике с. 32.—Примеч. пер.



Второй компонент данных о рождаемости в модели — это интервалы между рожденьями, в данном случае — интервал между браком и первым рождением (протогенетический интервал) и интервалы между последовательными рожденьями (интергенетические интервалы). О том, какими показателями характеризовалось в прошлом это явление в Швеции, ничего не известно, однако существуют данные исследований, относящиеся к условиям других стран. Эти сведения, а также некоторые данные для небольшой группы шведского населения в северо-западной части Балтийских провинций позволили построить распределения интервалов для высокого уровня. Еще два варианта были получены на основе весьма ограниченной шведской статистики в этой области. Таким путем были получены следующие четыре варианта, характеризующие средними значениями интервалов:

Уровень	Интервал между вступлением в брак и первым рождением для браков, заключенных в возрасте		Интервалы между последовательными рожденьями
	до 20 лет	20 лет и более	
1	1,36	1,58	2,24
2	1,68	2,71	3,22
3	1,07	1,94	3,41
4	1,62	2,06	3,74

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ

Настоящая модель описана со всеми подробностями в предыдущем отчете, где указаны также некоторые предположения, из которых исходили при ее конструировании. В нем были приведены некоторые результаты испытаний модели, в частности относительно брачности и рождаемости.

На основании этих результатов видно, во-первых, что модель «работает» в указанном ранее смысле и что при достаточно надежных входных данных оказывается возможным проделать некоторые схематические имитации роста населения. Во-первых, было установлено, что наиболее подходящий объем серии имитации определяется той переменной, которой придается наибольшее значение. Что касается брачности, то отличная согласованность между полученным в результате имитации и ожидаемым распределениями была достигнута уже при имитации объемом всего лишь в 200 семей. Выходные

данные относительно рождаемости показали бóльшую вариацию. Полученное распределение интервалов между рожденьями достаточно близко совпало с ожидаемым распределением, в то время как распределение браков по возрасту при вступлении в брак и по числу детей испытывало сильное влияние случайных пертурбаций, даже когда объем серии имитации был увеличен до 400 семей. Возрастные коэффициенты рождаемости (конечно, случайно) почти в точности совпали с фактическими коэффициентами, несмотря на условности при определении входных данных.

Со времени предыдущего отчета трансляция и адаптация упомянутой в нем машинной программы были закончены, и все представленные далее результаты получены на новой вычислительной машине (IBM 360/50).

Для настоящего испытания планировалась схема испытаний, сходная с примененной ранее. Превосходство новой вычислительной машины как в быстродействии, так и в мощности выяснилось почти тотчас же: имитация 400 семей потребовала только 4 минут, причем при больших сериях выигрыш был даже больше, например на 10 000 семей потребовалось только 30 минут. Вследствие этого объем испытываемых серий был увеличен до 4000 или 10 000 семей.

Анализируя результаты имитации, следует проводить различие между выходными переменными, непосредственно соответствующими входным, и теми, которые можно назвать производными выходными переменными.

Примером первых могут служить распределение по возрасту вступления в брак, среднее число детей для женщин, еще состоящих в браке к 50 годам и распределение интервалов между рожденьями; примером вторых — различные специальные и частные коэффициенты. Большой интерес при испытаниях модели представляют переменные первого рода, и поэтому именно они будут рассматриваться в следующих главах. Однако будут прокомментированы также и некоторые из переменных второго рода.

В данном контексте одна из главных проблем состоит в том, чтобы найти подходящую меру согласия между полученными при испытаниях модели и ожидаемыми распределениями. В качестве такой меры были в конечном счете выбраны так называемые коэффициенты Тейла (Theil):

$$T = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - y_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum x_i^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum y_i^2}}, \quad (3.1)$$

где  $0 \leq T \leq 1$ . Как можно видеть из формулы, на хорошее согласие указывают низкие значения  $T$ . Эта мера близости была применена для сравнения серий имитации разного объема и для изучения вариацы в сериях одинакового объема.

### 3. 1. Распределение по возрасту при вступлении в брак

Распределение по возрасту при вступлении в брак, полученное при имитации, и ожидаемое распределение сравниваются в табл. 3.1. В таблице приведены также распределение женщины на состоящих и не состоящих в браке к возрасту 50 лет, значения  $\chi^2$  и упомянутые ранее  $T$ -коэффициенты.

Таблица 3.1

Сравнение ожидаемого распределения по возрасту при вступлении в брак с распределениями, полученными в сериях имитации разного объема

Возраст при вступлении в брак, лет	Распределения в сериях имитации объемом в								Ожидаемое распределение	
	200		400		1 000		2 000	4 000		10 000
	(1)	(2)	(3)	(4) =(1)+(3) +(2)+(3)	(5)	(6) =(4)+(5)	(7)	(8)		
17—19	59	98	100	257	239	496	1 034	2 558	2 554	
20—24	99	202	195	496	475	971	1 914	4 854	4 822	
25—29	24	49	63	136	136	272	514	1 317	1 359	
30—34	5	17	14	36	50	86	163	382	374	
35—39	2	4	4	10	10	20	54	131	140	
40—44	0	6	3	9	9	18	27	55	70	
45—49	1	1	1	3	4	7	13	27	36	
Всего вступивших в брак	190	377	380	947	923	1 870	3 719	9 324	9 355	
Не вступивших в брак	10	23	20	53	77	130	281	676	645	
$\chi^2$	1,17	0,37	2,34	2,37	2,37	0,01	2,39	1,59		
$T (\times 100)$	4,2	2,6	2,1	1,3	2,0	0,97	0,84	0,51		

Сравнение ожидаемого среднего числа детей  
со средним числом детей,  
полученным в сериях имитации разного объема

Возраст матери при вступлении в брак, лет	Среднее, полученное в сериях имитации объемом $v$								Ожидаемая средняя
	200	400		1 000		2 000	4 000	10 000	
	(1)	(2)	(3)	$\frac{(4)-(1)-}{+(2)-(3)}$	(5)	$\frac{(6)-(4)+}{+(5)}$	(7)	(8)	
17—19	2,72	2,83	2,45	2,66	2,58	2,62	2,54	2,52	2,50
20—24	2,34	2,34	2,33	2,33	2,33	2,33	2,28	2,30	2,20
25—29	2,20	1,74	1,67	1,81	1,69	1,75	1,71	1,87	1,80
30—34	1,33	1,47	1,07	1,80	1,20	1,23	1,26	1,28	1,20
35—39	0,40	0,42	0,50	0,45	0,32	0,40	0,58	0,54	0,60
40—44	0,00	0,21	0,29	0,23	0,22	0,23	0,16	0,21	0,20
45—49	0,00	0,00	0,10	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
Средняя $T (\times 100)$	2,26 6,7	2,05 5,7	2,01 3,5	2,03 3,4	2,06 4,2	2,06 3,3	2,03 1,8	2,08 2,0	

Значения критерия  $\chi^2$  представляют собой меру расхождения в распределении женщин на состоящих и не состоящих в браке к 50 годам и, очевидно, незначимы. Эта мера, однако, не дает представления о расхождении распределений по возрастным группам: меру таких расхождений можно видеть в нижней строке таблицы, где помещены значения  $T$ -коэффициента. Они показывают отчетливую тенденцию к быстрому снижению при увеличении объема серии имитации. От величины 0,04 для серии имитации объемом в 200 и 0,02 для объема 400 они падают ниже 0,01 для серий, превосходящих 2000 семей. Значения критерия  $\chi^2$  не показывают такой тенденции. Для серий имитации, включающих 10 000 семей, значения  $T$  находятся между 0,005 и 0,008.

### 3. 2. Среднее число рожденных детей

Особенный интерес представляет среднее число детей, рожденных женщинами, еще состоящими в браке к возрасту 50 лет, поскольку при предыдущих испытаниях модели этот показатель обнаруживал большие случайные колебания. Сильные колебания можно

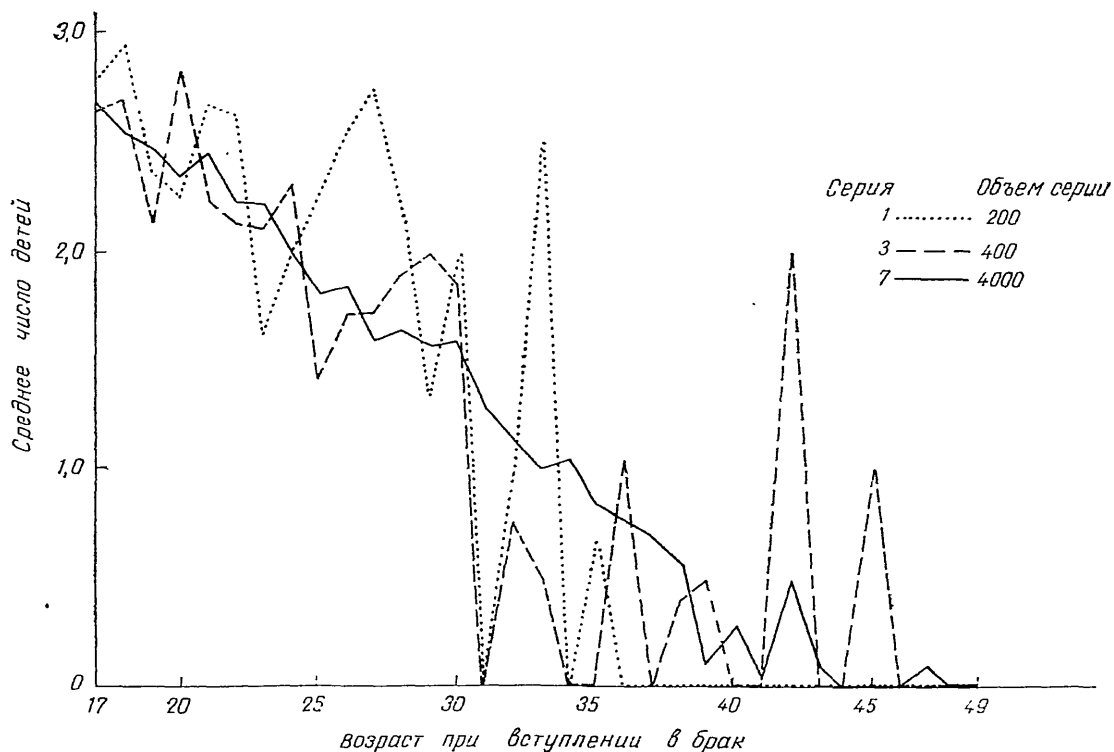


Рис. 1. Среднее число детей по возрасту женщины при вступлении в брак в сериях имитации разного объема

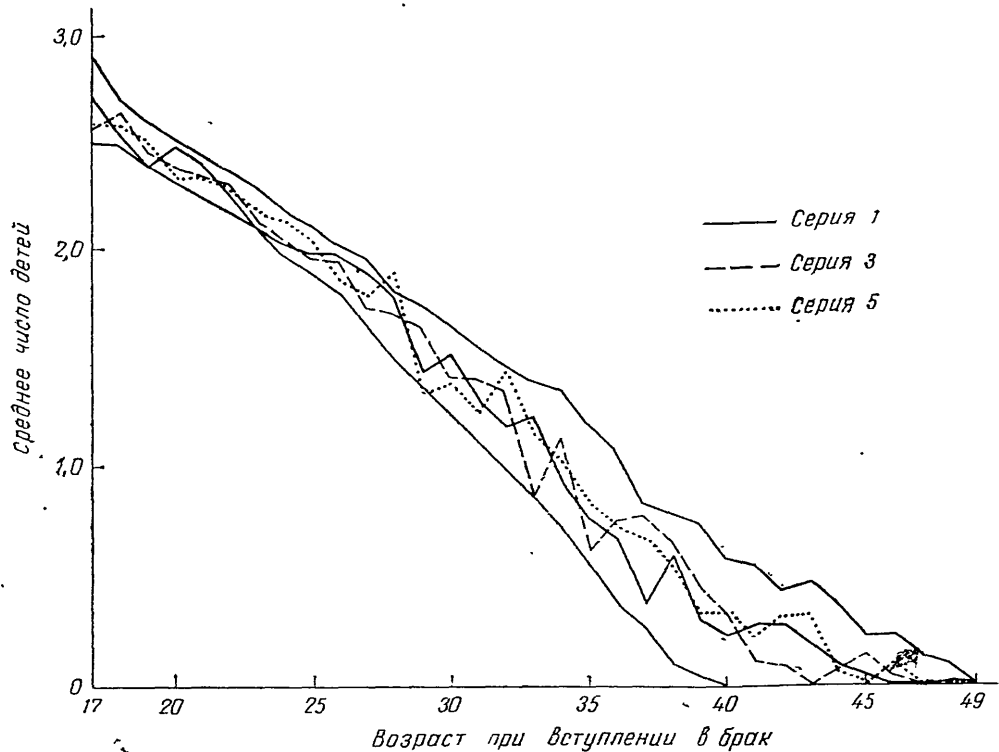


Рис. 2. Среднее число детей по возрасту женщины при вступлении в брак в сериях имитации одинакового объема и интервал, соответствующий  $\pm 2\sigma$

отметить и в данном случае, особенно в сериях меньшего объема, однако они быстро уменьшаются по мере увеличения объема серии имитации. В табл. 3.2 сравниваются ожидаемые средние числа детей с полученными путем имитации. Отчетливо видно, как увеличение объема серии имитации сказывается в улучшении согласованности распределений. Рис. 1 иллюстрирует эти распределения и большие колебания для малых серий; ясно видно также увеличение вариации в старших возрастах. Рис. 2 иллюстрирует вариацию в сериях имитации объемом в 10 000 семей. Ниже и выше каждой средней помещены значения ее удвоенной стандартной ошибки, которые образуют своего рода «доверительные границы». Наблюдаемая вариация вполне укладывается в эти границы, выходя из них лишь в редких случаях.

### 3. 3. Распределение интервалов между рожденьями

Распределение интервалов между рожденьями лишь в очень ограниченной мере подвержено случайным пертурбациям. Как можно видеть из табл. 3.3 и 3.4, даже в сериях меньшего объема обнаружена высокая степень согласия с ожидаемыми распределениями. Значения  $T$  не указывают какого-либо оптимального объема, но серии, большие чем 1000 семей, дают несколько лучшее согласие с ожидаемыми значениями.

### 3. 4. Возрастные коэффициенты<sup>1</sup>

В табл. 3.5 показаны возрастные коэффициенты брачности для первых браков, полученные по модели, и соответствующие коэффициенты для Швеции за 1963 г. Ввиду отличной согласованности, которую показали распределения по возрасту при вступлении в брак, было несколько удивительно обнаружить здесь расхождение, особенно в третьей возрастной группе, где оно составило 26%. Одно из объяснений этого может заключаться в следующем. Вычисление распределения по возрасту при вступлении в брак основывалось на фактических коэффициентах брачности. С их помощью были получе-

<sup>1</sup> Все дальнейшие результаты относятся к имитации объемом в 10 000 семей.

Таблица 3.3

Сравнение ожидаемого распределения протогенетических интервалов с распределениями, полученными в сериях имитации разного объема

Интервал (в годах)	Распределения интервалов, %, в сериях имитации объемом в								Ожидаемое распределение	
	200		400		1 000		2 000	4 000		10 000
	(1)	(2)	(3)	(4) =(1)+ +(2)+(3)	(5)	(6) =(4)+ +(5)	(7)	(8)		
А. В браках, заключенных в возрасте до 20 лет										
0	47	57	60	56	60	58	54	55	55	
1	40	30	36	35	32	34	36	35	35	
2	9	11	1	6	6	6	8	8	8	
3	4	2	3	3	2	2	2	2	2	
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Общее число интервалов	55	86	91	232	224	456	956	2 366		
Средняя T (×100)	1,20	1,09	0,99	1,07	1,00	1,04	1,09	1,07	1,07	
	7,7	4,4	6,0	1,2	4,4	2,6	1,2	0,42		
Б. В браках, заключенных в возрасте 20 лет и более										
0	27	22	27	25	26	25	24	25	25	
1	32	37	35	35	31	33	36	36	35	
2	20	17	20	19	24	22	21	20	20	
3	14	16	12	14	11	13	12	11	12	
4	4	7	6	6	7	6	6	7	7	
5	3	1	0	1	1	1	1	1	1	
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Общее число интервалов	119	256	235	610	605	1 215	2 430	6 102		
Средняя T (×100)	1,95	2,03	1,84	1,98	1,95	1,97	1,96	1,94	1,94	
	5,6	6,0	2,7	2,8	6,0	2,4	1,6	0,90		

ны числа женщин, еще не бывших замужем в точных возрастах 15, 20, 25 и т. д. лет. Когда последовательные разности чисел в этой таблице брачности были разделены на числа человеко-лет, прожитых в каждом возрастном интервале, были снова получены возрастные коэффициенты. На этот раз, однако, они были получены иным путем и, как можно ожидать, отличаются от предыдущих. Различие это оказалось наибольшим в самых



Таблица 3.4

Сравнение ожидаемого распределения интергенетических интервалов с распределениями, полученными в сериях имитации разного объема

Интервалы (в годах)	Распределения интервалов, %, в сериях имитации объемом в								Ожидаемое распределение
	200	400		1 000		2 000	4 000	10 000	
	(1)	(2)	(3)	(4) = (1) + + (2) + (3)	(5)	(6) = (4) + + (5)	(7)	(8)	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	17	15	17	16	14	15	15	15	15
2	32	32	28	31	29	30	31	31	30
3	24	24	23	23	24	24	23	24	24
4	12	16	17	16	17	16	15	15	16
5	10	9	9	9	11	10	11	10	10
6	5	4	6	5	5	5	5	5	5
$\Sigma$ Общее число интервалов	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Средняя $T(\times 100)$	290	523	478	1 291	1 192	2 483	4 929	12 487	3,41
	4,8	2,7	3,6	1,7	1,9	0,50	1,8	1,4	

молодых возрастах, где наиболее велики изменения в «силе брачности».

Полученные в соответствии с моделью возрастные коэффициенты брачной рождаемости показаны в табл. 3.6 вместе с соответствующими коэффициентами для Швеции за 1963 г. и коэффициентами, полученными при предыдущих испытаниях модели. Можно отметить интересный факт, а именно изменения как в уровне, так и в характере возрастного распределения коэффициентов по сравнению с первыми применениями модели. Они показывают, какую роль играет изменение входных вероятностей вступления в брак от весьма симметричного до более скошенного их распределения.

### 3. 5. Специальные коэффициенты и чистые коэффициенты воспроизводства

Более простая мера относительного числа «событий» получается, если отнести их к общему числу человеко-лет, прожитых в возрастном интервале

Таблица 3.5

Возрастные коэффициенты брачности для первых браков  
в сериях имитации одинакового объема (10 000 семей)  
и соответствующие коэффициенты для Швеции за 1963 г. (‰)

Возраст, лет	Коэффициенты, полученные при имитации						Швеция, 1963 г.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)*	всего	
17—19	96	98	95	95	95	95	100
20—24	207	205	208	207	201	205	180
25—29	151	144	154	153	148	150	176
30—34	75	73	72	70	64	71	82
35—39	33	32	33	36	32	33	39
40—44	16	23	21	18	18	19	22
45—49	8	15	10	11	9	10	12

\* Цифры 1—5 в этой и следующих таблицах означают номера пяти серий имитации одинакового объема.— *Примеч. пер.*

Таблица 3.6

Возрастные коэффициенты брачной рождаемости, полученные  
в сериях имитации одинакового объема (10 000 семей),  
соответствующие коэффициенты для Швеции за 1963 г. и  
полученные при предыдущих испытаниях модели (‰)

Возраст, лет	Коэффициенты, полученные при имитации						Швеция, 1963 г.	Коэффициен- ты, получен- ные при пре- дыдущих испытаниях
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	всего		
17—19	609	605	614	606	603	607	518	517
20—24	276	274	275	274	273	274	275	231
25—29	175	173	174	176	174	175	183	193
30—34	81	80	79	82	80	80	99	111
35—39	23	24	24	23	26	24	44	44
40—44	5	6	5	5	5	5	12	9
45—49	1	1	1	1	1	1	1	0
Суммарный коэффициент брачной рож- даемости	4,63	4,61	4,63	4,62	4,61	4,62	4,62	4,74

Специальные коэффициенты\*, полученные в сериях имитации  
одинакового объема (10 000 семей),  
и соответствующие коэффициенты для Швеции за 1963 г.

Показатели	Серии имитации						Швеция, 1963 г.
	1	2	3	4	5	У	
Число:							
браков	10 345	10 374	10 398	10 372	10 341	51 830	52 166
первых	9 324	9 333	9 351	9 340	9 264	46 612	47 612
повторных	1 021	1 041	1 047	1 032	1 077	5 218	4 554
разводов	1 430	1 463	1 432	1 472	1 507	7 304	7 399
смертей	364	376	362	373	385	1 860	1 974
рождений	23 370	23 326	23 173	23 295	23 229	116 393	111 806
брачных	20 955	20 859	20 813	20 892	20 734	104 253	98 666
внебрач- ных	2 415	2 467	2 360	2 403	2 495	12 140	13 140
Общее чис- ло прожи- тых чело- веко-лет	326 213	325 937	326 284	325 964	325 925	1 630 323	1 666 710
Коэффици- енты:							
брачности <sup>1**</sup>	31,71	31,83	31,87	31,82	31,73	31,79	31,30
первых	28,58	28,63	28,66	28,65	28,42	28,59	28,56
повторных	3,13	3,19	3,21	3,17	3,30	3,20	2,73
разводи- мости	4,38	4,49	4,39	4,52	4,62	4,48	4,44
смертности	1,12	1,15	1,11	1,14	1,18	1,14	1,18
рождае- мости	71,64	71,57	71,02	71,46	71,27	71,39	67,08
брачной	64,24	64,00	63,79	64,09	63,62	63,95	59,20
внебрач- ной <sup>***</sup>	11,52	11,83	11,34	11,50	12,03	11,64	13,32

\* Число «событий» по отношению к числу человеко-лет, прожитых в возрастном интервале 17—49 лет.

\*\* Все коэффициенты выражены в %.

\*\*\* На 100 брачных рождений.

17—49 лет (табл. 3.7). Помимо возможности суммировать результаты по сериям имитации, с помощью этой меры можно оценить, какое влияние оказывает изменение входных данных, и, таким образом, делать правильные сравнения.

Таблица 3.8

Общий и брачный чистые коэффициенты воспроизводства, полученные в сериях имитации одинакового объема (10 000 семей), и соответствующие коэффициенты для Швеции за 1963 г.

Показатели	Серии имитации						Швеция, 1963 г.
	1	2	3	4	5	6	
Число рождений	23 370	23 326	23 173	23 295	23 229	116 393	
из них брачных	20 955	20 859	20 813	20 892	20 734	104 253	
Чистый коэффициент воспроизводства:							
общий . . . . .	1,108	1,106	1,099	1,104	1,101	1,104	1,085
брачный . . . . .	0,993	0,989	0,987	0,990	0,983	0,988	0,961

В табл. 3.8 показаны общие и брачные чистые коэффициенты воспроизводства, полученные на основе следующих выражений:

$$N = F \cdot q \cdot l_{17} / A; \quad (3.2)$$

$$N_l = F_l \cdot q \cdot l_{17} / A, \quad (3.3)$$

где  $N$  — общий чистый коэффициент воспроизводства;  
 $N_l$  — брачный чистый коэффициент воспроизводства;  
 $F$  — общее число рождений;  
 $F_l$  — общее число брачных рождений;  
 $l_{17}$  — вероятность при рождении достигнуть возраста 17 лет;  
 $q$  — соотношение полов при рождении;  
 $A$  — объем серии имитации.

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УСЛОВИЙ «НИЗКОГО УРОВНЯ»

Результаты, представленные в этой главе, можно считать продолжением испытаний модели, описанных в гл. 3. Испытание описываемого здесь типа призвано ответить на вопрос о том, существует ли взаимодействие между различными входными переменными? Это взаимодействие не обязательно связано с реальностью, оно может объясняться особенностями построения модели. Такого типа испытание модели может рассматриваться, далее, как некоторого рода «проверка

чувствительности», т. е. с его помощью можно выяснить, какое влияние оказывают изменения во входных данных на результаты различных испытаний.

Основная цель этих испытаний — изучить влияние вариации во входных данных на рождаемость. В качестве показателей рождаемости были выбраны общий и брачный чистые коэффициенты воспроизводства, общее число рождений на 1000 прожитых человеко-лет и, в некоторых случаях, возрастные коэффициенты рождаемости.

Этот ряд экспериментов был разделен на четыре части с разным числом серий имитации в каждой. В свою очередь, каждая серия имитации охватывала по 4000 семей.

#### 4. 1. Влияние изменений в частоте повторных браков

В первой части этого ряда экспериментов расчёты производились при разных предположениях относительно частоты повторных браков. Эти изменения сводились к увеличению частоты повторных браков на 8% в первой серии имитации, снижению ее на 60% во второй серии, на 70% — в третьей и на 90% — в четвертой. Одна из серий испытаний служила базой сравнения, и все остальные соотносились с ней.

Результаты подытожены в табл. 4.1, и, как можно видеть из этой таблицы, влияние внесенных изменений как на коэффициенты воспроизводства, так и на относительные числа рождений оказалось очень незначи-

Таблица 4.1

Влияние изменений в частоте повторных браков

Серия	Коэффициенты повторных браков		Брачные чистые коэффициенты воспроизводства		Коэффициенты рождаемости*	
0	3,4	100	0,985	100	63,8	100
1	3,7	108	0,993	101	64,2	101
2	1,4	41	0,956	97	61,8	97
3	0,9	27	0,954	97	61,7	97
4	0,3	8	0,945	96	61,1	96

\* Общее число рождений на 1000 человеко-лет, прожитых в возрастном интервале 17—49 лет.

тельным. Как и можно было ожидать, с уменьшением частоты повторных браков рождаемость снижается, однако в меньшей степени. Наибольший эффект дало уменьшение частоты повторных браков на 90%, в этом случае брачный чистый коэффициент воспроизводства снизился только на 4%. Этот эффект реален, а не вызван действием случайных причин, поскольку ни в одном из рассмотренных ранее случаев коэффициенты воспроизводства не достигали столь низкого уровня.

#### 4. 2. Влияние изменений в частоте разводов

Во второй части ряда экспериментов было исследовано влияние на рождаемость изменений в коэффициентах разводимости. В качестве показателей рождаемости на этот раз были взяты брачные чистые коэффициенты воспроизводства и общее число рождений.

В первой серии имитации частота разводов была снижена на 20%, во второй — на 60% и в третьей — на 80% по отношению к исходной серии, которой на этот раз служила первая серия из предыдущей главы.

Таблица 4.2

Влияние изменений в частоте разводов

Серия	Коэффициенты разводимости		Брачные чистые коэффициенты воспроизводства		Коэффициенты рождаемости*	
	Коэффициент	Число	Коэффициент	Число	Коэффициент	Число
1	4,5	100	0,993	100	64,2	100
5	3,7	83	0,992	100	64,2	100
6	2,0	43	0,975	98	63,1	98
7	0,9	21	0,974	98	63,1	98

\* См. примечание к табл. 4.1.

Вероятный эффект этих изменений должен был бы заключаться в увеличении рождаемости. Однако фактически, как видно из табл. 4.2, эффект оказался противоположным. По мере снижения частоты разводов как коэффициент воспроизводства, так и относительное число рождений уменьшаются. Этот своеобразный эффект можно объяснить тем, что к моменту развода

воспроизводство уже «закончено», т. е. в браках, оканчивающихся разводом, ожидаемое число детей уже достигнуто. В этом случае второй брак несколько увеличивает число рождений, но это увеличение меньше, если меньше частота разводов.

Средний возраст при прекращении брака из-за развода в этих испытаниях составил 32 года, тогда как средний возраст при вступлении в брак — 24 года. При среднем числе детей 2,5 это означает, что деторождение завершается примерно в возрасте 29 или 30 лет. Возникает вопрос: согласуется ли это с действительностью? По данным официальной статистики мы находим, что средний возраст при разводе составляет 37 лет, а средний возраст при вступлении в брак тот же, что и в эксперименте. Таким образом, полученные результаты в общем не противоречат фактам.

#### 4. 3. Влияние изменений в среднем числе детей и в интервалах между рожденьями

Эта часть содержит шесть серий имитации, которые попарно одинаковы, но каждая пара отличается распределением интервалов между рожденьями. Кроме того, были введены возрастные различия в смертности между полами; предполагалось, что смертность мужчин выше и сдвинута вверх на 10 лет возраста. Это — средняя для возрастного интервала 15—50 лет, так что вариация смертности внутри интервала не была принята во внимание. Распределение среднего числа детей по возрасту женщин при вступлении в брак менялось в трех парах серий таким образом, что в первой паре применялось то же распределение, что и раньше ( $C_1$  — уровень 6, см. с. 48), а во второй паре оно было сглажено ( $C_2$ ). В третьей паре все средние были снижены на 8% ( $C_3$ ). Изменения в интервалах между рожденьями означают увеличение длины интервала между вступлением в брак и первым рождением (уровни 2 ( $I_2$ ) и 3 ( $I_3$ ), см. с. 49).

Введение возрастных различий в смертности привело к увеличению показателей воспроизводства, что может быть вызвано теми же факторами, которые действовали, когда изменялась частота разводов. Сглаживание ряда среднего числа детей снизило показатель брачного воспроизводства на 2%, тогда как снижение на 8% пол-

ностью не реализовалось — фактическое снижение составило 6 %.

Влияние изменений в распределении интервалов между рожденьями можно изучить вполне точно, поскольку серии, представляющие в данном случае интерес, идентичны. Чистый эффект оказался, однако, крайне незначительным — снижение в коэффициентах воспроизводства на 4‰ (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Влияние изменений в числе детей и в распределении интервалов между рожденьями**

Распределение среднего числа детей	Распределение интервалов между рожденьями			
	$I_3$		$I_2$	
	коэффициент воспроизводства	коэффициент рождаемости	коэффициент воспроизводства	коэффициент рождаемости
$C_1$	1,004	64,9	1,000	64,6
$C_2$	0,986	63,8	0,982	63,5
$C_3$	0,924	59,7	0,921	59,5

В связи с этим особенный интерес представляют возрастные коэффициенты рождаемости. Как упоминалось в гл. 3, отклонения от фактических коэффициентов можно приписать переходу к новому распределению по возрасту при вступлении в брак. Результаты испытаний позволяют предположить, далее, что распределение интервалов между рожденьями может иметь решающее значение для характера изменения рождаемости с возрастом.

Изменения в распределениях среднего числа детей и интервалов между рожденьями оказывают заметное влияние на возрастные коэффициенты рождаемости. В первой возрастной группе (17—19 лет) коэффициенты ранее колебались вокруг 600‰, теперь они снизились до уровня несколько выше 500‰. Для возрастной группы 20—24 лет изменение также привело к снижению, однако во всех других возрастах — к повышению коэффициентов. (Более подробно результаты представлены в табл. 4.4.)



Возрастные коэффициенты брачной рождаемости  
при различных сочетаниях среднего числа детей  
и интервалов между рождениями, ‰

Возраст, лет	Сочетания					
	$I_3C_1^*$	$I_3C_2$	$I_3C_3$	$I_2C_1$	$I_2C_2$	$I_2C_3$
17—19	615	583	586	514	493	495
20—24	278	269	256	254	244	234
25—29	175	168	157	183	177	166
30—34	82	82	72	88	88	79
35—39	27	27	24	32	31	27
40—44	8	7	7	9	9	8
45—49	1	2	1	2	2	2
Суммарный коэффициент брачной рождаемости	4,69	4,52	4,34	4,38	4,24	4,06

\* Объяснение символов см. в тексте.

#### 4. 4. Влияние изменений в брачности

В этой последней части ряда экспериментов было изучено влияние четырех различных предположений относительно уровня брачности\*. Первое из них (см. с. 45) подразумевало, что к возрасту 50 лет еще никогда не вступали в брак 46% женщин ( $N_6$ ), второе — 14% ( $N_4$ ), третье — 10% ( $N_3$ ) и последнее — 0% ( $N_1$ ). Эти предположения были приняты не столько вследствие их близости к действительности, сколько для иллюстрации различных крайних случаев. В свою очередь, каждая из гипотез относительно брачности сочеталась с тремя распределениями среднего числа детей, и таким образом было произведено в общей сложности 12 серий имитации.

Результаты их подытожены в табл. 4.5; наиболее важный вывод из нее заключается в том, что в этой модели рождаемость прямо пропорциональна брачности. Не было отмечено никаких различий в характере этого влияния и при изменении распределения среднего числа

\* В оригинале ошибочно «уровня рождаемости». — *Примеч. пер.*

## Влияние изменений в брачности

Брачность	Распределение среднего числа детей					
	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>	
	БЧКВ*	КР**	БЧКВ	КР	БЧКВ	КР
N <sub>0</sub>	0,335	21,7	0,338	21,9	0,308	20,0
N <sub>1</sub>	0,754	48,6	0,748	48,3	0,696	45,0
N <sub>2</sub>	0,816	52,7	0,807	52,0	0,736	47,6
N <sub>3</sub>	1,094	70,8	1,073	69,3	0,990	64,0

\* БЧКВ — брачный чистый коэффициент воспроизводства.

\*\* КР — коэффициент рождаемости.

детей. Все три распределения показали, что при увеличении брачности сходным образом увеличивается и рождаемость.

В табл. 4.6 показаны соответствующие возрастные коэффициенты рождаемости. Можно заметить значитель-

Таблица 4.6

## Возрастные коэффициенты рождаемости для разных сочетаний уровня брачности и среднего числа детей

Брачность	N <sub>0</sub>			N <sub>1</sub>			N <sub>2</sub>			N <sub>3</sub>		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Среднее число детей												
Возраст, лет												
17—19	573	567	571	617	600	591	590	567	561	599	557	552
20—24	276	269	250	294	285	269	284	265	254	268	263	248
25—29	227	229	207	228	223	213	206	204	193	172	167	152
30—34	134	132	120	131	131	120	119	118	106	80	79	68
35—39	66	68	64	52	50	44	49	49	42	25	26	22
40—44	23	27	23	10	11	9	11	13	10	5	7	6
45—49	6	7	6	2	2	2	2	2	2	1	2	1
Суммарный коэффициент брачной рождаемости	5,38	5,35	5,06	5,43	5,31	5,06	5,12	4,96	4,72	4,55	4,38	4,14

ные колебания в характере изменения рождаемости с возрастом, обусловленные различиями в распределении по возрасту при вступлении в брак.

Результаты этих экспериментов показывают, что при конкретных сочетаниях примененных входных данных влияние их изменений на рождаемость весьма незначительно. Что касается частоты разводов, то ее влияние оказалось противоположным ожидавшемуся. При входных данных, относящихся к условиям высокого уровня, эта противоречивость исчезнет, отчасти потому, что возраст при рождении последнего ребенка будет тогда гораздо выше.

Наиболее важное следствие из этих испытаний модели заключается в том, что они привлекли внимание к брачности и к интервалам между рождениями. Эти две переменные исключительно важны для формирования как уровня рождаемости, так и характера ее изменения с возрастом.

## 5. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УСЛОВИИ «ВЫСОКОГО УРОВНЯ»

В этой главе излагаются результаты дальнейших испытаний модели, теперь с применением входных данных, относящихся к условиям высокого уровня. Как и в предыдущей главе, ряд экспериментов был разделен на несколько частей — в данном случае на пять, — в которых влияние каждой переменной было изучено отдельно.

Объем серий имитации был принят равным 10 000 семей, поскольку в этом случае возможный размах колебаний гораздо больше. В качестве показателей рождаемости были приняты брачный чистый коэффициент воспроизводства (БЧКВ) и суммарный коэффициент рождаемости (СКР). Для того чтобы получить оценку случайной вариации, были произведены пять серий имитации с постоянными входными данными. Эти серии дали следующие результаты:

Серии	1	2	3	4	5	Средняя
БЧКВ	1,201	1,215	1,209	1,230	1,217	1,215
СКР	11,24	11,41	11,38	11,46	11,44	11,39

В разделах 5.1—5.5 рассматриваются результаты испытаний, полученные при различных значениях смертности, брачности, рождаемости, частоты разводов и пов-

торных браков, а также при различных распределениях интервалов между рожденьями.

### 5. 1. Влияние изменений в смертности

Различные предположения относительно уровня смертности охватывают ряд значений ожидаемой продолжительности жизни при рождении от 34 до 76 лет. Изменения такого рода оказывают влияние на большую часть выходных переменных; переход от высокой смертности к низкой вызывает увеличение числа первых браков и снижение числа повторных браков. Число разводов увеличивается, растут также и числа рождений. Влияние на рождаемость, выраженную показателем БЧКВ, оказалось весьма значительным:

$e_0$	34	40	51	61	76
БЧКВ	0,997	1,218	1,479	1,739	2,021

Наиболее высокая смертность приводит к значению коэффициента воспроизводства несколько ниже 1, тогда как наиболее низкая смертность дает коэффициент воспроизводства, превышающий 2. Влияние снижения смертности на валовой коэффициент воспроизводства, обнаруженное другими исследователями<sup>2</sup>, в этих экспериментах выяснить было нельзя, и поэтому нужны дальнейшие исследования.

### 5. 2. Влияние изменений в брачности

Брачность была представлена шестью уровнями показателя, описанными в гл. 2. Они охватывали ряд значений доли женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет, от 45 до 0%.

Изменения в брачности вызывают существенные изменения в значениях большинства выходных переменных. Число рождений увеличивается, и это отражается в значениях чистых коэффициентов воспроизводства, которые увеличиваются с 0,4 до 1,7:

$O_{50}$	0,459	0,206	0,136	0,096	0,044	0,000
БЧКВ	0,433	0,919	0,994	1,088	1,261	1,657

Это влияние изменений в брачности, хотя и умеренное, видно также при изучении возрастных коэффициен-

<sup>2</sup> Arriaga E. The Effect of the Decline in Mortality on the Gross Reproduction Rate.—*Milbank Memorial Fund Quarterly*, July 1967.

## Возрастные коэффициенты брачной рождаемости, ‰

Возраст, лет	Доля женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет					
	0,459	0,206	0,136	0,096	0,044	0,000
15—19	587	625	611	599	631	556
20—24	364	364	366	364	362	357
25—29	333	334	339	338	332	322
30—34	287	289	290	290	282	281
35—39	214	211	207	210	210	215
40—44	113	118	116	119	123	134
45—49	44	56	52	53	59	68
Суммарный коэффициент брачной рождаемости	9,71	9,98	9,90	9,86	9,99	9,66

тов рождаемости (табл. 5.1). Оно затрагивает как уровень, так и характер изменений рождаемости с возрастом, но далеко не в той степени, как это было при изучении влияния брачности в условиях низкого уровня.

### 5. 3. Влияние изменений в частоте разводов и повторных браков

Влияние, оказываемое изменениями в частоте разводов и повторных браков, оказалось весьма умеренным. Упомянутая ранее прямая ковариация между рождаемостью и частотой разводов оказалась на этот раз обратной, что больше соответствует ожидаемым условиям. Чистый коэффициент воспроизводства меняется в пределах от 1,17 до 1,22, причем самое низкое его значение соответствует наибольшей частоте разводов. Влияние изменений в частоте разводов также сильнее выражено, когда велика частота повторных браков.

### 5. 4. Влияние изменений в рождаемости

Рождаемость, исследуемая в этом разделе, представлена средним числом детей для каждого возраста при вступлении в брак. Здесь рассматриваются все

шесть вариантов ее уровня (см. с. 48). Они соответствуют снижению среднего числа детей у женщин, вступивших в брак в возрасте 15—19 лет, с 8,7 до 2,5. Влияние этих изменений на чистый коэффициент воспроизводства оказалось следующим:

Среднее число  
детей

	8,73	7,73	6,45	5,03	4,16	2,50
БЧКВ	1,808	1,644	1,380	1,052	0,854	0,675

Возрастные коэффициенты рождаемости обнаружили заметное снижение, в частности, в старших возрастах. Сравнение этих коэффициентов, соответствующих самым низким и самым высоким значениям среднего числа детей, показало, однако, что более низкой стала вся кривая возрастных коэффициентов рождаемости — хотя это снижение было сильнее выражено в старших возрастных группах (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Возрастные коэффициенты брачной рождаемости, ‰

Возраст, лет	Среднее число детей					
	8,73	7,73	6,45	5,03	4,16	2,50
15—19	530	520	528	523	493	501
20—24	329	331	327	316	314	247
25—29'	334	326	309	284	266	192
30—34	314	293	257	205	156	118
35—39	246	214	165	98	57	50
40—44	152	124	77	28	12	13
45—49	74	53	27	5	1	2
Суммарный коэффициент брачной рождаемости	9,89	9,31	8,46	7,29	6,49	5,62

### 5. 5. Влияние изменений в интервалах между рожденьями

Для изучения влияния на рождаемость интервалов между рожденьями были взяты четыре распределения этих интервалов, приведенные в гл. 2 (см. с. 49).

Они были взяты на уровне, отвечающем умеренным уровням смертности ( $e_0=51$  год), брачности ( $O_{50}=14\%$ ) и частоты повторных браков и довольно низкой частоте разводов. Числа рождений в этих сериях колебались от 34 000 до 39 000, суммарный коэффициент рождаемости — от 12,14 до 9,89 и чистый коэффициент воспроизводства — от 1,325 до 1,495.

Таблица 5.3

Возрастные коэффициенты брачной рождаемости, ‰

Возраст, лет	Распределение интервалов между рожденими			
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
15—19	662	555	611	486
20—24	572	328	378	328
25—29	522	325	344	312
30—34	402	307	304	282
35—39	197	244	232	231
40—44	61	146	139	156
45—49	11	73	74	90
Суммарный коэффициент брачной рождаемости	12,14	9,89	10,56	9,42

Как уже было установлено при первых испытаниях модели, распределение интервалов между рожденими оказывает решающее влияние на коэффициенты рождаемости. Однако, для того чтобы это влияние оказалось заметным, нужны достаточно большие изменения в распределении интервалов. В данном случае более продолжительные интервалы между рожденими обнаружили тенденцию смещать кривую рождаемости к старшим возрастам, а также делать ее более плавной. Более короткие интервалы между рожденими оказывают противоположное влияние, т. е. приводят к концентрации рождений в молодых возрастах. Полученные при имитации коэффициенты рождаемости представлены в табл. 5.3, где эти влияния хорошо видны.

## 6. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ «ПРОМЕЖУТОЧНЫХ» СОСТОЯНИЙ

Как уже упоминалось, одна из главных областей применения настоящей модели — изучение динамики населения.

Для того чтобы испытать пригодность модели для описания демографического перехода, было проведено несколько испытаний ее с входными данными, соответствующими некоторым переходным состояниям между высоким и низким уровнями.

Таблица 6.1

Сочетание входных данных для испытания модели применительно к промежуточным состояниям

Уровень и примерный период, к которому он относится	Смертность $e_0$	Брачность, $O_{00}$ %	Повторные браки, $O_{35}$ %	Разводы, $O'_{35}$ %	Рождаемость (среднее число детей)
1 до 1750 г.	34	13,6	96,6	15,3	8,73
2 " 1815 г.	34	4,4	96,6	1,2	8,73
3 " 1875 г.	40	9,6	96,6	1,2	8,73
4 " 1900 г.	40	13,6	96,6	15,3	8,73
5 " 1910 г.	51	13,6	96,6	15,3	7,73
6 " 1920 г.	51	20,6	96,6	23,5	7,73
7 " 1930 г.	61	20,6	93,3	23,5	6,45
8 " 1940 г.	61	9,6	86,6	15,3	5,03
9 " 1950 г.	61	9,6	82,6	1,2	4,16

В соответствии с предположениями наилучшее представление о характере демографического перехода в общем виде должно было бы дать крайне неравномерное изменение коэффициентов воспроизводства: от уровня, близкого к 1, эти коэффициенты должны были бы расти ускоряющимся темпом до некоторого максимального значения и затем опять снижаться до 1. Путем объединения имеющихся сведений так, чтобы они достаточно хорошо отражали демографическое развитие Швеции, были получены входные данные, приведенные в табл. 6.1.

Эти данные не могут претендовать на точную характеристику сочетания показателей, но из многих возможных сочетаний, они, по-видимому, достаточно приемлемы. Целью этих испытаний было не столько воспроизвести демографическое развитие Швеции, сколько изучить функционирование модели и проиллюстрировать ее воз-



возможности. С этой точки зрения сами значения чистого коэффициента воспроизводства, полученные в данном испытании модели (табл. 6.2), не представляют большого интереса. Наиболее интересна вариация этих коэффициентов, полученная при испытании модели. Даже если результаты и не очень близко соответствуют ожидаемым значениям, они раскрывают очень интересную тенденцию коэффициентов воспроизводства изменяться во времени именно так, как упоминалось ранее.

Наиболее важный результат, однако, заключается в том, что эти испытания модели показывают, насколько большие трудности могут возникнуть, если пытаться описать динамику населения в полностью статической модели, внося дискретные изменения во входные данные. Для того чтобы получить достаточно правильное представление о развитии демографических процессов, изменения должны производиться через очень короткие интервалы, а для долгого периода это практически невозможно осуществить. Удовлетворительно отразить демографический переход можно лишь в том случае, когда входные данные представлены в виде функций («функциональный ввод»), параметры которых, в свою очередь, представляют собой функции времени. В этом случае возможно сделать изменения во входных данных очень близкими к непрерывным.

Когда модель применяется в такого рода исследованиях, очень важно приурочить каждую серию имитации к определенному хронологическому периоду. В условиях стационарности населения показатели для календарных периодов и для когорт идентичны, однако если входные данные изменяются, то соответствие между ними исчезает. Тогда становится естественным рассматривать серии имитации как когорты, а для сравнения с фактическими данными — суммировать результаты по календарным периодам.

Таблица 6.2

Общий чистый коэффициент воспроизводства (ЧКВ) при различных сочетаниях входных данных и различных промежуточных состояниях

Уровень	ЧКВ	Уровень	ЧКВ
1	1,005	6	1,229
2	1,431	7	1,241
3	1,471	8	1,134
4	1,293	9	0,944
5	1,411		

## 7. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Работа с демографическими микромоделями в Демографическом институте факультета статистики продолжается уже в течение ряда лет. Эта работа идет в двух направлениях, а именно.

1) развитие микромоделей для изучения компонентов, из которых складывается процесс воспроизводства населения;

2) разработка моделей для изучения факторов, определяющих рост населения.

В предыдущем отчете — «Демографические модели. ДМ 3» (Отчет № 5) — было впервые дано описание модели второго типа. В этом отчете содержались несколько более подробные результаты испытаний модели.

Настоящий вариант модели представляет собой лишь первый этап в разработке так называемой динамической демографической модели. Все модели, предложенные до сих пор как в нашем институте, так и другими исследователями, страдают неполнотой, поскольку в них не предусмотрен временной аспект. Как было показано в гл. 6, при попытках описать демографический переход с помощью чисто статической модели, внося дискретные изменения в переменные, определяющие демографическое развитие, возникают большие трудности. Необходимо придать изменениям непрерывный характер, что может быть сделано только в динамической модели.

Тем не менее настоящая модель все же может быть ценным инструментом для изучения динамики населения, поскольку она позволяет изучить влияние изменений лишь в одной переменной, оставляя другие постоянными.

На основе полученного здесь опыта дальнейшая работа над моделью может идти в следующих направлениях.

1. Изменения в самой модели, состоящие во включении в нее большего числа переменных (например, экономических переменных), а также некоторые изменения в машинных программах, с помощью которых модель реализуется. Необходимость последних изменений обусловлена переходом к динамической модели, в которой в число переменных включается время. Для того чтобы оказалось возможным сравнивать результаты расчетов с фактическими демографическими характеристиками, все результаты расчетов по модели должны суммиро-

ваться по календарным периодам. Соответствующая методика уже разработана.

2. Изменения в представлении переменных для модели. Когда модель преобразуется в машинную программу, непрерывный подход требует, чтобы входные данные были представлены в виде функций. Параллельно с работой по модели продолжается вывод функций для переменных в модели, и эта работа сейчас почти закончена.

3. Улучшение данных, характеризующих переменные в модели. До сих пор внимание при испытаниях модели было направлено в основном на переменные, более тесно связанные с рождаемостью, такие, как среднее число детей для каждого возраста при вступлении в брак и интервалы между рожденьями. В настоящем испытании не делалось различия в этом отношении между первым и повторным браками, хотя весьма вероятно, что такие различия существуют. Испытания также показали, что модель весьма чувствительна к изменениям в значениях этих переменных. Среди других переменных модели до сих пор не выработано удовлетворительного описания частоты повторных браков и внебрачной рождаемости, и необходимо продолжать исследования.

В целом же модель требует, чтобы некоторые переменные были выражены в весьма конкретной форме, однако по данным официальных источников их числовое выражение не так легко получить. Это может, по-видимому, уменьшить практическую применимость модели. Однако сама модель может быть применена для вывода соотношений между теми или иными конкретными показателями, необходимыми для модели, и показателями официальной статистики населения.

*Н. Ф. Р. Крафтс, Н. Дж. Айрленд*

**РОЛЬ МЕТОДОВ ИМИТАЦИИ  
В РАЗРАБОТКЕ ТЕОРИИ  
ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЬИ  
И ЕГО ИЗУЧЕНИИ**

N. F. R. Crafts and N. J. Ireland. The Role of Simulation Techniques in the Theory and Observation of Family Formation. — *Population Studies*, vol. 29, № 1, March 1975, p. 75—95.

**I. ВВЕДЕНИЕ. НЕОБХОДИМОСТЬ  
В РАЗРАБОТКЕ ТЕОРИИ  
ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЬИ**

В последние годы представители многих отраслей науки, особенно демографии, экономики и социологии, прилагали много усилий для того, чтобы объяснить изменения уровня рождаемости и научиться предвидеть изменения коэффициентов рождаемости. С этой целью были проведены многочисленные эмпирические исследования совокупных характеристик разных населений, подкрепленные детальным эмпирическим изучением на микроуровне отдельных групп или общин, как применительно к современному их состоянию, так и в историческом плане<sup>1</sup>. Интерес к этому усиливается насущными проблемами населения в развивающихся странах. В центре внимания исследователей было *описание* структуры «демографического перехода», суть которого заключается в постулировании трех этапов демографического развития: 1) высокий уровень рождаемости компенсируется высоким уровнем смертности, что дает

<sup>1</sup> Обстоятельное изложение большинства этих исследований содержится в работах [5], [14], [11].

небольшой прирост населения или вовсе не дает его прироста; 2) снижение смертности, сопровождаемое (с некоторым отставанием во времени) снижением уровня рождаемости, что вызывает быстрый рост населения; 3) низкий уровень рождаемости, низкий уровень смертности и медленный рост населения<sup>2</sup>.

Однако, к сожалению, как указывает Табарра, «поскольку эта теория не определяет точно, какие основные факторы обуславливают снижение уровня рождаемости, она не проливает света на то, каким образом могут воздействовать на эти факторы те, кто осуществляет демографическую политику. Ввиду несоблюдения этого важного теоретического требования демографическая политика становится все более направленной непосредственно на предотвращение беременностей, а не на основные факторы, определяющие высокий или низкий уровень рождаемости» [35]. Неудивительно поэтому, как недавно заметил один из специалистов в области экономики, что «наиболее важный вопрос, которым задаются демографы, следующий: чем объясняется демографический переход?» [30].

Эмпирические исследования обычно дают сведения того же рода, что и общие статистические наблюдения: на макроуровне — общий коэффициент рождаемости или валовой коэффициент воспроизводства, а на микроуровне — фактическую величину семьи или продолжительность интервалов между рождениями. Однако связь детальных исследований репродуктивного поведения семей с процессом роста всего населения не сводится просто к непосредственному распространению полученных по выборке выводов на генеральную совокупность. Данные статистического наблюдения отражают процессы формирования семьи и связанные с этим решения, которые сами подвержены влиянию целого ряда факторов. Если нам надо объяснить эмпирические результаты и связи между ними, то выводы из наших исследований должны относиться именно к этим *решениям*. Даже если эти решения исследуются выборочным путем по ответам на вопросы специальных анкет, надежность и интерпретация такого рода данных сомнительны, и, во всяком случае, рождаемость ни в коей мере не определяется полностью только теми факторами, которые осознают

---

<sup>2</sup> Более полно эта проблема рассмотрена в работе [20].

опрашиваемые. Если же исследуется история какой-либо общины, то подобные методы неприменимы. Таким образом, умозаключения неизбежно приходится делать на основе данных статистического наблюдения.

Много рассуждений относительно изменений рождаемости основываются на предполагаемых эмпирических взаимосвязях [7], хотя этот подход иногда не был, как отмечает Коул, особенно успешным: «Снижение уровня рождаемости есть, по-видимому, почти универсальная особенность развития современных не находящихся под исключительным влиянием религии обществ, но возникновение и распространение этого феномена пока еще невозможно объяснить с помощью какой-либо простой, во всех случаях оправданной модели или обобщающего описания» [7, с. 209]. Трудности такого «статистико-эмпирического» подхода, не основывающегося на априорных соображениях, общезвестны, но его неприменимость в данной конкретной области особенно ярко продемонстрировал Бекер. Рассматривая экономическую теорию поведения потребителя, он отметил, что, хотя «традиционная точка зрения, которая основывается обычно на простой корреляции, заключается в том, что увеличение доходов ведет к снижению числа детей в семье» [3], «долговременное снижение рождаемости может быть также совместимо и с прямыми взаимосвязями, поскольку происходящее в течение длительного времени снижение детской смертности, а также все более широкое распространение контрацепции и повышение уровня расходов на ребенка вполне могут перевешивать понижающее рождаемость влияние долговременного роста доходов» [2]. На микроуровне аналогичным образом в качестве примера, подчеркивающего необходимость разработки теории, можно рассматривать парадоксальную положительную корреляцию между величиной семьи и принятием мер планирования семьи. Парадокс объясним, если иметь в виду, что семьи характеризуются разным уровнем естественной рождаемости; тогда если контрацепция применяется после достижения желаемого числа детей (*target family size*)\*, то ясно, что к этому стре-

---

\* В этой работе широко употребляется термин «*target family size*» или просто «*target*», что означает цель, к которой стремятся супруги в отношении числа детей в семье. Ввиду отсутствия более точного русского эквивалента этот термин передан при переводе как «желаемое число детей». — *Примеч. ред.*

мятся только семьи со сравнительно высоким уровнем рождаемости<sup>3</sup>.

Приемлемый подход к изучению изменений рождаемости, по-видимому, состоит в том, чтобы рассматривать результаты исследований на микроуровне в рамках некоторой теории формирования семьи. При этом изменения в данных статистического наблюдения могут быть соотнесены с изменениями поведения или факторов, воздействующих на поведение, а затем выяснено, как влияет изменение таких факторов на население в целом. Такой путь исследования противостоит ряду других описанных за последнее время в литературе, где задача решается с помощью регрессионного анализа, основанного на группировках обобщенных, сводных данных. Эти исследования дали несколько противоречивые и путаные результаты<sup>4</sup>, что, в общем, не было неожиданным, поскольку многие из них имели в лучшем случае весьма слабую связь с теориями детерминации рождаемости (обязательно рассматривающими отдельные семейные ячейки), и, кроме того, в них обычно не принимались во внимание существенные различия в пределах стран<sup>5</sup>.

Многие важные аспекты действительности *не могут быть* удовлетворительно изучены на макроуровне. Например, рассмотрев важную работу Карлссона, где он спрашивает, какой подход — «скачкообразный» или «поэтапный» — более точно отражает процесс принятия идеи контрацепции, мы обнаружим, что он ставит два основных вопроса: 1) было ли достаточно широко распространено ограничение деторождения среди супружеских пар, прежде чем начался процесс долговременного снижения рождаемости, или же снижение рождаемости знаменует конец фазы, в которой супружеские пары либо вообще не ограничивали числа детей, либо в лучшем случае делали это весьма редко? 2) действительно ли характер распространения снижения рождаемости соответствует допущениям о запаздывании во времени [снижения рождаемости относительно снижения смертно-

---

<sup>3</sup> См., например, [34]. Это «объяснение» игнорирует стохастическую природу воспроизводства; см. там же, с. 40.

<sup>4</sup> Краткое изложение результатов и ссылки на литературу см. в [17], [29].

<sup>5</sup> Это с особой убедительностью показано в работе [21].

ти. — *Ред.*], столь распространенным в существующих теоретических работах? [6]. Попытки ответить на эти вопросы требуют подхода на микроуровне. Более того, как указывает Карлссон, не только «допущения о запаздывании во времени весьма существенны для точной оценки и предвидения демографических тенденций» [6, с. 151], но и «ни одна теория рождаемости и изменений рождаемости в Швеции не может считаться удовлетворительной, если она не учитывает колебаний брачной рождаемости, существовавших еще до начала долговременного снижения рождаемости. Причем Швеция — это не изолированный случай» [6, с. 159]. Аналогичным образом подход на микроуровне существенно важен при всякой попытке разграничить объяснение изменений рождаемости с помощью количественной и качественной эластичности спроса, предлагаемое Бекером [2], и теорию Лейбенштейна, основанную на различных структурах предпочтения групп разного социального статуса [18].

В следующем разделе мы представим нашу точку зрения на современное состояние теории формирования семьи. В разделе III мы выдвинем аргументы в пользу того, что имитационная модель может служить существенно важным связующим звеном между теорией и фактическими наблюдениями. В разделе IV мы предложим пример такого рода модели и в разделе V рассмотрим проблемы, связанные с данными для модели. В разделе VI для иллюстрации мы опишем несколько экспериментов с моделью и в заключение представим свои выводы.

## II. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЬИ

Обращение к теории, объясняющей поведение при формировании семьи, однако, зачастую связано с определенными проблемами. Эта теория должна связывать данные статистического наблюдения с факторами, наблюдение которых либо затруднительно, либо невозможно, — такими, как предпочтение той или иной величины семьи (это может быть желаемое число детей либо идеальное число детей<sup>6</sup>), критерии применения и

<sup>6</sup> «Идеальное» число детей то, которое супруги выбирают безотносительно к каким-либо материальным соображениям, «желаемое» (target) основано на их предпочтениях с учетом издержек. Эти поня-



эффективности контрацепции, оплодотворяемость и т. д. Эти трудности можно проиллюстрировать, сославшись на применение интервалов между рожденьями в качестве показателей, служащих основой для содержательных выводов<sup>7</sup>. Например, было высказано мнение, что увеличение интервала между двумя последними рожденьями (последнего закрытого интергенетического интервала) в «законченных» семьях<sup>8</sup>, где жена вступила в брак в возрасте моложе 30 лет, свидетельствует о переходе к контрацепции [39].

В общих чертах доказательство сводится к тому, что меньшее желаемое число детей легче достигается путем прекращения деторождения после того, как это число достигнуто, чем путем распределения рождений во времени. Длительные интервалы между двумя последними рожденьями возникают вследствие «случайностей» или «изменения точки зрения», что порождает тенденцию к увеличению средней продолжительности последнего интервала для рассматриваемой группы. Эта аргументация более подробно рассмотрена в разделе VI, но уже здесь можно заметить, что всякий фактор, имеющий тенденцию изменять выборочный баланс между «случайностями» и «неслучайностями», делает интервал между двумя последними рожденьями весьма сомнительным показателем. Например, общее снижение уровня оплодотворяемости будет означать, что «случайностям» подвержено меньшее число людей, однако те, кто достигает желаемого числа детей, окажутся в большей степени представлены в последних децилях распределения по оплодотворяемости\*. Таким образом, причина изменения в длительности последнего интергенетического интервала однозначно не определяется. Аналогичные проблемы возникают и при оценке эффекта программ контроля рождаемости.

Трудности, связанные с разработкой надлежащей теории формирования семьи и с ее проверкой, становятся

---

тия детально рассмотрены в работе [11]; идеальное число детей соответствует принятой в этой работе величине  $C_d$ , а желаемое число детей — величине  $C$ .

<sup>7</sup> Этот метод стал весьма популярным как в исторических исследованиях (см., например, [39]), так и при изучении программ контроля рождаемости (например, [22]).

<sup>8</sup> Т. е. где брак не прерывался до того, как жена достигла 45 лет.

\* Т. е. среди тех, у которых оплодотворяемость выше. — *Примеч. ред.*

более очевидными, когда мы сопоставляем подходы к изучению динамики рождаемости, предлагаемые в рамках различных дисциплин. Как отметил Истерлин, «проблемы реального мира, связанные с объяснением изменений рождаемости, редко включают только один детерминант рождаемости» [11, с. 61]. Из этого следует вывод, что нельзя сделать какое-либо общее предположение о том, что фактическая рождаемость соответствует желаемой семьями, хотя бы из-за воздействия биологических (т. е. относящихся к предложению) факторов. Мы, в сущности, уже и определили это как основную проблему при интерпретации совокупности наблюдаемых фактов.

Однако, обратившись к литературе, мы обнаруживаем, что экономисты уделяют главное внимание аспекту *спроса* на детей, вплоть до полного пренебрежения соображениями, связанными с предложением\*; «примечательно, что в ходе экономического анализа крайне редко упоминают психологические или биологические факторы, которые могут воздействовать на рождаемость» [11, с. 3]. Более того, они в общем подходят к проблеме детерминации рождаемости при допущении абсолютной определенности окружающего мира через статическую модель, пожизненно максимизирующую полезность. Например, одна из самых последних моделей построена на следующей основе: «Применяется однопериодная сравнительная статичная структура, в которой муж и жена, чей возраст и характеристики заданы, считаются принявшими в начале брачной жизни, на весь ее период, некоторый основанный на максимизации полезности план в отношении деторождения, расходов времени и денег на детей, а также прочих источников родительского удовлетворения, не связанных с детьми... Предполагается, что супружеская пара может осуществлять совершенный и не связанный с затратами контроль деторождения и идеально предвидеть все относящиеся к этому демографические и экономические переменные на протяжении своего брака, так что план, принятый при вступлении в брак на весь период совместной жизни,

---

\* Имеется в виду подход к объяснению динамики демографических процессов с позиций теории спроса и предложения. Согласно этой теории поведение супругов в отношении деторождения определяется потребностью в детях («спросом» на детей), зависящей от «полезности» детей для родителей. — *Примеч. ред.*

совпадет с фактическим числом детей у них в конце этого периода» [38].

При любой попытке интерпретировать данные статистического наблюдения исходя из такого рода теории мы немедленно сталкиваемся по крайней мере с двумя взаимосвязанными проблемами: 1) концептуально важные переменные могут не поддаваться непосредственному наблюдению; 2) те условные переменные, на основе известных значений которых приходится делать выводы, вполне могут быть подвержены воздействию множества разнообразных факторов (в том числе и относящихся к предложению), что ведет к возникновению проблемы идентификации факторов.

С другой стороны, социологов обычно интересуют те аспекты рождаемости, которые связаны с предложением («производством»); Дэвис и Блейк выделяют факторы, воздействующие на вероятность сношения, факторы, влияющие на подверженность риску зачатия, и факторы, влияющие на беременность и на успешное родоразрешение [9]. При попытке синтезировать эти подходы Истерлин выявил еще одну трудность «с точки зрения экономиста», связанную с тем, что спрос на детей в действительности может быть связан с потенциальным результатом; согласно его формулировке, на «желаемое число детей» ( $C$ ) воздействует «мотивация к ограничению рождаемости»,  $C_n - C_d$ , где  $C_d$  — «идеальное число детей» и  $C_n$  — «естественная рождаемость», интерпретируемая как будущее число доживающих детей при отсутствии добровольного ограничения деторождения [11, с. 31—59]. В определенной ситуации это дает новые результаты, противоречащие тому, что можно было бы ожидать интуитивно, а именно «реально снизить спрос на детей в условиях принятия контроля деторождения способен скорее рост естественной рождаемости, нежели увеличение фактической рождаемости, как мы ожидали бы при недоучете возможных взаимосвязей» [22, с. 56]. Следует также иметь в виду, что некоторые факторы (например, доход) могут воздействовать как на потенциальный уровень рождаемости, так и на спрос на детей и что это может вызвать трудности при разграничении факторов спроса и предложения.

Однако Истерлин в ходе анализа ограничивается статичной структурой с идеальной определенностью, характерной для экономистов, и, в частности, предпола-

гает, что те, кто принимает решение, обладают исчерпывающей информацией относительно естественной рождаемости. Как правило, эти модели исключают возможность коррекции в соответствии с изменившимися условиями или ожиданиями, хотя, как указывает Шульц, «для того, чтобы разумно оценивать интенсивные темпы роста численности населения в странах с низким уровнем доходов, необходимо понимание именно этого процесса коррекции поведения согласно демографическим и экономическим изменениям, а также тех нарушений равновесия, которые он вносит в процесс формирования семьи» [29, с. S 239].

Предположения относительно идеальной определенности резко противоречат гипотезам, принятым в работах многих демографов. Несмотря на то что подобно социологам демографы сосредотачиваются на факторах, относящихся к предложению, они при этом в явной форме подчеркивают *стохастическую* природу воспроизводства населения, а также различия в уровне физиологической плодовитости и т. д. Применительно к изменениям уровня рождаемости и, в частности, при оценке эффективности программ контроля рождаемости они применяют вероятностные модели (см., например, [25], [32]).

Первоначально цель таких исследований заключалась в том, чтобы продемонстрировать, что в общем виде положительная корреляция между контрацепцией и числом детей лишь отчасти представляет собой результат пониженной физиологической плодовитости лиц, не планирующих деторождение, а отчасти есть следствие простой случайности [26]. Перспективы таких исследований делают еще более ясной вероятность расхождений между изменениями в желаемом числе детей и изменениями в фактическом числе детей.

До сих пор эти модели рассматривали самые общие типы поведения в отношении контрацепции и были недостаточно связаны с теорией формирования семьи, основанной на понятии спроса. Их прогноз воздействия программ контроля рождаемости представляет собой, по сути дела, весьма изощренные числовые расчеты, приводящие к следующего вида выводам: «Относительно неэффективные методы контрацепции, которыми пользуется большая часть населения, участвующего в деторождении, будут в меньшей степени влиять на приближен-

ные характеристики рождаемости (и, возможно, на результирующий коэффициент рождаемости), чем весьма эффективные методы, применяемые меньшей частью этого же населения. Такое заключение, разумеется, справедливо только в случае, если супружеские пары с менее высокой физиологической плодовитостью не выбирают более эффективные методы» [32, с. 1042—1043]. Но существует ли такого рода отбор — это именно тот вопрос, ответ на который можно надеяться получить на основе теории формирования семьи, для того чтобы улучшить оценку планирования семьи в рамках рассматриваемой стохастической структуры.

### III. ИМИТАЦИЯ КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО МЕЖДУ ТЕОРИЕЙ И ЭМПИРИЧЕСКИМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Вывод о неэффективности изолированного рассмотрения только одной из многих наблюдаемых статистик не вызывает сомнения. Если считать воспроизводство населения системой, на входе которой ненаблюдаемые поведенческие параметры и распределения, а на выходе — наблюдаемые результаты формирования семьи, то необходимо рассматривать отношение между *рядами* входных и *рядами* выходных параметров. Можно выделить следующие вопросы:

1. В состоянии ли мы сказать, что произойдет с рядом выходных параметров, если ряд входных параметров изменится?

2. В состоянии ли мы идентифицировать «правдоподобные» изменения входных параметров, которые обуславливают наблюдаемые изменения выходных параметров, принимая во внимание стохастическую природу системы? Можем ли мы выделить единственную причину наблюдаемых изменений?

3. В состоянии ли мы количественно оценить такого рода изменения входных параметров и можно ли считать величины этих оценок «правдоподобными»?

Мы постулируем, что получить ответы на эти вопросы можно, разработав имитационную модель, которая должна рассматриваться, в частности, как связующее звено между ненаблюдаемыми решениями, прогнозируемыми на основе теории, и наблюдениями, полученными в результате эмпирического исследования.

Далее, мы попытались перечислить отдельные, хотя и взаимосвязанные преимущества применения имитационной модели для этих целей.

1. Мы знаем, что обычно наблюдаемые выходные параметры системы подвержены взаимным воздействиям множества ненаблюдаемых входных параметров; очевидно, что это ограничивает значение анализа, основанного на данных наблюдения, представляющих собой результат неконтролируемого эксперимента. Имитация дает возможность провести контролируемый эксперимент — хотя и в искусственно созданной среде, — что сосредоточивает наше внимание на этих взаимосвязях и позволяет произвести их оценку.

2. Поскольку мы имеем дело с переменными, лежащими в диапазоне между фактической и желаемой характеристиками рождаемости, необходимо очень тщательно изучить, насколько адекватно наблюдаемые условные показатели отражают изменения соответствующих концептуальных переменных; тем не менее следует ожидать, что большинство изменений ряда входных параметров может иметь как прямые, так и косвенные последствия, эффект которых может быть разнонаправленным и взаимно компенсироваться. Путем имитации может быть определена сравнительная количественная значимость этих прямых и косвенных последствий.

3. Применение вероятностных моделей не может дать явно выраженных аналитических результатов в тех случаях, когда требуется приемлемая степень «реализма», поскольку их параметры, как правило, не остаются постоянными во времени. Скажем, вероятность зачатия в текущем месяце для женщины зависит не только от событий прошлого месяца, но и от ее возраста. Имитационная модель не обязательно должна иметь аналитическое решение, и, таким образом, она не требует «упрощения» стохастических элементов в ущерб реальности.

4. Имитационная модель представляет возможность *корректировать* поведение когорты женщин относительно контрацепции, например учитывать изменение их восприятия своей естественной рождаемости.

5. Открывается возможность компенсировать недостающие данные, по крайней мере в смысле проведения

экспериментов, чтобы изучить, какого характера воздействие могли бы оказать рассматриваемые переменные, и тем самым пролить свет на достоверность тех или иных результатов. Это важно, поскольку при подходе на микроуровне обычно сталкиваются с затруднениями из-за малых выборок. В разделе V мы рассмотрим применение «высоких» и «низких» значений некоторых переменных для оценки чувствительности модели к этим переменным.

6. Некоторые наиболее существенные показатели подвержены эффекту усечения. В частности, изменения средних интервалов между рождениями могут быть смещены ввиду ограниченности периода наблюдения (см., например, [37]). Имитация предоставляет возможность оценить, насколько серьезны такие проблемы.

Следует заметить, что всякий количественный анализ поведения, связанного с формированием семьи, усложняется тем обстоятельством, что исследователь имеет дело только с выборочными данными. Степень изменения желаемого числа детей, которая предполагается необходимой для того, чтобы вызвать наблюдаемые изменения фактического числа детей, в этом смысле есть лишь точечная оценка и ввиду этого редко бывает несмещенной. Кроме того, необходимо отличать те изменения в поведении, связанном с формированием семьи, которые объясняют все наблюдаемые изменения, от тех, которые достаточны, чтобы остаток мог считаться статистически незначимым.

#### IV. МОДЕЛЬ

В этом разделе мы кратко описываем основные характеристики имитационной модели, которую мы применим в наших экспериментах. Не все ее свойства оказались необходимыми для всех экспериментов. Хотелось бы обратить особое внимание на следующие две особенности модели.

1. Распределение вероятностей для месячной вероятности зачатия применяется таким образом, что женщины одного возраста оказываются «неоднородными» в этом отношении. Это отличает нашу модель от большинства других аналогичных имитационных моделей (см. раздел V).

2. Модель относится к стохастическим моделям контролируемого типа и дает возможность провести анализ с выделением тех или иных форм контроля.

Далее сначала детально рассматриваются все параметры модели, а затем приводится ее блок-схема. Если параметры или распределения называются «известными», это значит, что речь идет о входных данных (см. раздел V).

### *1. Продолжительность брака*

В настоящей работе мы рассматриваем только брачную рождаемость и предполагаем, что подверженность риску зачатия наступает только в браке. Возможность развода или повторного брака не предусматривается. Возраст вступления в брак каждой женщины есть результат случайного извлечения (random sample observation) из известного распределения вероятностей для генеральной совокупности. «Эффективный брак» заканчивается, как только: а) либо наступает смерть жены или мужа, б) либо жена становится окончательно стерильной.

Все эти события распределяются во времени с помощью извлечения в случайном порядке из известных независимых распределений вероятностей для совокупности. Мы также предполагаем, что оба партнера при вступлении в брак имеют одинаковый возраст. Для нашей модели продолжительность брака, или «эффективного брака», определяется как период, в течение которого супруги могут зачать ребенка.

### *2. Месячная вероятность зачатия (МВЗ)*

Мы считаем, что женщина, состоящая в «эффективном браке», *подвержена риску* зачатия в данный конкретный месяц, если она не беременна и не в периоде аменореи, вызванной окончанием беременности. Вероятность зачатия ребенка в данный конкретный месяц, при условии, что супруги физиологически способны к зачатию и не практикуют контрацепции, определяется как месячная вероятность зачатия (МВЗ). Предполагается, что МВЗ изменяется с возрастом. МВЗ отличается



от понятия «естественной оплодотворяемости»<sup>9</sup>, которое можно рассматривать концептуально как биологический потенциал женщины, выражаемый месячной вероятностью зачатия, при условии, что данный цикл овулярный и имеют место «нормальные» половые отношения. Многие демографы считают, что последняя категория в основном не меняется с возрастом, хотя эта точка зрения и не принята единодушно (см., например, [16], [23]). На практике трудно разграничить изменения «естественной оплодотворяемости», вызванные временной стерильностью (ановулярные циклы), и изменением частоты сношений. МВЗ учитывает эти последние соображения, равно как и оплодотворяемость, и поэтому действительно может рассматриваться как переменная, изменяющаяся с возрастом, вне зависимости от того, остается оплодотворяемость постоянной на протяжении всего брачного периода или нет. Распределение МВЗ приближенно соответствует бета-распределению, причем оно сдвигается по мере изменения возраста репродуктивной когорты. Каждая женщина учитывается через случайное наблюдение  $x$  из равномерного распределения, определенного на интервале  $[0 \leq x \leq 100]$ . Это наблюдение рассматривается как попадание женщины в соответствующий процентиль распределения МВЗ и предполагается постоянным на протяжении всей брачной жизни. На основе этого percentиля определяются фактические уровни МВЗ для каждой женщины в разных возрастах путем обращения к соответствующему бета-распределению.

### *3. Период аменореи*

Период аменореи — это случайное наблюдение из известного распределения вероятностей. Если выкидыш, мертворождение или смерть младенца происходят до конца периода аменореи, то считается, что подверженность риску зачатия возобновляется спустя один месяц.

---

<sup>9</sup> Это понятие не совпадает с понятиями естественной рождаемости или физиологической плодовитости, которые представляют собой понятия, относящиеся ко всему репродуктивному периоду женщины, включая периоды инстерильности, беременности и аменореи.

#### 4. Исход беременности

Предполагается, что беременность может не закончиться рождением живого ребенка по двум причинам. Во-первых, после трех месяцев беременности может быть выкидыш и, во-вторых, после девяти месяцев — мертворождение. Каждое из этих событий происходит с известной независимой вероятностью. Предполагается, что многоплодных родов не бывает и что вероятность рождения мальчика составляет 0,5.

#### 5. Число детей

Возрасты смерти детей, рожденных живыми, есть случайные независимые наблюдения из известных распределений смертности. Предполагается, что условия смертности детей совпадают с условиями смертности их родителей в том смысле, что они основываются на одних и тех же модельных таблицах смертности. Число детей в некоторый данный момент брачной жизни есть разность между числом рожденных и числом умерших детей.

#### 6. Контрацепция

Предполагается, что контрацепция характеризуется известной эффективностью  $E$  ( $0 \leq E \leq 1$ ), так что если  $n$  есть МВЗ ( $0 \leq n \leq 1$ ), то вероятность наступления беременности в некоторый данный месяц, когда возможно зачатие, есть  $n(1-\lambda E)$ , где в случае применения контрацепции («применение»)  $\lambda=1$ , а в случае неприменения контрацепции («неприменение»)  $\lambda=0$ .

#### 7. Контроль

Семья в состоянии в какой-то степени контролировать число детей, применяя или не применяя контрацепцию. Семья живет в стохастическом мире, когда не известны определенно ни продолжительность эффективного брака, ни период до рождения следующего ребенка, ни то, выживет ли имеющийся или ожидаемый ребенок или не «откажет» ли контрацептив в период его применения, ни прочие факторы. В мире идеальной определенности семья принимает на начальном этапе брака оптимальный контроль в форме чередования перио-

дов применения и неприменения контрацепции, заканчивающийся в конце брачной жизни; результаты контроля зависят лишь от того, в какой степени выполнимы его требования. При большом числе стохастических элементов и принятом в настоящей модели условии зависимости репродуктивного процесса от возраста такая определенность, конечно, невозможна, и вместо этого мы рассматриваем четыре самостоятельные системы контроля. Во всех случаях контроля необходимо достижение желаемого числа детей ( $T$ ), выражаемого либо числом детей, рожденных живыми ( $B_1$  и  $B_2$ ), либо числом доживших детей ( $S_1$  и  $S_2$ ) к концу эффективного брака. Большинство экспериментов с целью экономии машинного времени основывалось на более простых системах,  $B_1$  и  $S_1$ .

Системы контроля выглядят следующим образом:

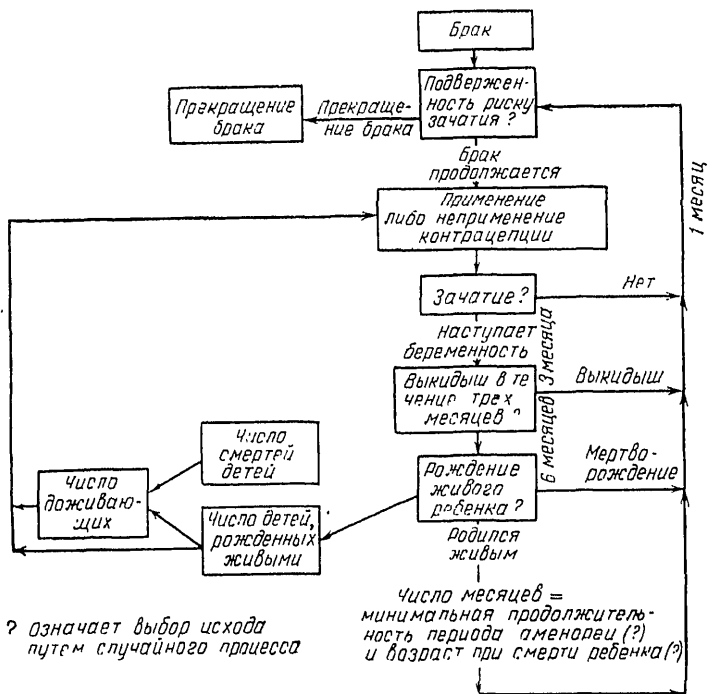
$B_1$  — каждый месяц, если число рожденных живыми до этого времени детей больше или равно  $T$ , то действует «применение»; в противном случае действует «неприменение»;

$S_1$  — каждый месяц, если число доживших детей больше или равно  $T$ , действует «применение»; в противном случае действует «неприменение»;

$B_2$  — каждые 12 месяцев семья оценивает окончательное число живорождений на основе имитации будущего при «применении». Если эта оценка меньше  $T$ , то на следующие 12 месяцев принимается «неприменение»;

$S_2$  — каждые 12 месяцев семья оценивает окончательное число детей, выражаемое числом доживших детей, на основе имитации будущего при «применении». Если эта оценка меньше  $T$ , то на следующие 12 месяцев принимается «неприменение».

Схема функционирования модели представлена на рисунке. Каждая женщина включается в модель при вступлении в брак, и затем последовательно прослеживается ее репродуктивная деятельность. Генерируются данные о продолжительности эффективного брака женщины и о ее положении в распределении МВЗ, и она остается в системе до тех пор, пока брак не окончится вследствие смерти или наступления стерильности. Если она подвержена риску зачатия, то вероятность зачатия определяется «применением» или «неприменением» контрацепции, причем наступившая беременность может закончиться выкидышем или мертворождением. Повто-



Графическое изображение модели

рение процесса возможно после некоторого интервала. Для выбора политики «применения» или «неприменения» контрацепции в систему контроля вводится накопленный итог рождений и смертей детей.

Необходимый объем выборки — это число рассматриваемых женщин. Машинная программа для расчетов по модели предусматривает получение на выходе возраста женщин при рождении ими детей, чисел рождений и доживающих детей, возраста начала и окончания эффективного брака и длины интервалов между рождениями.

## 8. Ограничения модели

Многие из ограничений модели мы не рассматриваем как потенциально очень серьезные (например, отсутствие многоплодных родов, ограничение срока всех

выкидышей тремя месяцами и т. д.). Следует, однако, обратить внимание на два конкретных упущения, которые могут существенно повлиять на общность наших результатов. Подобно авторам других работ в этой области мы допускаем пока, что биологические характеристики женщины независимы одна от другой; например, мы ставим ее МВЗ в зависимость от ожидаемой продолжительности периода аменореи или от ожидаемой вероятности выкидыша, хотя априорно можно ожидать, что в пределах когорты женщин между этими входными переменными будет более или менее тесная связь. Кроме того, на данном этапе мы не включили в модель фактор числа уже рожденных детей, хотя есть некоторые основания предполагать, что он, возможно, имеет значение (см. раздел V).

Однако, несмотря на сравнительно простую форму принимаемой модели, ее выходные переменные в общем соответствуют тем фактическим данным для групп населения с низким уровнем доходов, которые содержатся в часто цитируемых исследованиях (например, в работе Ригли [39]). Мы считаем это обстоятельство некоторым подтверждением того, что ограничения модели могут быть и не слишком серьезными для целей этой работы.

В большинстве случаев применения модели мы предполагали, что желаемое число детей постоянно на всем протяжении брачной жизни. В разделе VI, однако, мы описываем один эксперимент, где это ограничение снято, и становится очевидным, что в самой модели нет сложностей, которые бы препятствовали ее обобщению в этом направлении.

## V. ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИ

Мы утверждаем, что имитационная модель может служить связующим звеном между решениями семьи, принимаемыми в соответствии с некоторой теорией формирования семьи, и данными статистики. Насколько хорошо это связующее звено, зависит от качества необходимых биологических и демографических входных данных. Входные данные, требующиеся для модели, описанной в предыдущем разделе, перечислены далее, причем кратко рассматриваются их значения, выбранные для тех экспериментов, о которых пойдет речь в следующем разделе. Эти эксперименты не претендуют на то,

чтобы воспроизвести ситуацию в какой-либо определенной общности людей, хотя для них и были выбраны данные, в общем соответствующие экономике, характеризующейся низким уровнем доходов, и ни одно из предполагаемых значений входных параметров <sup>10</sup> или выведенных значений выходных параметров не выходит за пределы существующих фактических уровней. Одна из задач, которую ставили себе авторы при разработке этого имитационного подхода, заключалась в том, чтобы изучить исторические свидетельства изменения рождаемости подобно, например, представленным в работе Ригли [39]; полученные ими результаты приводятся в работе [8]. Однако выходные данные, полученные при описанных в настоящей статье экспериментах, не противоречат такого рода историческим свидетельствам.

### *1. Продолжительность брака и детская смертность*

Продолжительность фактического брака определяется временем между вступлением в брак и смертью одного из супругов. Уровни смертности как для взрослых, так и для детей взяты из модельных таблиц смертности. Вероятности смерти на первом году жизни были интерполированы на основе наблюдений, приведенных в работах Ригли [40], а также Стекеля и Алауддина Чаудхури [33], а не условных данных ООН [36]. В табл. 1 и 2 мы представляем показатели смертности, принятые в наших экспериментах, и два распределения вероятностей вступления в брак, основанные на данных из работ Ригли [39, с. 88], а также Готье и Анри [13]. Одно из распределений вероятностей вступления в брак относится к семьям, где возраст вступления в брак был меньше 30 лет. Эксперименты с последней категорией должны продемонстрировать увеличение частоты случаев, когда факторы, связанные с предложением, не доминируют над всеми прочими факторами при определении числа детей.

Эффективная продолжительность брака может быть короче его фактической продолжительности вследствие наступления окончательной стерильности. В эксперимен-

---

<sup>10</sup> Большинство существующих данных относительно входных параметров представлено в работе Ж. Буржуа-Пиша [5].

Таблица 1

Предполагаемые показатели смертности.  
Вероятность смерти до возраста  $t$

$t$ (месяцы)	Вероятность	$t$ (месяцы)	Вероятность	$t$ (годы)	Вероятность	$t$ (годы)	Вероятность
1	0,0725	7	0,1115	2	0,162	20	0,261
2	0,079	8	0,117	3	0,177	25	0,286
3	0,0855	9	0,1235	4	0,192	30	0,312
4	0,092	10	0,13	5	0,207	35	0,338
5	0,0985	11	0,1375	10	0,225	40	0,366
6	0,105	12	0,145	15	0,240	45	0,398

Таблица 2

Предполагаемые показатели брачности. Вероятность того, что женщина вступает в брак к возрасту  $t$ , при условии, что она состоит в браке к возрасту (а) 45 лет, (b) 30 лет

а				b	
$t$	вероятность	$t$	вероятность	$t$	вероятность
15	0	31	0,79	15	0
16	0,02	32	0,81	16	0,01
17	0,04	33	0,83	17	0,03
18	0,07	34	0,85	18	0,05
19	0,13	35	0,87	19	0,07
20	0,19	36	0,90	20	0,09
21	0,25	37	0,92	21	0,18
22	0,31	38	0,94	22	0,28
23	0,37	39	0,95	23	0,38
24	0,44	40	0,96	24	0,48
25	0,5	41	0,97	25	0,58
26	0,56	42	0,98	26	0,67
27	0,62	43	0,99	27	0,75
28	0,68	44	0,99	28	0,83
29	0,74	45	1,00	29	0,92
30	0,77			30	1,00

тах, которые здесь описаны, мы предполагали, несмотря на существование нескольких возможных возрастных распределений (см., например, [16, с. 630], [26, с. 26], [13, с. 117]), что все женщины становятся окончательно стерильными в возрасте 45 лет. Вероятно, между возрастом наступления стерильности и МВЗ существует пря-

мая корреляционная связь, и рассмотрение обоих распределений как независимых случайных переменных может оказаться весьма сомнительным допущением. Кроме того, степень корреляции неизвестна и спорна, и поэтому ввести ее в модель трудно. Далее, сложно разграничить окончательную стерильность и снижение с возрастом вероятности зачатия (см. пункт 2 далее, где показано, что перед возрастом 45 лет многие женщины весьма близки к стерильности). Мы провели несколько экспериментов с возрастными распределениями стерильности, но не обнаружили, что такое уточнение изменяет общую картину результатов. Вследствие этого при рассматриваемых здесь экспериментах мы не предусмотрели в модели возможных различий в стерильности по возрасту.

## 2. Месячная вероятность зачатия

Измерение МВЗ сопряжено с трудностями. Попытки, предпринимавшиеся для вычисления оплодотворяемости, были в высшей степени противоречивыми, и для различных возрастных групп предлагались в качестве «типичных» весьма различные ее значения (они рассмотрены, в частности, в [23], [5]). На практике это явление должно измеряться «на выходе», в смысле фактических сроков наступления зачатия, и поэтому трудно разграничить изменения «естественной оплодотворяемости» и стерильность или изменение частоты сношений. Мы принимаем две основные характеристики МВЗ: а) МВЗ различна для различных браков; б) МВЗ изменяется с возрастом. Некоторые авторы, например Рой и Венкатачария [27], рассматривают только вторую характеристику. Другие, в частности Баррет [1], оценивают распределение МВЗ, но предполагают, что оно постоянно для всех возрастов, учитывая тем самым только первую характеристику. Мы воспользовались предложенным Барретом [1] бета-распределением, но сдвинули распределение по возрасту, последовательно умножив процентиля распределения на константы. Характер роста (т. е. изменения месячной вероятности зачатия с возрастом. — *Ред.*) с ровной вершиной в возрастах 20—34 лет и с последующим снижением в общих чертах соответствует данным работ Дёринга об ановулярных циклах [10] и Буржуа-Пиша о частоте сношений [5]. Децили



## Децили распределения месячной вероятности зачатия

Децили	Возраст, лет			
	15—19	20—34	35—39	40—45
0	0	0	0	0
1	0,046	0,069	0,023	0,0115
2	0,06	0,09	0,03	0,015
3	0,075	0,1125	0,0375	0,0188
4	0,085	0,1275	0,0425	0,0213
5	0,1	0,15	0,05	0,025
6	0,11	0,165	0,055	0,0275
7	0,12	0,18	0,06	0,03
8	0,14	0,21	0,07	0,035
9	0,17	0,255	0,085	0,0425
10	0,3	0,45	0,15	0,075
Средняя	0,106	0,159	0,053	0,026

распределения в различных возрастах представлены в табл. 3. Каждому браку придается определенное значение МВЗ, и эта величина сохраняется на всем протяжении эффективной брачной жизни. Таким образом, как мы надеемся, модель учитывает обе характеристики МВЗ — как (а), так и (б).

### 3. Число ановулярных циклов

Мы исходили из того, что в течение года существует 12 овулярных циклов, на протяжении которых женщина подвержена риску зачатия, и предпочитаем определять частоту ановулярных циклов путем оценки МВЗ. В качестве альтернативы можно было воспользоваться распределением числа овулярных циклов. Хотя этот вариант и может быть в конечном счете предпочтительным, он еще не включен в модель.

### 4. Продолжительность беременности

Предполагается, что продолжительность беременности, не оканчивающейся выкидышем, составляет 9 овулярных циклов, т. е. 0,75 года.

## 5. Продолжительность периода аменореи

Оценка продолжительности периода аменореи также сопряжена с некоторыми трудностями. Мы почерпнули данные из работы Роя и Вепкатачария [27] и вычислили (табл. 4) вероятность окончания периода аменореи в  $t$ -й месяц после рождения живого ребенка. На продолжительность периода аменореи влияют качество питания матери и принятая практика грудного вскармливания; применяемые нами значения скорее характерны для страны с низким, чем с высоким, уровнем доходов (см. [22]). Аменорея может изменяться с возрастом (см. [15]), но мы пока не включили эту зависимость в модель, а также не связали продолжительность периода аменореи с МВЗ<sup>11</sup>.

Таблица 4

Аменорея. Вероятность возобновления подверженности риску зачатия  $t$  месяцев спустя после рождения живого ребенка при условии, что ребенок дожил по крайней мере до  $(t+1)$ -го месяца

$t$	Вероятность	$t$	Вероятность	$t$	Вероятность
1	0,04	11	0,61	21	0,91
2	0,08	12	0,66	22	0,92
3	0,13	13	0,71	23	0,93
4	0,18	14	0,75	24	0,94
5	0,23	15	0,79	25	0,95
6	0,29	16	0,82	26	0,96
7	0,35	17	0,85	27	0,97
8	0,42	18	0,87	28	0,98
9	0,49	19	0,89	29	0,99
10	0,55	20	0,90	30	1,00

## 6. Выкидыши и мертворождения

Такие исходы беременности, как выкидыш и мертворождение, представляют собой независимые случайные переменные. Мы принимаем вероятность 0,2 для

<sup>11</sup> Подобного рода взаимосвязи трудно идентифицировать. Можно показать, что качество питания, например, влияет как на МВЗ, так и на продолжительность периода аменореи, и, таким образом, эти величины будут коррелировать. Данные о воздействии качества питания на продолжительность периода аменореи см. в работе [28].

выкидыша и 0,2 для мертворождения, что отвечает данным, представленным в работе [12]. Эти значения гораздо выше тех, что считаются типичными согласно отчету ООН [36], но все же существенно ниже фактических данных, приводимых иногда для стран с низким уровнем экономического развития [24]. Хотя и есть основания предполагать, что частота выкидышей прямо связана с возрастом, а также с прежними случаями выкидышей [31], такого рода соображения в модели не отражены.

### *7. Желаемое число детей*

В общем виде эта величина может быть либо результатом, соответствующим некоторой теории формирования семьи, либо основанным на этой теории предвидением. Но, как это сделано в большинстве описанных здесь экспериментов, ее можно также предположительно оценить, получив значения этой оценки с помощью имитационной модели. При этом выбранные величины вполне сопоставимы с данными обследования относительно «идеального числа детей» в развивающихся странах, приведенными Берельсоном [4].

### *8. Эффективность контрацепции*

Эти значения оцениваются предположительно, и затем анализируется чувствительность модели к изменениям этих значений, в частности путем противопоставления «высоких» и «низких» значений эффективности. Предполагаемые значения колеблются в пределах от 0,7 до 1,0; на практике эффективность измерить особенно трудно, но в недавно опубликованном исследовании [19] даются следующие значения: 0,84 — для метода ритма, 0,94 — для кондома и 0,996 — для пероральной контрацепции.

### *9. Объем выборки*

Объем выборки зависит от затрат на оплату машинного времени, необходимого для машинных экспериментов.

## VI. НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Здесь мы рассмотрим некоторые эксперименты, проведенные с помощью модели, описанной в разделе IV, на основе данных, представленных в табличной форме в предыдущем разделе. Мы рассмотрим лишь несколько из многих выполненных нами экспериментов; они были выбраны с целью отразить разнообразие возможных путей исследования. Сначала мы покажем (табл. 5) связь между месячной вероятностью зачатия и средним числом рождений на семью при отсутствии контроля деторождения (т. е. без практики контрацепции). Далее мы рассмотрим эффективность интервала между двумя последними рождениями как индикатора изменений в практике контрацепции. В третьем эксперименте сопоставляются четыре системы контроля,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $S_1$  и  $S_2$ , с точки зрения их эффективности при достижении двух разных желаемых чисел детей. И наконец, мы рассмотрим подход, основанный на функции полезности, с упрощенной формой модели.

Таблица 5

**Средняя и дисперсия чисел рождений при различных  
месячных вероятностях зачатия**

	Распределение вероятностей вступления в брак (а) при $\lambda =$				
	1/2	3/4	1	5/4	3/2
Соответствующая средняя МВЗ в возрастах 20—34 лет	0,0795	0,119	0,159	0,199	0,2285
Среднее число рождений	4,16	4,14	5,0	5,90	6,86
Дисперсия числа рождений	7,29	9,88	8,88	8,81	7,36
	Распределение вероятностей вступления в брак (b) при $\lambda =$				
	1/2	3/4	1	5/4	3/2
Соответствующая средняя МВЗ в возрастах 20—34 лет	0,0795	0,119	0,159	0,199	0,2285
Среднее число рождений	5,10	5,66	6,24	7,22	7,08
Дисперсия числа рождений	4,25	5,38	6,94	6,17	7,87

## Эксперимент 1

В предыдущем разделе мы представили в табличной форме распределение МВЗ, применяемое в нашей модели. Изменение МВЗ каждой женщины в любом возрасте в  $\lambda$  раз ведет к изменению среднего «максимального» (при отсутствии контрацепции) числа рождений на семью В табл. 5 приведены эти средние величины при  $\lambda = 1/2, 3/4, 1, 5/4$  и  $3/2$  вместе с дисперсиями чисел рождений для выборки объемом в 50 женщин. Эксперимент осуществлялся с двумя распределениями вероятностей вступления в брак, (а) и (б), причем в обоих случаях не принималось во внимание, что брак может прерваться до выхода из репродуктивного периода ввиду смерти одного из супругов.

Функциональное отношение между  $\lambda$  и средним числом рождений,  $Y$ , было выравнено для обоих наборов данных. Для выравнивания было выбрано выражение вида

$$Y = \alpha(1 - e^{\beta\lambda}) + u,$$

где  $u$  — остаточный член;  $\alpha$  и  $\beta$  — параметры, причем  $\alpha$  интерпретируется как верхняя граница  $Y$ , и мы априори ожидаем, что  $\alpha > 0$  и  $\beta < 0$ . Функция была выравнена путем нахождения таких значений  $\alpha$  и  $\beta$ , которые минимизируют сумму квадратов ошибок. Найденные параметры оказались:

при распределении вероятностей вступления в брак (а)  $\alpha = 7,90$ ,  $\beta = -1,15$ ;

при распределении вероятностей вступления в брак (б)  $\alpha = 7,42$ ,  $\beta = -2,12$ .

Вычисленные коэффициенты детерминации  $R^2$  составили соответственно 0,8 и 0,9, но ввиду нелинейности модели этим показателям нельзя придавать большое значение. Однако мы имели основания считать результаты этого функционального отношения удовлетворительными, несмотря на то, что большее значение параметра  $\alpha$  должно было бы быть связанным с распределением (б). Более крупные выборки (больше чем 50 единиц) и имитация с большим числом значений  $\lambda$  способны, как мы полагаем, улучшить правдоподобие этого отношения.

Наиболее удивительный результат эксперимента — это слабая реакция среднего числа рождений ( $Y$ ) на изменение МВЗ ( $\lambda$ ), т. е. низкое значение  $\beta$ . Оказалось, что увеличение значения  $\lambda$  с  $1/2$  до  $3/2$  увеличивает зна-

чение  $Y$  лишь на 2—3 рождения. Причина этого отчасти связана с тем обстоятельством, что мы рассматриваем *распределение* МВЗ. Для семей, находящихся на нижнем конце распределения, изменение значения  $\lambda$  будет означать всего лишь очень небольшое абсолютное изменение МВЗ, дающее в среднем небольшой прирост рождаемости. Однако те, кто находится на верхнем конце распределения, лишь кратковременно (в среднем) подвергаются риску зачатия и могут не успеть зачать. Таким образом, возможно лишь незначительное увеличение их рождаемости. Кроме того, увеличение МВЗ частично компенсируется увеличением числа периодов отсутствия риска зачатия, связанных с беременностью или ее последствиями<sup>12</sup>.

Следует отметить, что дисперсия числа рождений обычно ниже при распределении вероятностей вступления в брак ( $b$ ) и что коэффициенты вариации (если их вычислить) уменьшались бы по мере увеличения  $\lambda$ . Стандартные ошибки средних — в пределах от 0,3 до 0,45.

Возможность получить выражение, которое связывает изменения МВЗ с ожидаемым числом детей при отсутствии контрацепции, может оказаться полезным при дальнейшем анализе с применением введенных Истерлином [11] параметров  $C_n$  и  $C_d$ , поскольку при этом принимаются во внимание факторы, ведущие к изменению репродуктивного поведения в отношении как спроса, так и предложения.

Наши результаты можно рассматривать как указание на то, что наиболее существенные причины изменения  $C_n$  будут, в общем, воздействовать через смертность, а не через МВЗ. Однако, пока мы не узнаем больше относительно характера, степени и причин изменчивости МВЗ, такого рода вывод следует рассматривать в лучшем случае как предварительный. В частности, при иных типах изменений МВЗ, например при одинаковых абсолютных изменениях ее для каждой женщины, мы должны ожидать других результатов.

### *Эксперимент 2*

В табл. 6 мы приводим значения закрытого интервала между двумя последними рождениями для

<sup>12</sup> Этот эффект был замечен ранее (см., например, работу [23, с. 325]).

## Анализ последнего интергенетического интервала

	$E$	Последний интергенетический интервал			Число рождений	
		число интервалов	средняя	дисперсия	средняя	дисперсия
Желаемое число рождений		Система контроля $B_1$				
3	0,8	70	63,1	1 615	2,84	2,95
3	0,9	50	72,9	2 137	2,47	2,44
5	0,8	100	45,3	702	3,31	4,64
5	0,9	101	43,3	679	3,30	4,51
Желаемое число доживших детей		Система контроля $S_1$				
3	0,8	80	56,3	1 251	2,95	3,84
3	0,9	75	48,0	935	2,83	2,72
5	0,8	102	51,5	963	3,58	6,50
5	0,9	103	44,9	764	3,57	5,83
	Отсутствие контроля	103	47,3	617	4,02	9,36

семей с четырьмя и более рождениями, при различных значениях ожидаемого числа детей и системах контроля  $B_1$  и  $S_1$ , с двумя уровнями эффективности контрацепции ( $E$ ) 0,8 и 0,9. Объем выборки в каждом случае составлял 200 семей, и применялось распределение вероятностей вступления в брак ( $a$ ). Приведены также средние и дисперсии чисел рождений для всех семей. Например, при системе контроля  $B_1$ , желаемом числе рождений, равном 5, и эффективности контрацепции 0,8 100 из 200 семей в выборке имели 4 и более рождения. Для этих 100 семей интервал между двумя последними рождениями составлял в среднем 45,3 месяца, а дисперсия последнего интергенетического интервала была 702. Для всех 200 семей среднее число рождений было 3,31 и дисперсия числа рождений — 4,64.

Среднее число рождений при отсутствии контроля, 4,02, меньше значения, полученного в ходе первого эксперимента при  $E=0$ . Помимо ошибок выборки это можно объяснить влиянием прекращения браков из-за смерти мужа или жены до того, как брак стал стерильным.

Относительно данных табл. 6 следует заметить, что уменьшение желаемого числа детей сопровождается уменьшением среднего числа рождений и увеличением продолжительности интервала между двумя последними рождениями, что соответствует интуитивным объяснениям и теории, рассмотренной в разделе II. Однако увеличение значения  $E$  обычно снижает значения *обоих* показателей. Очевидное исключение составляет случай с системой контроля  $B_1$  и желаемым числом детей, равным 3. Здесь продолжительность интервала между двумя последними рождениями возрастает по мере увеличения  $E$ , т. е. по мере повышения эффективности контрацепции, поскольку рождение четвертого и последующих детей во всех случаях — безусловный результат случайности. В других случаях по мере увеличения  $E$  доля «случайностей» будет уменьшаться и нужно отметить, что ожидаемое направление изменения этого показателя представляется неясным.

Возможность такого «неустойчивого» поведения последнего интергенетического интервала в качестве показателя увеличивается благодаря тому, что МВЗ задана в виде распределения. При системах контроля  $B_1$  и  $S_1$  только биологически более плодовитые в среднем достигнут величины  $T$  — по крайней мере, если она высока, — и даже при применении контрацепции последующие интервалы между рождениями у них могут быть не более продолжительными, чем среднее значение интервалов между предыдущими рождениями для всего населения.

Вопрос о том, как выяснить причину меньшего числа безусловных случайностей, рассмотренный в разделе II, отражен еще и в табл. 7 и также связан с распределением МВЗ. Интуитивно можно было ожидать, что уменьшение МВЗ вызовет увеличение всех интервалов между рождениями, включая и последний. Этот результат мы обычно наблюдали в наших экспериментах при условии отсутствия контрацепции, как в табл. 7. Однако, когда величина  $T$  достигнута, случайности будут происходить со все меньшим числом людей, а те, кто им подвергся, будут концентрироваться в последних децилях распределения МВЗ. Результаты, представленные в табл. 7, свидетельствуют, как и ожидалось, что «неустойчивость» поведения последнего интервала тем больше, чем выше значения  $T$  и  $E$ .



Связь последнего интергенетического интервала с месячной вероятностью зачатия

$\lambda$	1	2/3	1	2/3	1	2/3
$T$	—	—	3	3	5	5
$E$	—	—	0,7	0,7	0,9	0,9
Средняя продолжительность последнего интергенетического интервала	48,2	54,4	59,4	59,4	52,0	46,5

Результаты, представленные в табл. 6 и 7, подчеркивают трудности, возникающие при толковании наблюдаемых выходных параметров, и, как нам кажется, делают ясной потенциальную полезность экспериментов по имитации для проверки путем контролируемых экспериментов правдоподобия различных гипотез, преследующих цель объяснить наблюдаемые изменения. Кроме того, попытка положиться при выводе каких-либо заключений относительно практики контрацепции на последний интергенетический интервал — по крайней мере только на него, — в общем, по-видимому, не может быть удовлетворительной, особенно потому, что как свидетельствуют наши результаты, во многих случаях это не очень чувствительный показатель. Он особенно мало пригоден тогда, когда мы сталкиваемся с проблемами малых выборок или когда в фактических статистических данных смешаны пользующиеся и не пользующиеся контрацепцией<sup>13</sup>.

### Эксперимент 3

В ходе этого эксперимента мы сравниваем эффективность четырех систем контроля ( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $S_1$  и  $S_2$ ) для достижения того или иного желаемого числа детей. Результаты представлены в табл. 8. Они основаны на выборке объемом в 50 семей. В этом эксперименте было применено распределение вероятностей вступления в брак ( $b$ ) и принято допущение, что браки не прекращаются смертью одного из супругов до окончания репродуктивного периода.

<sup>13</sup> Это обстоятельство особенно важно при исторических исследованиях, что более подробно рассматривается в работе [8].

Сравнительная эффективность различных систем контроля

Система контроля	$E$	Желаемое число рождений	Средний квадрат ошибки	Среднее число рождений
$B_1$	0,7	3	6,54	4,46
	0,7	5	4,18	5,14
	0,9	3	1,82	3,54
	0,9	5	2,44	4,72
$B_2$	0,7	3	4,40	3,72
	0,7	5	2,98	4,78
	0,9	3	1,52	3,16
	0,9	5	2,88	4,56
		Желаемое число доживших		Среднее число доживших
$S_1$	0,7	3	2,20	3,72
	0,7	5	3,74	4,40
	0,9	3	0,82	3,26
	0,9	5	2,62	4,18
$S_2$	0,7	3	2,14	3,50
	0,7	5	3,00	4,00
	0,9	3	0,76	2,88
	0,9	5	1,92	4,44

Каждая система контроля оценивалась по отношению к двум разным желаемым числам (рождений и доживших) и при двух уровнях эффективности контрацепции. Эффективность системы контроля суммарно выражается средним числом рождений или доживших (в зависимости от того, о каком желаемом числе идет речь) и средним квадратом ошибки, определяемым как

$$MSE = \frac{\sum (A-T)^2}{n},$$

где  $A$  — фактическое число рождений (или доживших);  $T$  — желаемое число рождений (или доживших);  $n$  — объем выборки (50 семей).

Табл. 8 дает нам непосредственно два результата. Во-первых, более сложные системы контроля  $B_2$  и  $S_2$  более эффективны в смысле среднего квадрата ошибки (за одним лишь исключением), чем менее сложные системы  $B_1$  и  $S_1$ . Во-вторых, системы  $B_2$  и  $S_2$  дают меньшее среднее число рождений (доживших), чем  $B_1$  и  $S_1$ , также только за одним исключением. Оба эти результа-

та можно было ожидать, поскольку всякий, кто думает о будущем, должен ближе подходить к желаемому и особенно стремиться не превосходить его.

Эти результаты выявляют проблему вероятного отсутствия соответствия между желаемой и фактической рождаемостью, даже при достаточно сложных системах контроля. Они также свидетельствуют о том, что изменения фактической рождаемости — как относительные, так и абсолютные — могут оказываться ниже, чем вызвавшие их изменения желаемой рождаемости; это подчеркивает опасность подхода к рождаемости, ориентированного исключительно на спрос.

#### *Эксперимент 4*

До сих пор эксперименты базировались на раз и навсегда принятых желаемых числах (рождений и доживших). Разумно, однако, предположить, что индивидуумы меняют свои предпочтения на протяжении брачной жизни. Причины этого могут быть следующими:

1. Изменение склонностей, возможно, вследствие дополнительной информации относительно полезности и затрат, связанных с рождением детей, полученной в результате рождения первого ребенка.

2. Изменение осведомленности относительно МВЗ по мере получения каких-либо свидетельств этого (например, в результате наблюдений за откладыванием зачатий). Эта причина воздействует еще и косвенно — становятся известны дополнительные издержки, связанные с рождением некоторого данного числа детей, выражающиеся в потере заработка жены, если рождения происходят не «кучно», а растягиваются во времени.

3. Изменение цен, доходов и т. д.

4. Изменение точки зрения на то, что доступно и что недоступно, вызванное преобладанием пессимизма либо оптимизма при постоянных оценках семьей неопределенного будущего.

В ходе этого эксперимента мы предполагаем, что семья пересматривает желаемое число детей после каждого рождения в свете различных взглядов на будущие события. От конкретных распределений вероятностей, применимых к будущим событиям, эти взгляды отличаются лишь в силу случая. Мы исходим из того, что семья прекрасно осведомлена обо всех этих распреде-

лениях и о своей МВЗ, а также постулируем неизменными склонности и связанные с ценами и доходами параметры. Мы, таким образом, ограничиваемся четвертым пунктом приведенного только что перечня. Для простоты мы принимаем следующие допущения: распределение вероятностей вступления в брак ( $b$ ), эффективность контрацепции равна единице (т. е. случайная беременность полностью исключена), брак не прекращается из-за смерти одного из супругов до окончания репродуктивного периода. Кроме того, предполагается, что семья максимизирует функцию полезности:

$$U = n - bn^2 + cY - 0,001C,$$

где  $n$  — число рождений;  $Y$  — поток доходов семьи, получаемых в течение жизни, который, как предполагается, задан в виде

$$Y = Y_H + \alpha Y_F,$$

где  $Y_H$  — доходы мужа плюс доходы жены до брака и в возрасте старше 50 лет;  $Y_F$  — максимально возможные доходы жены от работы по найму в период между вступлением в брак и достижением возраста 50 лет;  $\alpha$  — доля временного интервала между вступлением в брак и достижением возраста 50 лет, когда жена в состоянии работать, при условии, что она может работать, только если у нее нет детей моложе 5 лет;  $C$  — число месяцев, в течение которых практиковалась контрацепция. Коэффициент 0,001 выбран произвольно и представляет выраженные через полезность издержки на месячный запас контрацептивов.

Выбранная функция полезности содержит несколько косвенных допущений, на которые следует указать. Во-первых, существует очевидная, хотя и неопределенная, зависимость между  $n$  и  $\alpha$ ; семья выбирает такое значение  $n$ , которое максимизирует  $U$ , при условии, что она ориентируется именно на такую зависимость. Допустим, что это  $n^*$ . Тогда на значение  $n^*$  не будут оказывать воздействия изменения  $Y_H$ . Таким образом, в ограниченном смысле дети представляют собой как бы нейтральное благо, т. е. нет ни полного отсутствия потребности, ни крайней нужды в них. Мы ввели это предположение, поскольку не располагаем априорными аргументами, позволяющими считать, что значение  $n^*$  будет реагировать положительно или отрицательно на изменения  $Y_H$  в общем контексте. Предельная полезность рождений

уменьшится, если  $b > 0$  при постоянном  $Y$ . Можно сказать, что если заработок жены не уменьшается ввиду каких-либо дополнительных издержек, то избыточная полезность рождения  $r$ -го ребенка отрицательна при  $r > (b+1)/2b$ . Мы описываем эксперименты с двумя значениями  $b$ ,  $b_1=0$  и  $b_2=1/12$ , причем  $r$  соответственно составляет  $r=\infty$  и  $r=6$ .

Помимо  $b$  существует еще только один параметр функции полезности, которому необходимо придать значение, — это  $cY_F$ , полезность, доставляемая доходом жены в период между вступлением в брак и достижением возраста 50 лет, когда у нее нет детей. Ее можно сравнить с единицей измерения функции полезности (если  $b=0$ ), которая есть полезность (за вычетом фактических издержек), полученная от первого ребенка, при условии, что рождение этого ребенка не привело к снижению дохода. Для этого параметра мы принимаем значения 10, 5 и 2.

Модель позволяет семье выбирать начальное желаемое число детей ( $T_1$ ), сопоставляя различные (имитируемые) уровни полезности, при применении контрацепции после каждого очередного рождения. Высший уровень полезности определяет величину  $T_1$ . Этот процесс повторяется после рождения каждого ребенка, и таким образом продуцируется последовательность желаемых чисел детей. Конечное желаемое число детей означает, что либо фактическое число рождений ( $A$ ) равно  $T_2$ , либо к моменту прекращения брака желаемое число детей фактически не было достигнуто. Таким образом,  $T_2 \geq A$ .

Результаты этого эксперимента можно подытожить следующим образом. Каждый вариант рассматривался на основе выборки объемом в 50 семей с идентичными функциями полезности. При  $c=10$ ,  $b=1/12$  рождения вообще не происходят. При  $c=10$ ,  $b=0$  рождения не происходят в 33 семьях, при  $c=5$ ,  $b=0$  — в 19 семьях. Для  $c=2$ ,  $b=0$  и для  $c=2$ ,  $b=1/12$  средние значения  $T_1$ ,  $T_2$  и  $A$  приведены в табл. 9 вместе со средними квадратами отклонений  $T_1$  от  $T_2$ , а также  $T_1$  и  $T_2$  от  $A$ .

Когда  $b=0$ , предельная полезность детей, за вычетом дополнительных издержек, часто считалась возрастающей, поскольку ожидалось, что дополнительный период отсутствия заработка в связи с рождением следующего ребенка часто бывает гораздо короче 60 меся-

## Начальные и конечные ожидаемые числа рождений и фактическое число рождений

$c=2, b=0$	
$\bar{T}_1=7,24$	средний $(T_1-T_2)^2=4,36$
$\bar{T}_2=8,48$	средний $(T_1-A)^2=2,70$
$\bar{A}=6,84$	средний $(T_2-A)^2=4,00$
$c=2, b=1/12$	
$\bar{T}_1=4,66$	средний $(T_1-T_2)^2=0,76$
$\bar{T}_2=4,36$	средний $(T_1-A)^2=1,30$
$\bar{A}=4,12$	средний $(T_2-A)^2=0,32$

цев, особенно для семей с высокой МВЗ. Таким образом, в этом случае семьи редко бывали удовлетворены имеющимся у них числом детей и обычно намеревались пересмотреть желаемое число детей в сторону его увеличения. Следовательно, здесь  $T_2$  в среднем значительно больше, чем  $T_1$ , и все средние квадраты отклонений весьма велики, особенно те, что включают  $T_2$ . Когда  $b=1/12$ , ситуация представляется существенно иной. Здесь желаемые числа детей иногда пересматриваются в сторону их уменьшения и достигают фактических значений, что свидетельствует о применении контрацепции. В этом случае все средние квадраты отклонений были меньше.

Таким образом, характер изменения последовательности желаемых чисел детей будет соответствовать выбранному значению  $b$ , т. е. соответствовать числу детей, подразумевающему отрицательную предельную полезность для дальнейших рождений. Очевидно, что ожидаемое воздействие контрацепции, которая становится доступной супругам, весьма чувствительно к принятому виду функции полезности; в частности, что касается функции, применявшейся в этом эксперименте, то решающее значение имеет, по-видимому, величина  $b$ . Кроме того, мера воздействия не будет безразличной к выбранной последовательности желаемых чисел детей, поскольку, например,  $T_1$  и  $T_2$ , как правило, неодинаковы.

Подход с применением функции полезности и генерирование последовательности желаемых чисел детей — это очевидное и интересное направление развития моде-

ли. Однако этот эксперимент поднимает чрезвычайно существенный вопрос относительно интервалов, разделяющих переоценки намерений. В нашей модели, например, переоценки не происходит, пока не достигнуто некоторое желаемое число детей.

Этот эксперимент показал, что  $T_1$ , как правило, не равно ни  $T_2$ , ни  $A$ . Это происходит, несмотря на полную осведомленность семей относительно МВЗ, отсутствие изменений в склонностях или в экзогенных параметрах и полностью эффективную контрацепцию. Кроме того, поскольку наиболее подходящим аргументом функции полезности считаются числа рождений, а не числа доживающих детей, не требуется никаких переоценок с учетом детской смертности. В дополнение к описанной в разделе II обычной модели, максимизирующей неизменную на протяжении всей жизни полезность, была показана необходимость модели, продуцирующей последовательность желаемых чисел детей на основе последовательности решений с учетом лишь изменения точки зрения семей на будущее. Очевидно, что, чем более универсальна модель в смысле возможности вводить в нее изменяющиеся параметры и неполные данные, тем менее пригодны аналитические модели обычного типа и тем большую значимость приобретает подход, основанный на имитации.

## VII ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В этой работе мы рассмотрели роль имитации при анализе формирования семьи. Было показано, в частности, что имитационный подход есть существенно важное связующее звено между теориями формирования семьи и интерпретацией наблюдаемых данных. Игнорирование либо теории, либо данных неэффективно и, как показано в разделе II, способно привести к ложным выводам. Для того чтобы продемонстрировать надежность имитационного подхода, мы представили в разделе IV простую модель формирования семьи и рассмотрели в разделе V вопросы ввода данных, а также их возможные источники. Конечно, всякая имитация дает представление о реальной системе лишь в той степени, в какой это позволяет качество имеющихся данных. Существуют, однако, два обстоятельства, смягчающих

остроту проблемы. Во-первых, имитационный подход создает явно выраженную необходимость в более совершенных и новых видах данных, сбор которых сам по себе весьма полезен. Во-вторых, имитация дает достаточные возможности изучить чувствительность системы к ошибкам во входных данных.

В разделе VI мы описали различные эксперименты, иллюстрирующие применимость этого подхода. Первый эксперимент касался связи между входным (МВЗ) и выходным (средней «максимальной» рождаемостью) параметрами. Во втором эксперименте выяснялось, может ли интервал между двумя последними рождениями указывать на изменения в практике контрацепции. Оба примера продемонстрировали преимущества, связанные с проведением «контролируемых экспериментов» в «лабораторных» условиях. В последних двух экспериментах рассматривались вариации в основной части модели — в блоке принятия решений. В третьем эксперименте сопоставлялись различные стохастические процессы контроля и было показано, что способ достижения некоторого заданного желаемого числа детей, т. е. выбор системы контроля, воздействует на эффективность этой системы. Заключительный эксперимент рассматривает всего лишь один из множества механизмов, связанных с «изменениями точки зрения».

Нам хотелось бы подчеркнуть два обстоятельства, связанных с проведенным в настоящей работе анализом. Во-первых, имитационная модель с простой системой контроля, но при тщательном выборе данных, может быть с успехом применена к эмпирическим данным, скажем, полученным с помощью метода восстановления истории семьи, для анализа, например, причин демографического перехода. Во-вторых, представляется несомненным, что некоторая модель, включающая стохастические элементы нашей модели, описанной в разделе IV, и к тому же учитывающая возможность «переоценки намерений», рассмотренную в четвертом эксперименте раздела VI, не может дать какие-либо результаты иначе, как путем имитации.

Настоящая работа представляет собой начальную стадию долгосрочного исследовательского проекта. Мы, однако, надеемся, что она в состоянии стимулировать исследования и обсуждение проблемы применения имитации в моделях формирования семьи.



1. Barrett J. Use of a fertility simulation model to refine measurement techniques.—*Demography*, vol. 8, 1971, p. 481.
2. Becker G. S. An economic analysis of fertility.— In: *Demographic and Economic Change in Developed Countries*. Princeton, 1960, p. 231.
3. Becker G. S. A theory of the allocation of time.—*Economic Journal*, vol. 75, 1965.
4. Berelson B. KAP studies on fertility.— In: *Family Planning and Population Programs*. Ed. by B. Berelson. Chicago, 1968.
5. Bourgeois-Pichat J. Les facteurs de la fécondité non dirigée.—*Population*, vol. 20, 1965, p. 383—424.
6. Carlsson G. The decline of fertility: innovation or adjustment process.—*Population Studies*, vol. 20, 1966, p. 149—174.
7. Coale A. J. Factors associated with the development of low fertility: An historic summary.— In: *Proceedings of the World Population Conference*, vol. II, United Nations, 1967, p. 205—209.
8. Crafts N. F. R. and Ireland N. J. Family limitation and the English demographic revolution: a simulation approach.—*Warwick Economic Research Paper*, № 43.
9. Davis K. and Blake J. Social structure and fertility.—*Economic Development and Cultural Change*, vol. 4, 1956, p. 211—235.
10. Döring G. K. The incidence of anovular cycles in women.—*Journal of Reproduction and Fertility*, Supplement 6, 1969, p. 77—81.
11. Easterlin R. A. The economics and sociology of fertility: a synthesis. University of Pennsylvania, 1973 (Mimeographed).
12. French F. E. and Bierman J. M. Probabilities of fetal mortality.—*Public Health Reports*, vol. 77, 1962, p. 835—847.
13. Gautier E. et Henry L. La population de Crulai: paroisse Normande. Paris, 1958.
14. Hawthorn G. The sociology of fertility. London, 1970.
15. Henry L. Anciennes familles Genèveises. Paris, 1956.
16. Henry L. La fécondité naturelle: observation-théorie-résultats.—*Population*, vol. 16, 1961, p. 625—634.
17. Janowitz B. S. An econometric analysis of trends in fertility rates.—*Journal of Development Studies*, vol. 9, 1973, p. 413—425.
18. Leibenstein H. The economic theory of fertility decline. *Harvard Institute of Economic Research Discussion Paper* № 292, 1973.
19. Michael R. T. Education and the derived demand for children.—*Journal of Political Economy*, vol. 81, 1973, p. S142.
20. Notestein F. W. The economics of population and food supplies.— In: *Proceedings of the Eighth International Conference of Agricultural Economists*, London, 1953.
21. Phillips L. et al. A synthesis of the economic and demographic models of fertility: an econometric test.—*Review of Economics and Statistics*, vol. 51, 1969, p. 298—308.
22. Potter R. G. Birth intervals: structure and change.—*Population Studies*, vol. 17, 1963, p. 155—162.

23. Potter R. G. and Sakoda J. M. Family planning and fecundity.—*Population Studies*, vol. 20, 1967, p. 311—328.
24. Retel-Laurentin A. Fécondité et syphilis dans la région de la Volta Noire.—*Population*, vol. 28, 1973, p. 793—815.
25. Ridley J. C. and Sheps M. C. An analytic simulation model of human reproduction with demographic and biological components.—*Population Studies*, vol. 19, 1966, p. 297—310.
26. Ridley J. C. et al. On the apparent sub-fecundity of non-family planners.—*Social Biology*, vol. 16, 1969, p. 24—28.
27. Roy T. K. and Venkatacharya K. An application of analysis of variance technique to Monte Carlo data of human reproduction.—*Sankhya*, ser. B, vol. 33, 1971, p. 293—304.
28. Saxton G. A. and Serwadda D. M. Human birth interval in East Africa.—*Journal of Reproduction and Fertility*, suppl. 6, 1969, p. 83—88.
29. Schultz T. P. Explanation of birth rate changes over space and time: a study of Taiwan.—*Journal of Political Economy*, vol. 81, 1973, p. S238—274.
30. Schultz T. W. The value of children: an economic perspective.—*Journal of Political Economy*, vol. 81, 1973, p. 54.
31. Shapiro S. et al. A life table of pregnancy terminations and correlates of fetal loss.—*Milbank Memorial Fund Quarterly*, vol. 40, 1962, p. 7—45.
32. Sheps M. C. and Perrin E. B. Changes in birth rates as a function of contraceptive effectiveness: some applications of a stochastic model.—*American Journal of Public Health*, vol. 53, 1963, p. 1031—1045.
33. Stoeckel J. and Chowdhury A. K. M. Alauddin. Neonatal and post-neonatal mortality in a rural area of Bangladesh.—*Population Studies*, vol. 26, 1972, p. 115.
34. Stycos J. M. and Back K. W. The control of human fertility in Jamaica. Ithaca, 1964.
35. Tabarrah R. B. Towards a theory of demographic development.—*Economic Development and Cultural Change*, vol. 19, 1971, p. 359.
36. United Nations. Foetal, infant and early childhood mortality. New York, 1954.
37. Venkatacharya K. Some problems in the use of open birth intervals as indicators of fertility change.—*Population Studies*, vol. 26, 1972, p. 495—505.
38. Willis R. J. A new approach to the economic theory of fertility behavior.—*Journal of Political Economy*, vol. 81, 1973, p. S17.
39. Wrigley E. A. Family limitation in pre-industrial England.—*Economic History Review*, vol. 19, 1966, p. 82—109.
40. Wrigley E. A. Mortality in pre-industrial England: the example of Colyton,, Devon, over three centuries.—*Daedalus*, vol. 97. 1968, p. 546—580.

*Сюнити Иноуэ*

**ВЫБОР МЕР  
ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РОЖДАЕМОСТЬ.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕМ  
МИКРОИМИТАЦИИ НА ЭВМ**

Shunichi Inoue. Choice of Policy Measures to Affect Fertility: A Computer Micro-simulation Study.—*Population Bulletin of the United Nations*, № 10, 1977, UN, NY, 1978, p. 14—35.

**ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Согласно проведенному ООН в 1976 г. «Третьему опросу правительств относительно демографической политики в контексте экономического развития» 40 стран осуществляли политику, направленную на снижение уровня естественного прироста населения [7]. Общая численность населения этих стран в 1977 г. оценивается величиной порядка 2,2 млрд. человек, что составляет 56% численности населения мира и 78% численности населения развивающихся регионов. Поскольку ни одна из стран не намеревается для этого увеличивать уровень смертности, цель их политики можно с достаточной уверенностью интерпретировать как снижение уровня рождаемости. Иными словами, большинство людей в развивающихся регионах, где рождаемость все еще остается очень высокой, живет, по-видимому, в условиях правительственной политики, направленной на снижение тем или иным образом этого уровня. Эта доля, безусловно, достаточно велика, чтобы при эффективном осуществлении такой политики оказать существенное воздействие на перспективы рождаемости и роста численности населения в мире.

В такой ситуации нецелесообразно было бы недооценивать или не принимать во внимание возможное воздействие политики правительств на тенденцию рождаемости в будущем, особенно в ходе подготовки всеобъемлющих демографических прогнозов для стран мира в Секретариате ООН. Количественная оценка воздействия демографической политики на уровень рождаемости представляет собой весьма трудную задачу и требует тех или иных предположений относительно распространенности и темпов реализации демографической политики. Тем не менее такого рода выкладки могут не только оказаться полезными для получения более совершенных оценок будущей численности населения отдельных стран, но и дать возможность пересмотра целей демографической политики, путей и средств ее реализации.

До настоящего времени исследования по этой проблеме ограничивались главным образом оценкой программ планирования семьи, принятых правительствами и другими государственными учреждениями [3], [4], [10], [26], [28]. В такого рода исследованиях обычно делается попытка оценить численность принявших контроль рождаемости и долю не прекративших планирование семьи, чтобы определить, в какой степени снижение рождаемости можно отнести на счет осуществления программы. Хотя все эти исследования преследуют свои цели и обладают своими достоинствами, они, как правило, охватывают сравнительно узкие технические аспекты из всей совокупности возможных мер демографической политики. Их ограниченность очевидна, поскольку контрацепция может практиковаться вне рамок правительственных программ, особенно в условиях широкого распространения каких-либо традиционных местных способов контрацепции. Более важно, однако, то обстоятельство, что детерминанты изменения рождаемости и сопутствующий им выбор мер демографической политики могут не укладываться в рамки, обычно устанавливаемые для планирования семьи. Теоретически можно утверждать, что всесторонняя политика в области рождаемости должна формулироваться с учетом всех аспектов тех процессов, которые определяют рождаемость. Такое широкое формулирование политики сопряжено со значительными трудностями не только из-за большого числа факторов, которые необходимо принимать во внимание, но и вследствие сложности взаимосвязей как между самими

факторами, так и между этими факторами и обусловленными ими изменениями рождаемости. Умозрительно, однако, представляется возможным и даже многообещающим выделить некоторые основные элементы, которые служат как бы проводниками воздействия на рождаемость как социально-экономических изменений, так и правительственных программ и мероприятий. К числу этих промежуточных элементов, или промежуточных переменных, можно отнести возраст вступления в брак, желаемое число детей, степень распространения контрацепции, эффективность методов контрацепции, искусственные аборты, коэффициент младенческой смертности и т. д.<sup>1</sup> Эти элементы можно рассматривать в некотором смысле как меры реализации демографической политики, поскольку она может проводиться в жизнь только путем воздействия на эти переменные.

Переменные, влияющие на рождаемость, можно разделить на две группы или слоя. К первому слою относится процесс, в ходе которого недемографические факторы, такие, как социально-экономические изменения, а также правительственная политика, воздействуют тем или иным образом на промежуточные переменные; ко второму слою — процесс, в ходе которого эти промежуточные переменные определяют значения коэффициентов рождаемости в соответствии со строго структурированными биодемографическими процессами. Второй уровень детерминации рождаемости известен исследователям лучше, хотя он достаточно сложен и требует тщательного изучения. Для исследования проблем, относящихся ко второму уровню, вполне пригодны приемы имитационного моделирования, подобные представленным в настоящей работе. Можно надеяться, что понимание процессов второго уровня детерминации рождаемости в конечном счете поможет прояснить проблемы первого уровня и облегчит разработку системы всеобъемлющих мер демографической политики, направленных непосредственно на достижение установленной цели такой политики.

Таким образом, задача настоящего исследования — разработка и применение имитационной модели воспроизводства населения для изучения различных вариантов изменения уровня рождаемости в развивающихся стра-

---

<sup>1</sup> Промежуточные переменные здесь понимаются в более широком смысле, чем это было впервые определено Дэвисом и Блейк [8].

нах при некоторых предположениях относительно выбора тех или иных мер демографической политики. Как будет показано в следующем разделе, в настоящей работе принята модель типа микроимитационной модели рождаемости с биодемографическими компонентами. Входные переменные модели представляют собой упомянутые ранее «промежуточные» переменные, и, таким образом, их можно рассматривать как меры демографической политики\*. Такую же модель можно применить для отыскания набора или комплекса мер демографической политики, осуществимых на практике и гарантирующих достижение поставленных целей. Кроме того, предполагая те или иные тенденции изменения этих входных переменных с учетом или без учета правительственного вмешательства, с помощью модели можно строить предположения о будущих изменениях рождаемости для перспективных расчетов населения.

При микроимитации подобного рода исходя из заданных предположений имитируется большое число историй репродуктивной жизни женщины, и затем на основе полученных результатов вычисляются различные показатели рождаемости. Эта методика предъявляет к исходным данным два противоречивых требования. С одной стороны, для модели нужно иметь в качестве входных данных значительное количество биологических и демографических переменных. С другой стороны, входные переменные должны быть простыми и сравнительно легко доступными, чтобы модель могла быть применима к развивающимся странам, где таких данных, как правило, недостает. Принятое в настоящей работе решение этой дилеммы состоит в том, что подготавливаются альтернативные наборы оценок для различных распределений вероятностей демографических и биологических событий, на основе которых могут быть получены приемлемые оценки упрощенных входных переменных. Кроме того, модель должна обладать свойством динамичности, т. е. способностью имитировать коэффициенты рождаемости на протяжении определенного периода времени, допуская при этом изменения в предполагаемых значениях входных переменных. Это свойство динамичности даст возможность более реалистично показать воздейст-

---

\* Т. е. как результат воздействия определенных мер демографической политики. — *Примеч. ред.*

вие демографической политики на коэффициенты рождаемости на протяжении заданного временного интервала.

Для того чтобы решить сформулированные задачи исследования, были определены следующие цели:

1. Разработать реализуемую на ЭВМ имитационную модель рождаемости с биодемографическими компонентами, пригодную для оценки демографической политики и для прогноза уровня рождаемости.

2. Подготовить оценки распределений вероятностей для таких переменных, как возраст вступления в брак, постоянная стерильность по возрасту, младенческая смертность по месяцам первого года жизни, эффективность методов контрацепции и коэффициенты внутриутробной смертности по возрасту женщины, чтобы облегчить применение модели в различных условиях, особенно в случае, когда недостает необходимых данных.

3. Проверить надежность и обоснованность модели путем применения ее для населения, не практикующего контрацепции, т. е. характеризуемого естественной рождаемостью. Для этой цели были выбраны гуттериты.

4. Проверить надежность и обоснованность модели путем применения ее для населения, практикующего контрацепцию, в частности для населения Японии.

5. Изучить демографическую политику в отдельно взятой развивающейся стране (Пакистан) и оценить значения соответствующих входных переменных. Основываясь на этой оценке и применив модель, произвести имитацию коэффициентов рождаемости для этой страны с учетом существующей демографической политики в конкретный период времени.

6. Произвести имитацию изменений рождаемости в конкретный период времени с альтернативными наборами входных переменных, которые можно рассматривать как альтернативные предположения относительно мер демографической политики для той же страны.

7. Объединить результаты имитации с перспективными расчетами населения для выбранной развивающейся страны.

Настоящая работа представляет собой предварительное сообщение об исследовании путем имитации, цели и характеристики которого описаны ранее. После вводного раздела идет краткое описание характеристик модели и результаты проверки ее надежности при имитации применительно к данным о рождаемости для гуттеритов и

Японии. Наиболее подробные расчеты по модели были проделаны для Пакистана; они охватывают следующие четыре аспекта: а) имитацию существующих возрастных коэффициентов рождаемости; б) оценку эффекта различных предположений для каждой из мер демографической политики или входной переменной; в) имитацию изменений во времени тенденций рождаемости с правдоподобными альтернативными предположениями о мерах демографической политики. В последнем разделе работы представлены результаты перспективного расчета численности населения Пакистана, включая несколько результатов имитации, которые могут быть полезными для расчетов будущей численности и состава населения развивающихся стран. В приложении приведено описание методических особенностей модели и другие необходимые сведения.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛИ

Модель, разработанная для настоящего исследования, представляет собой микроимитационную модель рождаемости с биодемографическими компонентами. Модель предназначена для получения возрастных коэффициентов рождаемости и других показателей рождаемости, таких, как распределение женщин по числу рожденных ими детей и продолжительность интервалов между рожденьями. Эти результаты могут быть использованы для многих целей, в том числе и для перспективных исчислений населения, выполненных в ООН. Входные переменные модели упрощены таким образом, чтобы ее можно было применять для развивающихся стран. Входные переменные, или, строго говоря, переменные, промежуточные между уровнем рождаемости и социально-экономическими и культурными детерминантами, могут рассматриваться также как меры демографической политики, и поэтому модель можно применить для оценки воздействия этих мер демографической политики на уровень рождаемости. Еще одно свойство настоящей модели заключается в том, что с ее помощью можно имитировать процесс в динамике. Благодаря этому возможна оценка тенденций рождаемости на протяжении 35 лет с учетом изменений исходных предположений. Это может оказаться полезным как для прогнозирования, так и для



выяснения воздействия демографической политики во времени.

Модель называется *микромоделью*, поскольку она генерирует с помощью ЭВМ на стохастической основе большое число историй репродуктивной жизни отдельных женщин. Данная модель предусматривает имитацию максимум 1000 историй репродуктивной жизни женщин и обобщение результатов в виде различных показателей рождаемости. Модель называется также *биодемографической*, поскольку она включает как биометрические элементы (оплодотворяемость, внутриутробная смертность и стерильность), так и демографические элементы (возраст, брачное состояние, число рожденных детей, желаемое число детей, контрацепция и стерилизация)<sup>2</sup>.

Говоря более конкретно, в рамках модели репродуктивная жизнь женщины рассматривается следующим образом: репродуктивный период в целом — его можно определить как промежуток времени, начинающийся в 15—20-летнем возрасте, в котором женщина состоит в браке и способна к деторождению, — складывается из одного или нескольких репродуктивных циклов. Каждый репродуктивный цикл, в свою очередь, состоит из трех периодов: периода откладывания зачатия (contraction delay), периода беременности и периода послеродовой стерильности. Последний репродуктивный цикл женщины обычно прерывается ввиду того, что в некоторый момент либо периода откладывания зачатия, либо периода послеродовой стерильности оканчивается ее репродуктивный период в целом.

В настоящей модели период откладывания зачатия определяется месячной вероятностью зачатия, которая, как предполагается, изменяется с возрастом женщины. При отсутствии контрацепции эта вероятность будет равна оплодотворяемости; в случае применения контрацепции эта вероятность становится остаточной оплодотворяемостью. Периоды беременности, следующие после зачатий, значительно различаются в зависимости от исхода беременности: живорождение, внутриутробная смерть (включая мертворождение) или искусственный аборт. Период послеродовой стерильности, или «мертвый» период, зависит не только от исхода беременности, но также, в случае живорождения, и от продолжительности

---

<sup>2</sup> См. классификацию имитационных моделей в работе [22].

жизни ребенка, и от обычаев грудного вскармливания. После этого «мертвого» периода начинается следующий репродуктивный цикл, причем риск зачатия возобновляется. Репродуктивные циклы повторяются до тех пор, пока женщина не достигает конца своего репродуктивного периода в целом, как это определено в предыдущем абзаце.

Практика планирования семьи<sup>4</sup> включается в модель, когда супружеская пара желает ограничить величину семьи или соблюдать определенные промежутки между рождениями. Готовность приступить к планированию семьи с целью прекращения деторождения (stopping) появляется лишь после того, как число живых детей достигает желаемого их числа; разность между этими двумя величинами называется в настоящей работе избыточным числом детей (number of excess children). Однако, если женщина готова прекратить или отложить (spacing) деторождение, она может либо прибегать, либо не прибегать к контрацепции, в зависимости от заданной степени распространенности практики контрацепции (contraceptive practice rate). В случае если практикуется контрацепция, оплодотворяемость может быть снижена до уровня остаточной оплодотворяемости в такой степени, в какой это обеспечивается эффективностью выбранного метода контрацепции при постоянном его применении (extended use-effectiveness). Если зачатие наступает слишком скоро по сравнению с желаемым сроком рождения ребенка или вопреки намерению прекратить деторождение, то беременность может быть прервана искусственным абортом, в зависимости от заданного коэффициента распространенности искусственных абортов (см. рисунок).

Поскольку микроимитационная модель — это числовая модель, она не требует тщательного аналитического обоснования предмета, а вместо этого в ней широко применяется такой метод статистических или стохастических испытаний путем получения на ЭВМ случайных чисел, как метод Монте-Карло. Иными словами, при имитации наступление и распределение во времени многих событий определяется путем последовательного получения на ЭВМ ряда случайных чисел в соответствии с некоторыми

---

\* Имеется в виду ограничение или откладывание деторождения супругами. — *Примеч. ред.*

(Репродуктивный цикл)

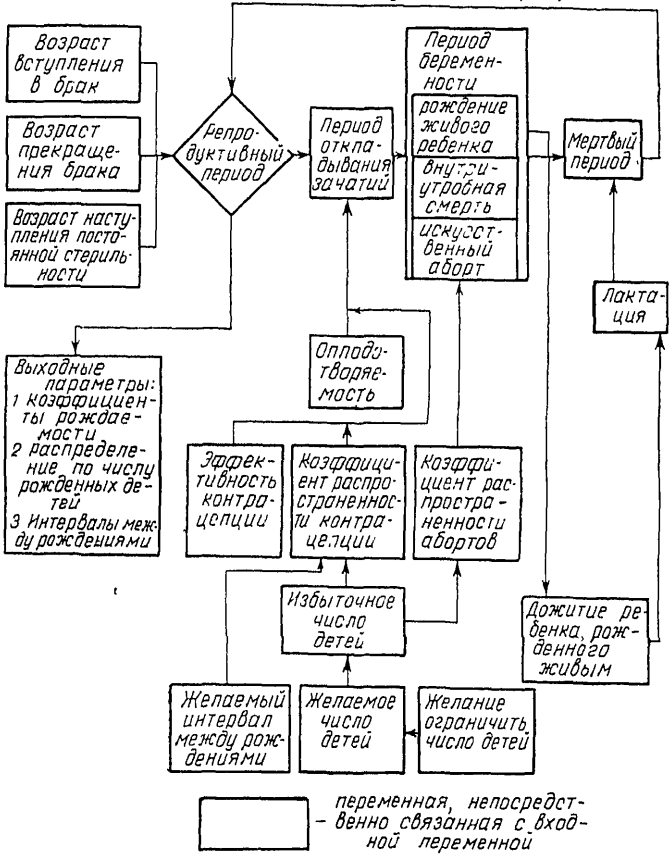


Схема имитационной модели

заданными распределениями вероятностей. Например, распределение зачатий в пределах периода деторождения определяется в модели на основании месячной вероятности зачатия следующим образом: для первого месяца после вступления в первый брак или после возобновления возможности зачатия с помощью ЭВМ генерируется случайное число  $R_1$  ( $0 < R_1 < 1$ ) и сопоставляется со значением вероятности зачатия, скажем 0,2; если  $R_1$  равно или меньше 0,2, то считается, что зачатие на пер-

вом месяце произошло, но если  $R_1$  больше 0,2, то зачатие откладывается до второго месяца. Для второго месяца заново генерируется случайное число  $R_2$  и, если вероятность зачатия остается той же, снова сопоставляется с 0,2. Процесс продолжается до тех пор, пока на  $n$ -ом месяце не окажется, что  $R_n \leq 0,2$ . Очевидно, что значения  $n$  могут быть различными и для каждого зачатия, и для каждой женщины, но если объединить их, то распределение случаев откладывания зачатий будет иметь среднее значение, равное 5 месяцам, и среднее квадратичное отклонение 4,4 месяца. Если бы модель была не стохастической, а детерминистской, то откладывание зачатия для всех женщин в рассмотренном примере составляло бы постоянную величину, равную 5 месяцам.

Несмотря на очевидную сложность, микроимитационная модель с биодемографическими компонентами имеет как инструмент исследования ряд преимуществ. Они заключаются в возможности манипулировать таким большим количеством входных переменных и предусматривать такую сложную структуру модели, какие требуются исследователю; при этом взаимодействия переменных не искажают результатов и не требуется чрезмерно большой памяти ЭВМ [15], [17], [29], [35]. Как сообщается, некоторые из макроимитационных моделей рождаемости имеют ограниченную точность ввиду недостаточной мощности ЭВМ [27]. С другой стороны, микроимитационные модели, содержащие только демографические компоненты (например, модель POPSIM) [16], [34], по-видимому, уязвимы в отношении входных переменных. Последняя модель, например, для определения при имитации возраста наступления беременности у отдельной женщины требует таких специальных коэффициентов рождаемости, как коэффициенты рождаемости по возрасту, брачному состоянию, очередности рождения вместе, дифференцированных, кроме того, в зависимости от того, практикуют ли супруги контрацепцию. Очевидно, сама по себе оценка такого рода специальных коэффициентов рождаемости составляет сложную задачу.

Для того чтобы имитировать историю репродуктивной жизни женщины с помощью настоящей модели, были выбраны 14 входных переменных, причем критерием отбора служила сравнительная простота их получения для большинства развивающихся стран. Как уже отмечалось, эти переменные в известном смысле представ-

ляют собой промежуточные переменные, связывающие чисто демографические процессы воспроизводства с социальными, экономическими и прочими внешними факторами, от которых в конечном счете зависит рождаемость. Сами по себе входные переменные модели могут также рассматриваться как меры демографической политики.

### *Перечень входных переменных*

#### **А. Брачность.**

1. Расчетный средний возраст при вступлении в брак (годы).

2. Доля женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет.

3. Доля женщин в возрасте 20, 35 и 50 лет, брак которых прекратился вследствие развода или смерти супруга.

#### **Б. Здоровье и лактация.**

4. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (годы).

5. Уровень стерильности (высокий, средний или низкий).

6. Средняя продолжительность грудного вскармливания (месяцы).

#### **В. Мотивы к принятию планирования семьи.**

7. Доля супружеских пар, имеющих желаемое число детей.

8. Среднее желаемое число детей.

9. Желаемый интервал между рождениями:

а) между вступлением в брак и первым рождением;

б) интервалы между последовательными рождениями.

#### **Г. Практика планирования семьи.**

10. Показатель распространенности практики контрацепции для прекращения или для откладывания деторождения.

11. Коэффициент распространенности искусственных абортов для прекращения или для откладывания деторождения.

12. «Коэффициент стерилизации» для супружеских пар, принявших этот метод.

13. Сравнительный уровень эффективности контрацепции (высокий, средний или низкий).

14. Распределение практикующих контрацепцию по применяемым методам: а) ВМП (внутриматочное приспособление); б) пероральные средства; в) кондом; г) прерванное сношение; д) метод ритма; е) диафрагма; ж) воздержание; з) промывание; и) прочие методы.

Упрощение входных переменных при сохранении достаточной точности имитации можно проиллюстрировать на примере возраста женщины при вступлении в брак. Возраст при вступлении в брак в микроимитационной модели определяется обычно на основе месячной вероятности вступления в брак. Для этого необходим ряд таких вероятностей, который трудно получить из-за отсутствия во многих развивающихся странах необходимых данных. Практичность модели ограничивается, поскольку оценка этого распределения вероятностей требует значительных усилий. В настоящей модели единственная необходимая входная переменная — это расчетный (singulate) средний возраст при вступлении в брак для женщин в данном населении, который сравнительно легко может быть вычислен на основе материалов переписи населения [11]. Затем специальная подпрограмма преобразует его в распределение вероятностей, необходимое для определения возраста вступления в брак отдельной женщины (см. приложение 1). Аналогичные подпрограммы предусмотрены для того, чтобы получить распределение женщин по желаемому числу детей на основании среднего желаемого числа детей и времени, проживаемого новорожденными — на основании ожидаемой продолжительности жизни при рождении для населения в целом. Другие параметры, такие, как процент стерильных пар по возрасту и эффективность каждого из методов контрацепции, также оцениваются предварительно, отдельно для высокого, среднего и низкого уровней, и хранятся в памяти машины. Таким образом, требуется лишь одна команда для того, чтобы выбрать ту или иную из уже готовых оценок, которая наилучшим образом отвечает исследуемому населению.

Другая особенность настоящей модели — динамический характер имитации — дает возможность изучить изменение рождаемости во времени на протяжении периода до 35 лет. Настоящая модель может работать как в динамическом, так и в статическом режиме. При выборе динамического режима ЭВМ имитирует коэффициенты рождаемости для 13 последовательных когорт, от-

деленных одна от другой пятилетними интервалами, каждая из которых характеризуется различными значениями входных переменных. Предполагаемые значения одних переменных одинаковы для каждой из когорт, других — для каждого из периодов. Например, средний возраст при вступлении в брак для когорты есть постоянная, но от когорты к когорте он может меняться. С другой стороны, показатель распространенности практики контрацепции постоянен на протяжении пятилетнего периода для нескольких когорт, которые проходят через этот период в различных возрастах. После того как коэффициенты рождаемости для 13 когорт имитированы, модель автоматически преобразует когортные коэффициенты рождаемости по пятилетним возрастным группам в коэффициенты для последовательных календарных периодов. Таким образом получаются коэффициенты для семи полных пятилетних календарных периодов, охватывающих в общей сложности 35 лет.

Одним из недостатков биодемографической модели принято считать сложность получения биометрических параметров. Может быть, именно этой проблемой объясняется недостаточно широкое применение биодемографических моделей при изучении рождаемости в развивающихся странах. Однако благодаря новейшим исследованиям в этой области мы располагаем теперь набором вполне удовлетворительных оценок биометрических параметров, необходимых для моделей этого типа [21]. Большинство таких оценок, по-видимому, применимы, с некоторыми модификациями, для развивающихся стран. Для того чтобы сделать модель действительно применимой для развивающихся стран, большая часть необходимых параметров была оценена и введена в память ЭВМ. Например, на основе опубликованных исторических данных была оценена для трех уровней коэффициентов стерильности по возрасту (высокого, среднего и низкого) доля постоянно стерильных супружеских пар по возрасту жены, которая необходима для определения всего репродуктивного периода для данной супружеской пары. Таким образом, теперь достаточно лишь выбрать общий уровень стерильности из трех альтернативных наборов его оценок. Если уровень стерильности определить трудно, тогда имитации с применением этих альтернативных оценок смогут, вероятно, указать, какая из оценок больше всего подходит для данного населения. Аналогичный под-

ход предусмотрен и для определения коэффициентов внутриутробной смертности по возрасту матери.

Техническое описание модели представлено в приложении 1. Тем не менее уместно рассмотреть некоторые основополагающие проблемы, связанные с моделью, для того, чтобы лучше понять природу имитаций, проводимых в настоящем исследовании. Речь идет о следующих проблемах.

### *Оплодотворяемость*

Большинство биометрических переменных, в том числе и оплодотворяемость, трудно оценить достаточно точно. Была принята следующая последовательность действий: сначала получить правдоподобный диапазон оценок для биометрических переменных, а затем проверить их с помощью настоящей модели, чтобы выяснить, дают ли они коэффициенты рождаемости гуттеритов. Оплодотворяемость, коэффициент внутриутробной смертности и продолжительность послеродовой стерильности выбирались таким образом, чтобы набор этих переменных давал при имитации коэффициенты рождаемости, максимально близкие к значениям, характерным для гуттеритов. Например, исследования показывают, что оценки действительной оплодотворяемости колеблются в диапазоне от 0,16 до 0,25 [1], [12], [13], [18], [25], [30], [31], [32], [36], хотя фактически число рождений у женщины, не прибегающей к контрацепции, определяется не только уровнем оплодотворяемости, но и другими факторами, в частности коэффициентом внутриутробной смертности. Таким образом, при разработке имитационной модели первый этап состоял в том, чтобы оценить коэффициент внутриутробной смертности; его значение было взято из исследования Леридона [21], на которое мы уже ссылались. Затем был произведен ряд имитаций, в ходе которых оплодотворяемости придавались различные значения, чтобы определить, какое из них лучше всего соответствует коэффициенту, характерному для гуттеритов. Оказалось, что такое соответствие достигается в том случае, когда оплодотворяемость, взятая как функция возраста женщины, составляет 0,01 в возрасте 15 лет, достигает максимального уровня 0,28 в 24—28 лет и затем снижается до 0,10 к 50 годам.

Ввиду отсутствия достаточных сведений, необходимых



для дальнейших уточнений, предполагается, что большинство биометрических переменных, включая оплодотворяемость и коэффициент внутриутробной смертности, которые подходят для гуттериток, применимы также и для других населений. Практически, чтобы получить приемлемое приближение соответствующих наблюдений, тот же самый ряд показателей оплодотворяемости был применен в настоящем исследовании при имитации коэффициентов для Японии и Пакистана.

### *Воздействие смертности на рождаемость*

Модель исходит из предположения, что продолжительность жизни каждого живорожденного ребенка будет определяться (на основе рядов  $l_x$ , т. е. чисел доживающих до возраста  $x$  из исходной когорты в 100 000 родившихся) общим уровнем смертности, представленным семейством моделей «Запад» в модельных таблицах смертности (см. Региональные модельные таблицы смертности Коула и Демени [6]). Дожитие ребенка связывается затем с репродуктивным поведением в двух отношениях. Во-первых, предполагается определить число доживающих детей, сопоставление которого с желаемым числом детей мотивирует применение контрацепции для предотвращения следующей, нежелательной, беременности. Во-вторых, предполагается, что продолжительность дожития ребенка влияет на продолжительность периода грудного вскармливания и тем самым оказывает воздействие на продолжительность периода послеродовой стерильности.

### *Грудное вскармливание и послеродовая стерильность*

Во многих исследованиях отмечалось существование определенной связи между продолжительностью грудного вскармливания и продолжительностью послеродовой стерильности. На основании работы Леридона [21] в настоящем исследовании принято предположение, что эта связь может быть выражена следующей формулой:

$$\text{ПРС} = \text{ГВ} \cdot 0,5 + 2,0,$$

где ПРС означает послеродовую стерильность (в месяцах), а ГВ — грудное вскармливание (в месяцах). Если ребенок умирает до окончания обычного периода груд-

ного вскармливания, то величина ГВ соответственно уменьшается.

### *Контрацепция, стерилизация и искусственный аборт*

Основное допущение настоящей модели заключается в том, что контрацепция, стерилизация и (или) искусственный аборт существуют лишь в том случае, если для этого имеется некоторая мотивация. Такой мотивацией может быть желание ограничить величину семьи (прекращение деторождения) либо соблюсти определенный интервал между рожденьями (откладывание деторождения). Например, во многих обследованиях распространенность контрацепции измеряется отношением числа практикующих контрацепцию к общему числу опрошенных женщин. Но отдельные стерильные и (или) беременные женщины могут быть исключены из расчетов, поскольку у них нет необходимости прибегать к контрацепции. Кроме того, есть основание исключить из знаменателя показателя распространенности контрацепции тех женщин, у которых вовсе нет мотивов прибегать к контрацепции. Таким образом, применяемый в настоящей модели уточненный коэффициент распространенности контрацепции может быть определен как специальный коэффициент распространенности, вычисляемый для способных к деторождению замужних женщин, имеющих мотивы прибегать к контрацепции.

Причина применения этого уточненного коэффициента вместо общепринятого заключается не только в том, что он лучше отражает уровень осведомленности или установки населения относительно контрацепции, а также доступность средств контрацепции в обществе, но и в том, что он позволяет проанализировать путем имитации как эффект изменения желаемого числа детей, так и, отдельно, распространенность практики контрацепции среди тех, кто испытывает в этом потребность. Хотя такого рода уточненный коэффициент применялся не очень часто, его можно вычислить на основе данных некоторых обследований, таких, как Всемирное обследование плодovitости в ряде стран. Говоря более конкретно, коэффициент распространенности контрацепции среди состоявших в браке, способных к деторождению и не желающих иметь больше детей, можно применить в качестве

показателя контрацепции для прекращения деторождения, а обычно применяемый коэффициент контрацепции среди тех, кто еще не достиг желаемого числа детей, — как показатель контрацепции для откладывания деторождения.

### Ошибки выборки

Коэффициенты рождаемости, получаемые при микроимитации, — это в некотором смысле выборочные средние, которые подвержены вероятностной ошибке, поскольку они вычисляются на основе событий, определяемых несколькими вероятностями. Насколько велики пределы этой ошибки? Сколько «прогонов» необходимо, чтобы добиться желаемой точности результатов? Эти вопросы имеют определенное значение для микроимитационных исследований, подобных настоящему. Из многих показателей рождаемости, которые могут быть имитированы с помощью представленной здесь модели, для оценки его стандартной ошибки был выбран суммарный коэффициент рождаемости. Суммарный коэффициент рождаемости для когорты равен среднему числу детей на одну женщину этой когорты к концу детородного периода (completed family size). Иными словами, его можно рассматривать как выборочное среднее из чисел детей к концу детородного периода у отдельных женщин. На основании ряда имитаций применительно к современным коэффициентам рождаемости для Пакистана, в результате 13 000 прогонов были получены значения среднего числа детей к концу детородного периода и среднего квадратичного отклонения, составляющие соответственно  $\bar{X}=7,10$  и  $s_x=3,18$ . По этим характеристикам была составлена следующая табличка, содержащая среднее

Количество прогонов	Среднее квадратичное отклонение выборочной средней $\frac{s_x}{\sqrt{n}}$	$1,96 \frac{s_x}{\sqrt{n}}$	95%-ный доверительный интервал
100	0,320	0,627	6,5—7,7
300	0,184	0,361	6,7—7,5
500	0,142	0,278	6,8—7,4
1 000	0,101	0,198	6,9—7,3
5 000	0,045	0,088	7,0—7,2

квадратичное отклонение выборочной средней и доверительный интервал оценки средней при 95%-ной доверительной вероятности. Видно, что при 1000 прогонах для когорты предельная ошибка при 95%-ном доверительном уровне составляет 0,2, или 3,1% средней. При среднем значении 7,1 соответствующий доверительный интервал составляет  $7,1 \pm 0,2$ , т. е. от 6,9 до 7,3.

## НАДЕЖНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИИ

Прежде чем приступить к применению модели для оценки и изучения мер демографической политики, а затем и для перспективных расчетов населения, необходимо было проверить надежность результатов имитации, чтобы ко всякому заключению, выведенному на основе имитации, можно было отнестись с достаточным доверием. При проверке в качестве точек отсчета были взяты рождаемость гуттеритов в США и рождаемость в послевоенной Японии, отчасти ввиду наличия достоверных данных, а отчасти потому, что они представляют популяции, соответственно не практикующие и практикующие контрацепцию. Основа методики проверки заключалась в следующем: а) на основе опубликованных данных оценить все входные переменные с максимально возможной точностью; б) применить эти оценки в модели; в) сопоставить имитированные коэффициенты с фактическими. При имитировании рождаемости гуттеритов может быть поставлена дополнительная задача изучить возможный диапазон колебаний коэффициентов естественной рождаемости в различных условиях, поскольку рождаемость гуттеритов — это один из многих возможных ее вариантов. Данные о рождаемости в Японии позволяют изучить динамическое свойство модели, в частности, путем попытки имитировать переход от высокого к низкому уровню рождаемости в Японии на протяжении послевоенного периода, с конца 1940-х до начала 1960-х гг.

### *Гуттериты*

Гуттериты — это этническая группа, проживающая в нескольких северо-западных штатах США и в прилегающих к ним провинциях Канады. Известно, что они характеризуются самым высоким уровнем рождаемости, когда-либо достоверно зарегистрированным в

истории человечества. Для оценки входных переменных модели существуют достаточно надежные данные. Расчетный средний возраст при вступлении в брак, долю женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет, и долю женщин в различных возрастах, браки которых были расторгнуты, можно оценить на основе сведений, содержащихся в работе Итона и Мейера [9]. Предполагается, что уровень стерильности «низкий», поскольку в нашем наборе оценок, сделанных по материалам того же исследования, их возрастные коэффициенты стерильности очень напоминают европейскую модель (низкий уровень). Уровень смертности в этой популяции, как можно полагать, несколько ниже, чем для населения США в целом, но немного выше, чем для населения Южной Дакоты. Так, ожидаемая продолжительность жизни при рождении для обоих полов около 1940 г. оценивалась в 60 лет. Относительно грудного вскармливания Титце сообщает, что, вообще, оно у гуттеритов принято, «однако в возрасте 6 месяцев большую часть детей, по-видимому, отнимают от груди, по крайней мере, частично, а кормление грудью детей в возрасте старше одного года весьма редко» [33]. На основе этих наблюдений средняя продолжительность грудного вскармливания оценивается в 8 месяцев. Что касается других входных переменных, то предполагается, что ни одна супружеская пара не желает ограничивать число детей и не намерена выдерживать определенный интервал между рождениями. Предполагается также, что практика контрацепции и искусственные аборты отсутствуют.

В табл. 1, 2 и 3 три типа показателей рождаемости гуттеритов, а именно: возрастные коэффициенты рождаемости, распределение женщин по возрасту и числу рожденных ими детей и интервалы между рождениями — сопоставляются с результатами имитации соответствующих показателей. Что касается суммарного коэффициента рождаемости, то результат имитации (8,68) оказывается идентичным фактическому значению коэффициента. Такое согласие, однако, вовсе не удивительно, поскольку, как уже отмечалось в предыдущем разделе, некоторые из биометрических параметров (например, оплодотворяемость) были сознательно скорректированы таким образом, чтобы результаты имитации были близки к рождаемости гуттеритов. Некоторые расхождения в характере изменения рождаемости с возрастом существ-

вуют, но они кажутся не очень значительными, поскольку сами коэффициенты рождаемости гуттеритов для трех различных периодов: 1926 — 1930, 1936 — 1940 и 1946 — 1950 гг. (см. табл. 1) — колеблются гораздо больше.

Таблица 1

**Сопоставление фактических и имитированных значений суммарных коэффициентов рождаемости, возрастных коэффициентов рождаемости и общих коэффициентов рождаемости гуттеритов**

Возрастные группы, лет	Фактические значения* 1926—1950 гг. (1)	Имитированные значения (2)	Разность (2)—(1) (3)
15—19	14,0	17,0	3,0
20—24	252,7	271,0	18,3
25—29	421,9	423,3	1,4
30—34	416,7	413,3	—3,4
35—39	376,7	359,3	—17,4
40—44	216,7	210,3	—6,4
45—49	37,7	40,7	3,0
Суммарный коэффициент рождаемости	8,68	8,68	0
Общий коэффициент рождаемости**	49,2	48,7	—0,5

\* Средняя за три периода: 1926—1930, 1936—1940, 1946—1950 гг. — из работы [8, с. 227].

\*\* Вычислен на основе фактических и имитированных возрастных коэффициентов рождаемости и возрастно-полового состава гуттеритов в 1950 г.

Среднее число рождений у женщин, достигших 45 лет, по-видимому, несколько различается: фактическое — 8,97, а в результате имитации — 8,89. Однако различия как в числе детей к концу детородного периода, так и в распределении когда-либо состоявших в браке женщин по числу рожденных ими детей не следует воспринимать слишком серьезно, поскольку: а) фактическое наблюдение основано на сравнительно небольшой выборке в 340 женщин, тогда как имитация проводилась для группы в 1000 женщин, и б) фактические данные включают женщин в возрастах от 45 до 85 лет, и таким образом, вероятно, подвержены влиянию различий в смертности и пропусков умерших детей, тогда как результаты имитации относятся только к женщинам в возрастах 45—49 лет (см. табл. 2). С осторожностью следует также рассматривать сходство и различие интервалов между рожденьями ввиду сравни-

Сопоставление фактического и имитированного распределений женщин в возрасте 45 лет и старше, когда-либо состоявших в браке, по числу рожденных ими детей для гуттеритов

Число рожденных детей	Распределение, %		Разность ((2)-(1)) (3)
	фактическое*, 1950 г. (1)	имитированное для возрастов 45-49 лет (2)	
0	2,9	5,3	2,4
1	1,2	1,9	0,7
2	2,6	1,6	-1,0
3	2,9	2,4	-0,5
4	2,9	4,3	1,4
5	4,1	2,7	-1,4
6	5,9	4,3	-1,6
7	7,6	7,7	0,1
8	9,1	7,9	-1,2
9	12,4	10,6	-1,8
10+	48,3	51,4	3,1
Среднее число рожденных детей	8,97	8,89	-0,08

\* Распределение 340 женщин в возрасте от 45 до 85 лет взято из работы [8, с. 235].

тельно небольшого числа наблюдений для гуттеритов, насчитывающего всего 1040 интервалов. Кстати, упомянутое здесь число интервалов между рожденьями не включает интервалы между вступлением в брак и рождением первого ребенка, которые существенно короче, чем интервалы между двумя последовательными рожденьями (см. табл. 3). В целом результаты имитации можно считать достаточно близкими к фактическим данным. Таким образом, ничто не указывает на непригодность модели для имитирования коэффициентов рождаемости в популяции, не практикующей контрацепции.

Рассмотрим теперь, какую информацию можно получить при имитации с помощью настоящей модели относительно возможного диапазона естественной рождаемости, которая, как предполагается, значительно колеблется как по уровню, так и по характеру ее изменения с возрастом. Отчасти ради проверки модели, а отчасти движимые любопытством узнать, почему и в какой степени может колебаться уровень естественной рождаемости, мы провели

## Сопоставление фактических и имитированных средних интервалов между рождениями для гуттеритов (в месяцах)

Возраст матери*, лет	Фактические** интервалы (за исключением последнего интервала)	Имитированные интервалы
До 25	22,8	23,0
25—29	24,9	22,5
30—34	25,1	23,3
35 и старше	25,7	25,5

Источник. [32, с. 95, табл. 5].

\* Возраст матери в работе [32] указан для начала интервала, а при имитации — для конца интервала.

\*\* Число интервалов, на основе которых вычислена их средняя продолжительность: 1040 — при фактических наблюдениях, 7790 — при имитации.

несколько имитаций с различными, но правдоподобными значениями следующих входных переменных: возраст вступления в брак, ожидаемая продолжительность жизни при рождении, продолжительность грудного вскармливания и уровень стерильности.

В качестве основы имитации были взяты переменные, характерные для гуттеритов, и при каждом варианте имитации для одной из входных переменных принималось новое значение, тогда как остальные переменные оставались неизменными на уровне гуттеритов. В первом варианте, например, средний возраст при вступлении в брак, составляющий для гуттеритов 22,6 года, заменялся величиной 18,0 года, которая представляла тип брачности с преобладанием ранних браков. Во втором варианте той же переменной придавалось значение 27,0 года, что соответствует типу брачности с преобладанием поздних браков, и т. д. В нижней части табл. 4, однако, представлены два варианта, где все четыре входные переменные (кроме уровня стерильности) отличаются от переменных, характерных для гуттеритов. Здесь входные переменные, дававшие в предыдущих вариантах более высокие или более низкие коэффициенты рождаемости, сведены вместе, чтобы продемонстрировать соответственно самый высокий и самый низкий коэффициент рождаемости в заданном диапазоне значений входных переменных.

Согласно результатам имитации, представленным в табл. 4, возможный диапазон колебаний коэффициентов естественной рождаемости, по-видимому, довольно широк.



Имитация колебаний естественной рождаемости путем изменения каждой из переменных при сохранении остальных постоянными на уровне, характерном для гуттеритов

Варианты имитации	Имитированный суммарный коэффициент рождаемости	Имитированный общий коэффициент рождаемости*
Стандарт (гуттериты)**	8,7	48,7
Варианты		
1. Средний возраст вступления в брак 18 лет	10,0	59,7
2. Средний возраст вступления в брак 27 лет	6,8	34,8
3. Продолжительность грудного вскармливания 2 месяца	9,8	54,6
4. Продолжительность грудного вскармливания 12 месяцев	8,2	45,4
5. Продолжительность грудного вскармливания 18 месяцев	7,3	41,1
6. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении 46 лет	8,9	49,6
7. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении 72 года	8,5	47,6
8. Средний уровень стерильности	8,1	45,6
9. Высокий уровень стерильности	7,3	42,7
10. Максимально возможный уровень рождаемости, имитированный при сочетании всех указанных контролируемых переменных	11,2	66,7
11. Минимально возможный уровень рождаемости, имитированный при сочетании всех указанных контролируемых переменных	4,5	24,2

\* Общие коэффициенты рождаемости вычисляются на основе имитированных возрастных коэффициентов рождаемости и фактического возрастнополового состава гуттеритов в 1950 г.

\*\* Уровни переменных для гуттеритов составляют: средний возраст вступления в брак — 22,6 года; период грудного вскармливания — 8 месяцев; ожидаемая продолжительность жизни при рождении — 66 лет; уровень стерильности — низкий.

Общие коэффициенты рождаемости, вычисленные таким образом, составляют 66,7 на 1000 при сочетании максимальных и 24,2 на 1000 при сочетании минимальных значений переменных. Суммарные коэффициенты рождаемости составляют соответственно 11,2 и 4,5. Уровни естественной рождаемости, зафиксированные Анри [14], а именно суммарные коэффициенты рождаемости от 10,9

до 6,2, достаточно хорошо укладываются в полученный при имитации диапазон. Сравнительная значимость переменных, определяющих эти гипотетические колебания при имитации естественной рождаемости, следующая (в нисходящем порядке): возраст при вступлении в брак, продолжительность грудного вскармливания, уровень стерильности и уровень младенческой смертности. Так, разность значений среднего возраста при вступлении в брак в 18 и 27 лет при неизменных значениях других переменных определяет почти 45% указанного ранее максимального расхождения показателей рождаемости. Другие факторы объясняют: изменение продолжительности периода грудного вскармливания — около 35% расхождения, изменение уровня стерильности — около 15% и изменение коэффициента младенческой смертности — около 5% расхождения. Достоверность этих выводов зависит в числе прочего от точности оценки высокого и низкого уровней стерильности, а также от того, насколько верно определена связь между периодом грудного вскармливания и послеродовой стерильностью, о чем было кратко упомянуто в предыдущем разделе при описании основных характеристик настоящей модели. Здесь может возникнуть вопрос: почему колебания уровня смертности оказывают сравнительно незначительное воздействие на рождаемость? Это, однако, объяснимо, поскольку мы имеем дело с неконтролируемой рождаемостью, когда младенческая смертность может влиять на уровень рождаемости только путем воздействия на продолжительность послеродовой стерильности.

Представляется, что полученные результаты имеют определенное значение для характеристики демографической ситуации, существующей в развивающихся странах. Если основные допущения настоящей имитационной модели справедливы, то наблюдаемые значительные различия уровней рождаемости между развивающимися странами, где планирование семьи практически отсутствует, — это не статистический артефакт, а в значительной мере отражение санитарных условий и социальных обычаев. И если желательно снизить уровень рождаемости в этих странах, не поощряя планирование семьи, то наиболее важной мерой в этом направлении может быть то или иное воздействие на брачность. Существенную роль играет также продолжительность грудного вскармливания. С другой стороны, улучшение санитар-

ных условий может иметь смешанный эффект. Снижение младенческой смертности сказывается в снижении уровня рождаемости, но если оно сопровождается снижением уровня стерильности родителей, то эти два эффекта могут противодействовать один другому. Однако не следует делать дальнейших выводов, пока мы не рассмотрим в следующих разделах случаи Пакистана.

### *Рождаемость в Японии*

Согласно различным оценкам, общий коэффициент рождаемости в Японии, вероятно, колебался около 35 на 1000 с последней четверти XIX века до 1920 г. Затем последовало медленное снижение, и к началу 40-х гг. общий коэффициент рождаемости достиг уровня примерно 30. Вслед за послевоенным резким подъемом рождаемости (post-war baby boom) в 1947—1949 гг., когда общий коэффициент рождаемости снова поднялся до 34 на 1000, наблюдалось его весьма примечательное снижение — до уровня ниже 18 в 1957 г. и в последующие годы. В этом разделе предпринимается попытка имитировать тенденции рождаемости в Японии после войны, поскольку это может оказаться полезным для дальнейшей проверки надежности настоящей модели в двух отношениях. Во-первых, население Японии активно прибегает к контрацепции и к искусственным абортam, так что можно проверить, отражает ли модель механизм регулирования рождаемости. Во-вторых, это дает возможность проверить динамические свойства модели на примере указанного перехода от высокой к низкой рождаемости, который произошел недавно в этой стране. Кроме того, имеются достаточно доброкачественные данные, которые облегчают имитацию. Следует, однако, отметить, что попытка имитировать рождаемость в Японии за послевоенный переходный период — весьма серьезное испытание, поскольку нормальный процесс перехода, независимо от его характера, был, очевидно, нарушен войной и последовавшим послевоенным резким подъемом рождаемости. Кроме того, как известно, в Японии характер изменений коэффициентов рождаемости с возрастом весьма своеобразен. Он отличается значительной концентрацией в возрастной группе 25—29 лет; в 1970 г., например, около 49% всех детей были рождены женщинами этой возрастной группы. Интересно

выявить путем имитации, какие факторы определяют эту уникальную особенность.

Контролируемые переменные для имитации были получены из следующих источников. Оценки расчетного среднего возраста при вступлении в брак, доли женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет, и доли женщин, браки которых были расторгнуты в возрасте 20, 35 или 50 лет, вычислены на основании данных переписей населения, проводимых каждые пять лет. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении для каждого периода взята из официальных публикаций. Доклад о Всемирном обследовании плодовитости (в Японии обследование было проведено в 1974 г. [19]) дал основу для оценки среднего желаемого числа детей, показателей распространенности контрацепции и применяемых методов контрацепции. Продолжительность грудного вскармливания, составляющая в последнее время около 4 месяцев, была определена по данным различных источников. Средняя продолжительность желаемых интервалов между рождениями оценивается в 24 месяца для первого ребенка и 18 месяцев — для последующих рождений, исходя из соображений, которые будут рассмотрены далее. Коэффициент распространенности искусственных абортов для прекращения деторождения, т. е. отношение числа искусственных абортов к числу нежелаемых живорождений, был оценен весьма произвольно в 90% для периода после 1948 г., когда искусственные аборты были разрешены законом.

Таблица 5

Сопоставление фактических и имитированных тенденций рождаемости для Японии, 1950—1975 гг.

Период	Суммарный коэффициент рождаемости		Общий коэффициент рождаемости	
	фактический*	имитированный	фактический*	имитированный
1945—1949	4,40**	4,75	33,6**	37,5
1950—1954	3,04	2,93	23,7	22,8
1955—1959	2,15	2,10	18,1	17,6
1960—1964	2,08	2,07	17,2	18,0
1965—1969	2,03	2,13	17,8	19,0

\* Источник. Japan, Ministry of Health and Welfare.— *Japan Vital Statistics* за различные годы.

\*\* Только 1947—1949 гг.

Результаты имитации представлены в табл. 5 и 6. Что касается тенденций изменения суммарного коэффициента рождаемости, то послевоенный резкий подъем рождаемости и последующее ее снижение воспроизведены при имитации с умеренным приближением. Согласно результатам имитации, суммарный коэффициент рождаемости снизился с 4,8 в 1945—1950 гг. до 2,1 в 1960—1965 гг., что можно сравнить со снижением этого показателя с 4,4 (в 1947—1949 гг.) до 2,1, зафиксированным за тот период статистикой естественного движения населения. Аналогичное сходство можно обнаружить, если сравнить значения общего коэффициента рождаемости, полученные путем имитации и из статистики естественного движения населения. Что касается формы кривой возрастных коэффициентов рождаемости, то после ряда попыток методом проб и ошибок, которые будут описаны далее, мы можем теперь имитировать ряды возрастных коэффициентов рождаемости, более или менее сравнимые с фактическими. Два типичных случая представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Сопоставление фактических и имитированных возрастных закономерностей коэффициентов рождаемости для Японии**

Возрастные группы, лет	1950—1954 гг.		1960—1964 гг.	
	фактические	имитированные	фактические	имитированные
15—19	9,3	1,3	3,8	1,3
20—24	133,3	145,0	110,1	121,8
25—29	206,3	227,5	193,1	212,5
30—34	146,9	121,0	83,5	59,3
35—39	78,4	65,0	21,7	14,3
40—44	24,1	24,0	4,2	5,5
45—49	1,4	1,3	0,3	0,3
Суммарный коэффициент рождаемости	3,04	2,97	2,08	2,07

Если считать результаты имитации рождаемости для Японии приемлемыми, то может оказаться полезным еще раз рассмотреть входные переменные, с помощью которых были получены такие результаты. Можно указать на три фактора, которые определили резкое снижение рождаемости при имитации. Это — расширение

доступа к более эффективным методам контрацепции и легализация абортов. Также способствовал снижению рождаемости рост показателя распространенности контрацепции, который оценивался приблизительно в 70% в предвоенный период и увеличился до 90% в последнее время. Перед войной, особенно начиная с середины 30-х гг., контроль рождаемости расценивался правительством как опасное движение, которому следует противодействовать. Так, контрацепция не поощрялась, а доступные методы контрацепции ограничивались кондомом низкого качества и естественными методами такими, как воздержание и прерванное сношение. Но после окончания войны в 1945 г. отношение общественного мнения к контролю рождаемости совершенно переменялось; появились кондомы более высокого качества, а кроме того, вошли в обиход другие современные методы приспособления (ВМП), диафрагмы и желе. Снижению рождаемости способствовала также легализация абортов в 1948 г. Например, согласно результатам иммиграции, число искусственных абортов на 100 рожденных живыми составляло 101 в 1950—1955 гг. и снизилось до 45 в 1970—1975 гг., тогда как по официальным источникам фактические значения этого показателя были 68 в 1955 г. и 28 в 1972 г. Интересно, однако, что такое снижение рождаемости было имитировано при очень незначительном уменьшении числа желаемых детей на протяжении всего периода наблюдения. Этот результат свидетельствует, по-видимому, о том, что очень быстрое снижение рождаемости может произойти за сравнительно короткий промежуток времени, в случае если желаемое число детей уже было невелико и средства его достижения становятся доступными для населения.

Кстати, имитация, по-видимому, подтверждает мнение о том, что послевоенный резкий подъем рождаемости был вызван главным образом откладыванием как браков во время войны, так и деторождения в первые послевоенные годы.

Что касается возрастных закономерностей рождаемости в Японии за последние годы, то концентрация рождаемости в возрастной группе 25—29 лет была имитирована только после того, как в модель были внесены некоторые изменения, касающиеся возраста вступления в брак. Как будет описано в приложении 1, обычный

прием заключается в выборе некоторой модели кривой возрастных показателей брачности, соответствующей данному среднему возрасту вступления в брак. Модельные кривые брачности, полученные на основе большого числа фактических кривых брачности — это двухпараметрические модели. Как будет показано в приложении 1, им — из соображений простоты — было отдано предпочтение перед более сложными трехпараметрическими моделями ради более широких возможностей их применения. Однако благодаря тому, что японские девушки до вступления в брак предпочитают получить более высокое образование и поработать, браки в Японии сильно концентрируются вокруг среднего значения возраста вступления в брак, что, по-видимому, вызывает значительное отклонение кривой брачности от модельной. Для решения этой специфической проблемы был разработан метод, позволяющий видоизменять обычное распределение частоты браков по возрасту таким образом, чтобы оно было в большей степени сконцентрировано около средней. Возрастные коэффициенты рождаемости для периода 1960—1964 гг., представленные в табл. 6, были получены после такой модификации. Кроме того, выведению возрастных закономерностей коэффициентов рождаемости для Японии также способствовали две дополнительные входные переменные, характеризующие желаемый интервал между рождениями, а именно два года между вступлением в брак и рождением первого ребенка и полтора года между последовательными рождениями.

Два рассмотренных выше примера имитации рождаемости — для гуттеритов и Японии — позволяют сделать вывод, что если удастся достаточно хорошо оценить значения входных переменных, то результаты имитации оказываются весьма близкими к фактическим данным о рождаемости. Сказанное справедливо для популяций, как практикующих, так и не практикующих контрацепцию. При наличии достоверных данных аналогичные испытания можно произвести в дальнейшем и для других популяций. Эти испытания, однако, состояли в имитации рождаемости, зафиксированной в прошлом. Здесь основная проблема заключалась в том, как оценить входные переменные на основе имеющихся данных, а не в оценке возможных изменений этих переменных в будущем. Наша следующая и основная задача — имитация

для будущего, а для этого необходим прогноз значений входных переменных. Тут в число факторов изменения входных переменных в будущем, наряду с общим социально-экономическим развитием, входит и демографическая политика правительства. Это составляет предмет исследования в следующих разделах.

### **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕР ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ПАКИСТАНЕ**

Пакистан был выбран в качестве типичного примера для оценки эффекта мер демографической политики путем имитации по двум причинам: в стране существует явно выраженная, хотя и не поддающаяся количественной оценке, демографическая политика и, что более важно, имеется необходимая информация — материалы обследования рождаемости, недавно проведенного в Пакистане в рамках Всемирного обследования плодovitости. В настоящем разделе представлены результаты исследований по четырем направлениям: а) имитация существующих коэффициентов рождаемости для Пакистана; б) оценка эффекта, который оказывает изменение значений отдельных входных переменных; в) перспективы изменения рождаемости при различных предположениях об изменении входных переменных; г) альтернативные наборы входных переменных для достижения определенного снижения рождаемости.

#### *Имитация существующих коэффициентов рождаемости для Пакистана*

Проведенное в 1975 г. в соответствии с программой Всемирного обследования плодovitости обследование рождаемости в Пакистане (ОРП) дало оценки существующего уровня рождаемости в стране, а также другие сведения, необходимые для имитации. По данным обследования, в частности, общий коэффициент рождаемости составил 40,5 на 1000 в 1974—1975 гг., суммарный коэффициент рождаемости—6,3; кривая возрастных коэффициентов рождаемости имеет очень острую вершину и наибольшую частоту рождений 314 на 1000 в возрастной группе 25—29 лет. Эти оценки более



или менее сопоставимы с предыдущими, полученными в исследованиях «Оценка роста населения» (1963—1965 гг.) и «Обследование роста населения» (1968—1972 гг.). В отчете ОРП отмечается, что, даже учитывая расхождение в методике обследований, сходство оценок рождаемости, полученных из различных источников, «свидетельствует об отсутствии каких-либо значительных изменений уровня рождаемости за период 1963—1975 гг.» [24].

При обследовании рождаемости в Пакистане были собраны данные о брачности, физиологической плодовитости, пожеланиях относительно числа и пола детей, осведомленности о контрацепции и применении ее методов, грудном вскармливании и т. д., которые существенно важны для имитации по нашей модели. Например, в ходе ОРП была определена доля женщин, прибегающих в настоящее время к контрацепции. Среди женщин, не желающих иметь больше детей, 17,1% пользовались каким-либо из эффективных методов и 4,1% — неэффективными методами, в то время как среди желающих иметь больше детей 2,9% пользовались каким-либо из эффективных методов и 0,5% — неэффективными методами предположительно с целью отложить деторождение. Хотя доля практикующих контрацепцию в общем весьма невелика, все же можно отметить, что контрацепция применяется для прекращения деторождения в шесть раз чаще, чем для откладывания деторождения. Еще один интересный результат обследования заключается в том, что для женщин, у которых интервал между двумя последними рождениями (последний закрытый интервал) превышает 32 месяца и чьи дети дожили по крайней мере до 24 месяцев, средняя продолжительность грудного вскармливания составляет 16—17 месяцев. Согласно данным обследования, продолжительность грудного вскармливания, по-видимому, довольно стабильна и равна 16—17 месяцам. Исключение составляют женщины, очень поздно вступившие в первый брак, а также женщины со средним и высшим образованием. Идеальное число детей, которое желают иметь женщины, состоящие в браке на момент обследования (*ideal number of children desired*), в среднем равно 4,2 и не очень значительно изменяется с возрастом. Наименьшее идеальное число детей 4,0 в возрастной группе 20—24 года, наибольшее — 4,3 в возрастной группе 40—44 года.

Имитация на ЭВМ рождаемости для Пакистана с помощью нашей модели производилась в предположении, что ожидаемая продолжительность жизни при рождении и степень распространенности контрацепции постепенно увеличивались к 1975 г. вследствие развертывания в стране деятельности по охране здоровья и в области планирования семьи, но остальные факторы, такие, как возраст при вступлении в брак, желаемое число детей, практика грудного вскармливания и т. д., существенно не изменились. Демографические показатели динамической имитации сопоставлены с данными ОРП в табл. 7. Имитированный уровень рождаемости для 1970—1975 гг. оказался выше, чем уровень, зафиксированный ОРП в 1975 г., но несколько ниже, чем оценка ООН для 1970—1975 гг. Имитация дала суммарный коэффициент рождаемости 7,1, тогда как согласно ОРП этот показатель составляет 6,3 и согласно оценке ООН—7,2. Что касается общего коэффициента рождаемости, то его оценки по тем же источникам составляют соответственно 47, 41 и 48.

Таблица 7

Сопоставление фактических и имитированных коэффициентов рождаемости для Пакистана на середину 70-х гг.

Возрастные группы, лет	Обследование рождаемости в Пакистане, 1975 г. (1)	Оценка ООН, 1970—1975 гг. (2)	Имитация, 1970—1975 гг. (3)
	Возрастные коэффициенты рождаемости		
15—19	104	170	113
20—24	266	348	362
25—29	314	346	349
30—34	264	281	297
35—39	204	188	197
40—44	93	91	102
45—49	8	19	9
Суммарный коэффициент рождаемости	6,3	7,2	7,1
Брутто-коэффициент воспроизводства	3,1	3,5	3,5
Общий коэффициент рождаемости	40,5	47,6	46,5

Результаты имитации подвержены ошибкам в той степени, в какой ошибочна наша оценка входных переменных. Имитированный коэффициент рождаемости

мог оказаться меньше фактического, особенно в том случае, если наша оценка ожидаемой продолжительности жизни при рождении — 49,8 года на 1970—1975 гг. — оказалась чрезвычайно оптимистической, поскольку, как будет вскоре показано, условия, способствующие более низкой смертности, приводят и к снижению суммарного коэффициента рождаемости. В связи с этим важно, что, как отмечается в отчете об ОРП, «фактический коэффициент... считается более высоким, чем эти коэффициенты. Например, по оценке Плановой комиссии, общий коэффициент рождаемости для Пакистана в настоящее время составляет около 43—45» [23].

*Оценка эффекта, оказываемого изменением значений отдельных входных переменных*

Согласно результатам имитации, современный высокий уровень рождаемости в Пакистане есть, по-видимому, следствие совместного влияния низкого возраста женщины при вступлении в брак (в среднем 16,6 года), большого желаемого числа детей (в среднем 4, 2), сравнительно длительного периода грудного вскармливания (16,2 месяца), низкого коэффициента распространенности практики контрацепции (21% среди тех, кто уже имеет желаемое число детей) и некоторых других факторов. Если желательно снизить коэффициент рождаемости, что и намерено сделать правительство Пакистана, какую стратегию следует принять, чтобы добиться этого? Достаточно ли для снижения коэффициента рождаемости до желаемого уровня одних лишь усилий по внедрению практики контрацепции? Поможет ли достигнуть того же повышение регулярности и эффективности применения контрацепции? Или для получения удовлетворительных результатов следует изменить значения других переменных, таких, как возраст при вступлении в брак или желаемое число детей? В качестве первого этапа решения всех этих задач была предпринята рассматриваемая в настоящем разделе попытка оценить эффект изменения отдельных входных переменных, одной за другой, при сохранении каждый раз всех остальных неизменными, на уровне современных значений для Пакистана. Результаты такой имитации показаны в табл. 8.

Имитация изменений коэффициентов рождаемости в статическом режиме, когда переменные заменяются по одной при сохранении остальных неизменными, на современном их уровне в Пакистане (на середину 70-х гг.)

Предполагаемый новый уровень каждой из контролируемых переменных (в круглых скобках указан современный уровень в Пакистане на середину 70-х гг.) (1)	Суммарный коэффициент рождаемости (2)	Общий коэффициент рождаемости (3)
Рождаемость в Пакистане, середина 70-х гг.*	7,1	47
Варианты		
Средний возраст при вступлении в брак (16,6 года):		
1. 20,0 года	6,5	41
2. 23,0 года	5,8	35
Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (49,8 года):		
3. 60 лет	6,7	45
4. 70 лет	6,5	44
Уровень стерильности (средний):		
5. высокий	6,4	43
6. низкий	7,2	47
Грудное вскармливание (16,2 месяца)		
7. 6 месяцев	7,2	48
8. 30 месяцев	6,0	40
Доля супружеских пар, желающих ограничить число детей (90%)		
9. 98%	6,8	45
Желаемое число детей (4,2 ребенка):		
10. 3,0 ребенка	6,1	41
11. 2,0 ребенка	5,9	40
Желаемый интервал между рождениями (18 месяцев)		
12. 24 месяца	6,8	45
Коэффициент распространности практики контрацепции для прекращения деторождения (21%):		
13. 50%	6,4	43
14. 70%	6,0	41
15. 95%	5,8	40

Предполагаемый новый уровень каждой из контролируемых переменных (в круглых скобках указан современный уровень в Пакистане на середину 70 гг.) (1)	Суммарный коэффициент рождаемости (2)	Общий коэффициент рождаемости (3)
Коэффициент распространённости практики контрацепции для откладывания деторождения (4%):		
16. 20%	6,8	44
17. 60%	6,3	41
18. 80%	6,0	39
Уровень эффективности применения контрацепции (низкий):		
19. средний	6,9	46
20. высокий	6,5	44
Коэффициент стерилизации среди тех, кто достиг желаемого числа детей (0%):		
21. 3%	7,1	46
22. 6%	7,0	46
Коэффициент распространённости искусственных абортов среди тех, кто достиг желаемого числа детей (0%):		
23. 5%	7,0	46
24. 10%	7,0	46
25. 30%	6,7	45

\* См. табл. 7.

Здесь следует сделать одну оговорку. Имитированные коэффициенты рождаемости в табл. 8 — это когортные коэффициенты, которые будут достигнуты в конечном счете, если заданные входные переменные сохранятся неизменными на период, равный одному поколению. Это результат «статического режима» имитации. Вопрос о перспективе изменения рождаемости во времени при последовательно изменяющихся входных переменных будет рассмотрен в следующем разделе.

Очевидно, что распространение практики контрацепции само по себе в состоянии вызвать некоторое снижение рождаемости. Рост показателя распространённости практики контрацепции для прекращения деторождения

от существующего уровня 21% до 50, 70 и 95% снизил бы суммарный коэффициент рождаемости с 7,1 до соответственно 6,4, 6,0 и 5,8 (варианты 13—15). Что касается общего коэффициента рождаемости, то он при этом снизился бы с 47 до соответственно 43, 41 и 40. Более широкое применение контрацепции для откладывания деторождения, по-видимому, дает сходный, хотя и несколько менее удовлетворительный, результат (варианты 16—18). При существующей низкой степени распространенности контрацепции повышение эффективности ее применения вряд ли могло бы улучшить положение (варианты 19—20). Добровольная стерилизация и искусственные аборты также не могут внести значительных изменений, отчасти потому, что существующая культурная и политическая ситуация, по-видимому, не способствует широкому распространению этих средств, а отчасти из-за того, что люди предпочитают иметь больше семьи (варианты 21—25).

С другой стороны, изменения одних только демографических переменных также не в состоянии значительно уменьшить рождаемость. Наиболее эффективные в отдельности меры — это повышение возраста при вступлении в брак и увеличение продолжительности периода грудного вскармливания. Повышение среднего возраста при вступлении в брак с 16,6 до 23,0 года может снизить суммарный коэффициент рождаемости с 7,1 до 5,8, а общий коэффициент рождаемости — с 47 до 35 (варианты 1—2); удлинение периода грудного вскармливания с 16,2 до 30 месяцев может снизить суммарный коэффициент рождаемости до 6,0 а общий коэффициент рождаемости — до 40 (варианты 7—8). Однако уменьшение желаемого числа детей с 4,2 до 2 дает снижение суммарного коэффициента рождаемости всего до 5,9, а общего коэффициента рождаемости — до 40, очевидно, вследствие низкого уровня распространенности практики контрацепции (варианты 10—11).

Предположение об изменении только одной переменной нереалистично, поскольку многие переменные имеют тенденцию к совместному изменению. По этой причине была произведена имитация также с одновременным изменением двух или нескольких входных переменных. Некоторые из этих результатов представлены в табл. 9. Весьма правдоподобно, что контрацепция для прекращения и для откладывания деторождения будет изме-

Таблица 9

Имитация изменений коэффициентов рождаемости в статическом режиме, когда несколько входных переменных заменяются новыми, причем другие переменные остаются неизменными, на современном их уровне в Пакистане (на середину 70-х гг.)

	Гипотезы					Суммарный коэффициент рождаемости	Общий коэффициент рождаемости
	Уровень распространенности практики контрацепции		Уровень эффективности контрацепции	Желаемое число детей	Средний возраст вступления в брак		
	для прекращения деторождения	для откладывания деторождения					
Рождаемость в Пакистане, середина 70-х гг.* Варианты	12	2	низкий	4,2	16,6	7,1	47
Новый уровень распространенности контрацепции							
А	50	20	низкий	4,2	16,6	6,0	41
Б	70	60	низкий	4,2	16,6	5,2	36
В	95	80	низкий	4,2	16,6	4,8	34
Кроме того, повышение эффективности контрацепции							
Г	50	20	средний	4,2	16,6	5,5	38
Д	70	60	средний	4,2	16,6	5,1	36
Е	95	80	высокий	4,2	16,6	4,4	31
Кроме того, повышение возраста при вступлении в брак							
Ж	50	20	средний	4,2	20,0	5,3	35
З	70	60	средний	4,2	20,0	4,9	33
И	95	80	высокий	4,2	20,0	4,4	30
Кроме того, снижение желаемого числа детей							
К	50	20	средний	3,5	20,0	4,8	32
Л	70	60	средний	2,5	20,0	3,7	26
М	95	80	высокий	2,0	20,0	2,7	20

\* См. табл. 7.

няться одновременно; сочетание показателя ее распространенности для прекращения на уровне 95% и для откладывания на уровне 80% может привести к снижению суммарного коэффициента рождаемости до 4,8 и

общего коэффициента рождаемости — до 34 (варианты А—В). Повышение эффективности применения контрацепции, по-видимому, может еще снизить эти значения, но лишь незначительно (варианты Г—Е). Дальнейшее снижение рождаемости может быть также достигнуто путем повышения среднего возраста вступления в брак для женщин (варианты Ж—И). Все это означает довольно существенное, снижение против современного уровня рождаемости, но может оказаться неудовлетворительным в качестве постоянного ее уровня для страны с населением более 70 млн. человек. Согласно нашей имитации, значительное снижение рождаемости может быть достигнуто только при сочетании высокого показателя распространенности контрацепции с уменьшением желаемого числа детей (варианты К—М). Это условие снижения рождаемости может показаться чрезмерным, однако следует помнить, что последний вариант не предусматривает вовсе ни стерилизации ни искусственных абортов. Если учесть все факторы, то вырисовывается, как отсечается в следующем разделе, более реалистичная картина.

#### *Перспективы изменения рождаемости во времени*

В этом разделе исследуются путем имитации перспективы снижения рождаемости в Пакистане в будущем при условии, что выбраны конкретные меры демографической политики и задан порядок их реализации во времени. В этом эксперименте не обязательно ограничивать принимаемые меры каким-либо одним «сценарием». Напротив, имитация может производиться в нескольких альтернативных сценариях. В рамках программы планирования населения для пятого пятилетнего плана (1975—1980 гг.) меры демографической политики объединены с программами социально-экономического развития, такими, как программы сельского развития, здравоохранения, начального и среднего школьного образования; эти меры дополнены более широкими обследованиями и системами отчетности и подкреплены исследовательскими программами, касающимися поощрения норм малой семьи и откладывания брака, а также более тщательным учетом взаимосвязи между демографическими изменениями и развитием страны. Общая цель всех этих программ — снижение современного вы-



сокого уровня рождаемости, который рассматривается как препятствие на пути социально-экономического развития страны, хотя они и не предусматривают достижения какого-либо конкретного уровня рождаемости.

Программы демографической политики, принимавшиеся в прошлом, были не очень успешными и не достигали намеченных изменений рождаемости. Несмотря на интенсивный характер существующих программ, реальные достижения в этой области еще впереди. Однако при наличии как активных демографических программ, так и программ социально-экономического развития вполне возможно ожидать, что некоторые из решающих для уровня рождаемости входных переменных в нашей модели изменятся хотя бы в некоторой степени. Так, в первом сценарии имитации допускается некоторое увеличение в будущем показателя распространенности практики контрацепции. Другие входные переменные, такие, как возраст при вступлении в брак, желаемое число детей или стерилизация, в первом варианте динамической имитации остаются неизменными, поскольку эти факторы, согласно правительственному отчету, все еще находятся на предварительной стадии изучения.

Говоря более конкретно, наши первые предположения сводились к следующему: современный уровень распространенности контрацепции, составляющий 21% среди тех, кто не хочет иметь больше детей, увеличится к концу века до 45%, а соответствующий показатель для откладывания деторождения также увеличится за тот же период с 4 до 20%.

Если иметь в виду острые проблемы, связанные с быстрым ростом численности населения Пакистана, возможно и даже вероятно, что правительство страны в будущем сможет принять решение о проведении более интенсивных демографических программ. Поэтому второй сценарий имитации предусматривает, что такого рода активные программы проводятся. В этом варианте предполагается, что уровень распространенности практики контрацепции для прекращения деторождения после 1980 г. будет возрастать значительно быстрее и достигнет к концу века 60%. Соответствующий показатель распространенности контрацепции для откладывания деторождения по этому сценарию также будет увеличиваться быстрее и достигнет в 1995—2000 гг. 40%. Хотя при таких предположениях основное внимание уде-

ляется интенсификации программ планирования семьи, предусмотрено также постепенное уменьшение желаемого числа детей. Сценарий имитации предполагает, что к концу века эта величина должна снизиться с 4,2 до 3,4.

Третий сценарий, напротив, предусматривает еще более активное расширение программ планирования семьи при умеренных изменениях социальных норм. Здесь к концу века распространенность практики контрацепции для прекращения деторождения достигнет 95%, а желаемое число детей уменьшится до 2,5.

Четвертый, и последний, вариант динамической имитации осуществляется исходя из допущения, что прогресс в области планирования семьи будет значительно более быстрым и что более быстрым будет изменение социальных норм относительно желаемого числа детей и других норм. Конкретно предполагалось, что к концу века распространенность контрацепции для прекращения деторождения достигнет 95%, а желаемое число детей составит 2,0. Все эти гипотезы, принятые для четырех вариантов динамической имитации, представлены в табл. 10.

Четыре варианта динамической имитации, соответствующие, как предполагается, четырем возможным сценариям развития демографической политики, обнаруживают четко выраженные различия в изменении уровней рождаемости (табл. 11). Согласно этим четырем вариантам, современный суммарный коэффициент рождаемости 7,1 уменьшится к началу следующего века соответственно до 5,5, 4,1, 2,7 или 2,1. За тот же период современный общий коэффициент рождаемости, составляющий 47 на 1000, также уменьшится соответственно до 38, 28, 19 или 14. Следует иметь в виду, что общие коэффициенты рождаемости в табл. 11 стандартизованы по полу и по возрасту, причем в качестве стандарта принят возрастно-половой состав населения Пакистана в 1970 г. Как показывает таблица, относительное снижение коэффициента рождаемости в ближайшие 25 лет составит 15% согласно первому варианту, примерно 35% — согласно второму варианту, предполагающему более быстрое распространение планирования семьи и медленные изменения социальных норм, и более 50% — согласно третьему варианту, в котором предполагается еще более быстрое распространение планирования семьи наряду с умеренными изменениями социальных норм. Что

## Гипотезы, принятые в четырех вариантах имитации рождаемости для Пакистана

	Гипотезы, принятые для отдельных когорт или периодов								
	Базовый период 1970—1975 гг.	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
		1985—1990 гг.	1995—2000 гг.	1985—1990 гг.	1995—2000 гг.	1985—1990 гг.	1935—2000 гг.	1985—1990 гг.	1995—2000 гг.
А. Входные переменные, специфичные для каждой когорты:									
1. Средний возраст при вступлении в брак	16,6	16,6	16,6	18,0	20,0	19,0	22,0	20,0	21,0
2. Желаемое число детей	4,2	4,2	4,2	3,8	3,4	3,0	2,5	2,5	2,0
Б. Входные переменные, специфичные для каждого периода:									
3. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет	49,8	57,3	61,9	57,3	61,9	57,3	61,9	57,3	61,9
4. Показатель распространенности контрацепции для прекращения деторождения, %	21	35	45	45	65	55	85	65	95
5. Показатель распространенности контрацепции для откладывания деторождения, %	4	15	20	20	30	25	40	30	50
6. Уровень эффективности применения контрацепции	низкий	низкий	низкий	низкий	средний	средний	высокий	высокий	высокий
7. Коэффициент стерилизации, %	0	0	1	1	2	2	4	3	4
8. Коэффициент распространенности абортс для прекращения деторождения, %	0	0	0	0	2	2	5	4	10
9. Коэффициент распространенности абортс для откладывания деторождения, %	0	0	0	0	1	1	3	2	6

## Краткое изложение гипотез

	Входные переменные группы А	Входные переменные группы Б
Вариант 1	Отсутствие изменений	Медленные изменения
Вариант 2	Медленные изменения	Умеренные изменения
Вариант 3	Умеренные изменения	Быстрые изменения
Вариант 4	Быстрые изменения	Очень быстрые изменения

## Имитированные тенденции рождаемости для Пакистана, полученные на основе четырех вариантов имитации

Период	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Суммарный коэффициент рождаемости				
1970—1975	7,1	7,1	7,1	7,1
1975—1980	6,7	6,7	6,7	6,7
1980—1985	6,4	6,2	6,0	5,7
1985—1990	6,2	5,7	5,2	4,4
1990—1995	6,0	5,1	4,3	3,3
1995—2000	5,7	4,4	3,4	2,6
2000—2005	5,5	4,1	2,7	2,1
Общий коэффициент рождаемости				
1970—1975	47	47	47	47
1975—1980	45	44	44	44
1980—1985	43	41	40	38
1985—1990	42	38	35	30
1990—1995	40	34	29	23
1995—2000	39	30	23	18
2000—2005	38	28	19	14

касается четвертого варианта, предполагающего весьма быстрое распространение планирования семьи и быстрое изменение социальных норм, то, согласно ему, ожидаемое снижение уровня рождаемости за четверть века составит 65%. Эти различия, безусловно, существенны.

*Динамическая имитация при заданной цели*

Как может динамическая имитация помочь выбрать ряд конкретных задач для достижения некоторой заданной цели по снижению рождаемости за определенный период времени? При отсутствии детальных сведений этот вопрос можно сформулировать иначе: если в ближайшем будущем наиболее вероятным направлением изменений в уровне рождаемости может быть второй вариант динамической имитации, а правительству желательно достичь более быстрого снижения рождаемости, примерно такого, как в третьем варианте, но при иных мерах демографической политики, то каковы в таком случае возможные решения?

Вместо попыток увеличить степень распространенности практики контрацепции или повысить средний возраст при вступлении в брак предлагаются три различные меры демографической политики, а именно: введение в законодательном порядке минимального возраста вступления в брак, существенное повышение эффективности применяемых методов контрацепции и принятие искусственных абортов и стерилизации на добровольной основе. Как показано в табл. 12, ни один из трех вариантов динамической имитации в отдельности при таких допущениях не дал сам по себе желаемого снижения рождаемости. Удовлетворительный результат был получен лишь при совместном проведении всех трех мер наряду со снижением желаемого числа детей до уровня, предусмотренного третьим вариантом имитации. Иными словами, одним из заменителей третьего вариан-

Таблица 12

Имитация тенденций рождаемости для Пакистана с альтернативным набором гипотез относительно минимального возраста при вступлении в брак, повышения эффективности применения методов контрацепции, искусственных абортов и стерилизации

Период	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
	Минимальный возраст при вступлении в брак	Повышение эффективности применения методов контрацепции	Искусственный аборт и стерилизация	Комбинация первых трех вариантов плюс желаемое число детей
<b>Суммарный коэффициент рождаемости</b>				
1970—1975	7,1	7,1	7,1	7,1
1975—1980	6,7	6,7	6,7	6,2
1980—1985	6,2	6,3	6,3	5,5
1985—1990	5,7	5,4	5,5	4,9
1990—1995	5,3	4,8	4,9	4,3
1995—2000	4,8	4,4	4,0	3,4
2000—2005	4,3	4,0	4,1	2,9
<b>Общий коэффициент рождаемости</b>				
1970—1975	47	47	47	47
1975—1980	44	44	44	39
1980—1985	41	41	40	36
1985—1990	38	36	37	33
1990—1995	34	32	33	29
1995—2000	31	30	30	24
2000—2005	28	27	28	20

Период	Гипотезы				
	Минимальный возраст вступления в брак	Уровень эффективности применения методов контрацепции	Коэффициент распространности искусственных абортов, %	Коэффициент стерилизации, %	Желаемое число детей
1970—1975	не принимался	средний	0	0	4,2
1985—1990	19,0	высокий	20	2	3,0
1995—2000	19,0	высокий	35	20	2,5

та, рассмотренного в предыдущем разделе, может быть совокупность этих четырех мер. Таким образом, лица, проводящие демографическую политику, могут теперь выбрать один из этих двух альтернативных комплексов мер. Задача в таком случае состоит в том, чтобы определить, какой комплекс более практичен, вероятен, экономичен и оправдан политически. Окончательное решение может быть принято после рассмотрения этих факторов. Разумеется, такого же снижения рождаемости можно добиться и с помощью других комплексов мер.

#### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАСЧЕТЫ НАСЕЛЕНИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ВАРИАНТАМ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

Настоящее исследование было начато во время подготовки в ООН прогнозов численности населения стран мира для 1973 г., когда появилась необходимость учесть при оценке перспектив также и эффект демографической политики. В этом разделе мы рассмотрим возможные способы перспективных расчетов населения на основе результатов имитации рождаемости. Будет проведено сравнение предыдущих прогнозов, подготовленных в ООН, с различными вариантами предполагаемых тенденций роста населения.

В перспективных расчетах населения, подготовленных ООН в 1973г., предположения относительно будущих изменений делались отдельно для рождаемости, смертности и миграции [37]. В последующих новых прогнозах для Пакистана, чтобы облегчить сопоставление, гипотезы относительно смертности и миграции были при-

няты такими же, как и в прогнозах ООН. В качестве гипотез относительно рождаемости воспользуемся результатами четырех вариантов динамической имитации возрастных коэффициентов рождаемости, описанных в предыдущем разделе. Три варианта, а именно: вариант с умеренным распространением планирования семьи, вариант с интенсивным распространением планирования семьи и вариант, где планирование семьи сочетается с уменьшением числа детей и с откладыванием браков, по-видимому, сопоставимы с высоким, средним и низким вариантами перспективных расчетов ООН 1973 г. Четвертый вариант в рамках этого сравнения можно определить как сверхнизкий уровень. Однако возможные гипотезы для прогноза не обязательно должны ограничиваться этими четырьмя вариантами планирования семьи. По сути дела, четыре варианта имитации были основаны на более или менее произвольных допущениях относительно входных переменных. Таким образом, могут возникнуть вопросы относительно критериев, по которым должны выбираться гипотезы для прогноза.

В случае Пакистана имитируемые тенденции рождаемости, по-видимому, дают более широкий диапазон относительно будущего уровня рождаемости, чем три варианта ООН. Например, согласно результатам имитации, ожидается, что суммарный коэффициент рождаемости к концу века будет находиться в пределах от 2,6 до 5,7, тогда как по перспективным расчетам ООН для 1973 г. эти пределы оценивались от 4,1 до 4,9 (табл. 13). Это, вероятно, означает, что возможный диапазон изменений уровня рождаемости в будущем значительно шире, чем обычно принято считать. Такое предположение может быть подтверждено, если принять во внимание, что описанные ранее имитации предусматривали изменения лишь ограниченного числа входных переменных, а если воспользоваться всеми возможными значениями входных переменных, то результаты могут колебаться в еще более широком диапазоне. Более того, существует, по-видимому, значительное разнообразие альтернативных путей, которыми в пределах наблюдаемого периода можно достичь окончательного уровня рождаемости. Например, второй вариант имитации рождаемости дает почти такое же значение суммарного коэффициента рождаемости для периода 1995—2000 гг., что и средний вариант ООН, но в случае имитации снижение рождаемо-

**Сопоставление новых гипотез  
относительно суммарного коэффициента рождаемости  
с перспективными расчетами ООН 1973 г.  
Пакистан, 1970—2000 гг.**

Период	Новые гипотезы				Перспективные расчеты ООН		
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
1970—1975	7,1	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,1
1975—1980	6,7	6,7	6,7	6,7	7,2	7,0	6,7
1980—1985	6,4	6,2	6,4	6,4	6,8	6,6	6,2
1985—1990	6,2	5,7	5,2	6,2	6,3	6,0	5,5
1990—1995	6,0	5,1	4,3	3,3	5,7	5,2	4,9
1995—2000	5,7	4,4	3,4	2,6	4,9	4,5	4,1

сти явно происходит гораздо быстрее, чем в перспективных расчетах ООН.

Согласно первому и четвертому вариантам имитации, население Пакистана, составлявшее в 1970 г. 60 млн. человек, к концу века возрастет до 159 либо до 128 млн. человек. Расхождение возможной его численности между этими вариантами в 2000 г. составляет 31 млн. человек. Годичный коэффициент прироста населения составляет, согласно первому варианту, 3% или более, согласно второму варианту, незначительно снижается — от 3 до 2,7%, согласно третьему варианту, снижается еще интенсивнее — до 1,9% и согласно четвертому варианту, падает до 1,6% (табл. 14).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была исследована возможность применения реализуемой на ЭВМ микроимитационной модели для оценки мер демографической политики, а также для прогнозирования численности населения. Что касается содержательных выводов, то одно из наиболее важных заключений состоит в том, что результаты имитации ясно показывают ограниченные возможности программ планирования семьи как средства снизить уровень рождаемости. Если программа планирования семьи сводится к распространению контрацепции, стерилизации и (или) искусственных абортов на добровольной ос-



Сопоставление тенденций роста численности населения, соответствующих новым гипотезам, и перспективных расчетов ООН, Пакистан, 1970—2000 гг.

	Прогнозы, основанные на результатах имитации				Перспективные расчеты ООН		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
Год	Численность населения, млн. человек						
1970	60	60	60	60	60	60	60
1975	70	70	70	70	71	71	30
1980	82	82	81	82	84	83	72
1985	96	96	94	94	100	97	85
1990	114	113	108	107	117	113	198
1995	135	130	121	118	136	130	102
2000	159	149	133	128	157	147	137
Период	Годичный коэффициент прироста, %						
1970—1975	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,0
1975—1980	3,1	3,2	3,0	3,2	3,4	3,2	3,0
1980—1985	3,2	3,2	2,9	2,9	3,4	3,2	2,9
1985—1990	3,3	3,1	2,7	2,4	3,3	3,0	2,7
1990—1995	3,3	3,0	2,3	1,9	3,0	2,7	2,5
1995—2000	3,3	2,7	1,9	1,6	2,8	2,5	2,2

нове, то с ее помощью может оказаться невозможным в достаточной степени снизить уровень рождаемости в такой стране, как Пакистан, где большая часть населения предпочитает иметь большие семьи. Из табл. 9 видно, что повышение, например, распространенности контрацепции среди тех, кто имеет основания ею пользоваться, с существующего уровня 21% до 95% могло бы снизить существующий суммарный коэффициент рождаемости в Пакистане с 7,1 до 4,8, а общий коэффициент рождаемости — с 47 до 34. Снижение составляет примерно 30%, но тем не менее может оказаться слишком незначительным, чтобы сгладить воздействие быстрого прироста населения на социальное и экономическое развитие страны.

Результаты имитации показывают, что если в обществе с тенденцией к высокому уровню рождаемости люди пользуются методами контрацепции только при наличии мотивации к этому, то программа планирования семьи должна быть дополнена какими-либо мерами, направ-

ленными на снижение желаемого числа детей в семье. Было также показано, что другой важной задачей демографической политики должно быть поощрение желания супружеских пар соблюдать должный интервал между двумя последовательными рождениями. Кроме этих поведенческих факторов, существует принципиально важный, по-видимому, социальный фактор — возраст женщины при вступлении в брак, который в качестве меры демографической политики весьма эффективен для снижения уровня рождаемости.

Как было выяснено, младенческая смертность и стерильность взрослых, изменяющиеся под влиянием улучшения санитарных условий в стране, оказывают некоторое воздействие на изменение рождаемости в противоположных направлениях. Значительное воздействие на изменение рождаемости оказывает, видимо, и такой фактор, как грудное вскармливание. Все эти положения, вместе с упомянутыми в предыдущих разделах, указывают на то, что эффективная демографическая политика должна охватывать хорошо сбалансированный комплекс всех относящихся к делу мероприятий. Выбирая эти мероприятия, следует руководствоваться соображениями как их осуществимости, так и их сравнительной эффективности. В различных ситуациях имитационная модель, подобная представленной в настоящей работе, может оказаться полезной при решении такого рода задачи по разработке наиболее эффективного комплекса мероприятий, предназначенных для воздействия на уровень рождаемости в перспективе.

Рассматривая технические аспекты настоящего исследования, можно считать, что микроимитационная модель с биодемографическими компонентами, подобная представленной в работе, может быть полезной для имитирования коэффициентов рождаемости в различных условиях, особенно при ограниченных входных данных. Таким образом, становится возможным применение модели для развивающихся стран, при выборе сравнительно простых входных переменных и их переводе в вероятностные распределения. Благодаря этому процессу перевода с помощью модели можно воспроизводить точные характеристики коэффициентов рождаемости различного вида, несмотря на упрощенные входные переменные. Даже когда все входные переменные не могут быть оценены на основе достоверных данных, сделав

несколько попыток подставить различные значения некоторых входных переменных, можно получить приемлемые характеристики уровня рождаемости и закономерностей ее изменения с возрастом.

Более того, с помощью микроимитационной модели с динамическими свойствами, разработанной в настоящем исследовании, можно имитировать временные ряды изменений рождаемости в изменяющихся условиях. Это динамическое свойство позволяет имитировать не только прошлые, но и будущие тенденции рождаемости, основываясь на предположениях относительно значений входных переменных, ожидаемых в будущем вследствие проведения демографической политики или социально-экономического развития в целом. Эта особенность модели полезна для оценки воздействия демографической политики на рождаемость. Если мы сможем оценить будущие тенденции изменения входных переменных как в условиях демографической политики, так и при отсутствии ее, то разность имитируемых коэффициентов рождаемости продемонстрирует ожидаемый эффект этой политики. В настоящем исследовании было показано, что такого рода имитации полезны, во-первых, для оценки существующих демографических программ и, во-вторых, для разработки более эффективных и приемлемых комплексов демографических мероприятий.

Если воспользоваться имитированными будущими тенденциями рождаемости при перспективном расчете населения, то станет возможным придавать более определенное значение предположениям, на которых основываются перспективные расчеты. Вместо традиционных вариантов с высоким, средним и низким уровнями показателей мы можем, например, иметь вариант в условиях отсутствия демографической политики, вариант в условиях демографической политики А, вариант в условиях демографической политики Б и т. д. Хотя имитация и не обязательно приблизит прогнозируемые изменения в населении к действительности, она может быть полезной по крайней мере при планировании для развития страны.

В общем виде можно согласиться с тем, что имитационное моделирование открывает новый подход к изучению рождаемости и демографической политики. Однако применение модели к нескольким населением свидетельствует о необходимости дальнейшего ее совершенствования в трех направлениях. Во-первых, следует бо-

лее тщательно оценивать конкретные демографические программы, осуществляемые в выбранных для изучения странах. Исследование для Пакистана основывалось пока что на предположении о более или менее вероятных сочетаниях входных переменных в результате разных вариантов демографической политики. Но оценку необходимо делать более систематично, принимая во внимание каждую из возможных мер демографической политики, таких, как стерилизация, более эффективные методы контрацепции, практика грудного вскармливания, интервалы между рождениями и т. д. После этих отдельных оценок станет возможным обрисовать и наиболее эффективное сочетание мер демографической политики в данных условиях. Это направление исследований можно будет в дальнейшем распространить и на цели демографической политики, чтобы их можно было формулировать более конкретно, например снижение коэффициента рождаемости за определенный период до уровня, обеспечивающего простое воспроизводство поколений, и т. д. Модель может показать различные пути для решения этой задачи.

Другой аспект, требующий дальнейшего изучения, — это исследование тенденций изменения некоторых входных переменных и их дифференцирующих факторов под влиянием развития страны. Желаемое число детей, например, есть функция прежде всего социального и экономического развития. Как будет изменяться это число в условиях демографической политики или при отсутствии ее — предмет исследования, которое необходимо провести при подготовке входных переменных для имитации. Рассматриваемое направление исследования позволит соединить настоящую схему микроимитации рождаемости с макромоделью, включающей социально-экономические и демографические переменные.

И наконец, применение результатов имитации при перспективных исчислениях населения требует большей предварительной работы. Очевидно, что нелегко получить детальные сведения относительно демографической политики для большого числа стран. Вероятно, для применения имитационной модели необходимо упростить различные варианты сценариев такой политики, чтобы на их основе разработать для перспективных расчетов несколько типичных направлений изменения рождаемости в будущем.

## Методические замечания

Основные особенности модели уже были рассмотрены в тексте. Далее представлено более детальное объяснение структуры модели.

### ВОЗРАСТ ПРИ ВСТУПЛЕНИИ В БРАК

Возраст при вступлении в брак для отдельных женщин, исключая никогда не состоявших в браке, определяется на основе входной переменной «расчетный средний возраст вступления в брак» и с помощью модельных таблиц брачности, подготовленных специально для этого исследования. Модельные таблицы брачности содержат 23 ряда возрастных показателей брачности, каждый из которых представляет собой ряд накопленных относительных чисел женщин, когда-либо состоявших в браке, по возрасту. Каждый из этих рядов соответствует некоторому значению расчетного среднего возраста вступления в брак в диапазоне от 16,0 до 27,0 года, с полугодовыми интервалами (см. пример в приложении 2, табл. 15). Если значение данной входной переменной оказывается между двумя уровнями, отвечающими двум соседним модельным рядам, то оно определяется путем интерполяции между этими двумя рядами. После того как для данной когорты женщин выбран ряд показателей брачности, возраст вступления в брак для отдельных женщин определяется по методу Монте-Карло.

Модельные таблицы брачности были составлены следующим образом. Сначала были собраны данные почти по 100 странам относительно доли женщин, когда-либо состоявших в браке, по пятилетним возрастным группам. После критического изучения и устранения очевидных ошибок для каждого набора данных были вычислены расчетный средний возраст вступления в первый брак и доля женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет. Каждый набор данных был затем стандартизован таким образом, что доля женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет, стала равной нулю. Стандартизованные данные были затем сгруппированы по уровням расчетного среднего возраста вступления в брак, и на этой основе для каждого уровня были вычислены средние по возрастным группам доли женщин, когда-либо состоявших в браке. Затем из оценок по пятилетним возрастным группам путем интерполяции по формуле Спрейга (Sprague) были получены доли для отдельных однолетних возрастов. Окончательные результаты были получены после небольших поправок на верхнем и нижнем концах распределения. Дальнейшая интерполяция данных модельных рядов в месячные показатели производилась на ЭВМ обычными приемами линейной интерполяции.

Такая методика, кратко рассмотренная здесь и в разделе текста, посвященном основным особенностям модели, имеет для целей настоящего исследования преимущества по сравнению с традиционными приемами применения функций модельных таблиц брачности, характеризующих вероятности вступления в брак по возрасту. Одно из ограничений традиционного метода связано с тем, что модельных

таблиц брачности, непосредственно пригодных для развивающихся стран, практически нет, а составление их каждый раз заново было бы утомительным и трудоемким делом. Более того, в случае применения традиционного метода необходимо генерировать большое число случайных чисел ( $R$ ) для сопоставления их с месячными вероятностями вступления в брак ( $p$ ), месяц за месяцем, пока не будет найдено  $R < p$ . Это требует больших затрат дорогостоящего машинного времени, поскольку, чтобы охватить весь репродуктивный период женщины от 15 до 50 лет, процедура должна быть повторена максимум 420 раз. Напротив, преимущество предлагаемого метода заключается в том, что для выбора возраста вступления женщины в брак он требует всего одно случайное число, и это значительно экономит машинное время.

Описанные здесь модельные ряды показателей брачности представляют собой так называемую однопараметрическую модель, сравнительно менее гибкую, чем двухпараметрическая модель, аналогичная модельной таблице брачности, предложенной Энсли Коулом [5]. Модель Коула, несмотря на ее теоретическое превосходство, вызывает, по-видимому, два затруднения практического характера. Во-первых, качество данных о брачности, полученных в развивающихся странах, зачастую не отвечает требованиям точности, предъявляемым моделью Коула. Во-вторых, природа трех параметров модели Коула не вполне соответствует практическим задачам настоящего исследования, где параметры должны рассматриваться в качестве мер демографической политики. Например, тому, кто разрабатывает демографическую политику, гораздо легче сказать, что средний возраст вступления в брак необходимо увеличить с 16 до 18 лет, чем предлагать изменение некоторых параметров,  $a$  и  $k$ , которые сложнее перевести в категории демографической политики.

#### ЧАСТОТА ПРЕКРАЩЕНИЯ БРАКА

Брак может прерваться в случае развода, прекращения совместного проживания или смерти одного из супругов. В настоящей модели эти события рассматриваются упрощенно, поскольку достоверные данные получить затруднительно, особенно для развивающихся стран, и выбор метода, видимо, не оказывает большого влияния на результаты имитации. Когда был проанализирован характер изменения доли женщин в каждой возрастной группе, браки которых прекратились и которые не вступили в повторные браки, то обнаружилось, что во многих странах эта доля зачастую начинает резко увеличиваться после возраста 35 лет. На основе этого наблюдения в настоящей модели предполагается, что процент женщин, уже не состоящих в браке, возрастает линейно как от 15 до 35 лет, так и от 35 до 50 лет. Проценты уже не состоящих в браке для этих «переломных» возрастов легко оцениваются по материалам переписей. ЭВМ затем автоматически вычисляет для когорты по отдельным месяцам возраста ряды процентных чисел тех, чьи браки прекратились. Возраст прекращения брака для отдельных женщин определяется затем по методу Монте-Карло.

Настоящая имитационная модель косвенным образом учитывает повторные браки, поскольку оценки доли прекративших брак включают только тех, чьи браки на данный момент прекратились, т. е. тех, кто еще не вступил в повторный брак. В этом смысле мы моделируем скорее «нетто»-расторжение, чем «брутто»-расторжение брака.

## ЖЕНЩИНЫ, НИКОГДА НЕ СОСТОЯВШИЕ В БРАКЕ

Когда для определения возраста вступления в брак отдельных женщин применяется модельная таблица брачности, следует внести поправку на женщин, которые до 50 лет никогда не состояли в браке. Эта поправка делается в настоящей модели путем применения входной переменной «доля женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет». Если, например, 5% женщин никогда не вступали в брак, то соответственно уменьшается ряд показателей брачности. В этом случае женщина считается никогда не состоявшей в браке, если случайное число, на основе которого определяется возраст вступления в брак, окажется в интервале между 0,95 и 1,00.

### ПОСТОЯННАЯ СТЕРИЛЬНОСТЬ

В настоящей модели все женщины, кроме тех, которые никогда не становятся способными к деторождению, считаются способными к деторождению в возрасте 15 лет, хотя в действительности у некоторых женщин эта способность может наступить после 15 лет. Такой подход был выбран из соображений простоты. Возможные расхождения этой гипотезы с действительностью, вероятно, невелики, поскольку предполагаемые функции оплодотворяемости дают очень низкую вероятность зачатия в возрастах, непосредственно следующих за 15 годами.

Некоторые исследования показывают, что доля стерильных супружеских пар по возрасту жены существенно различна в разных популяциях. Например, Луи Анри сравнивает низкую стерильность европейских популяций с более высокой стерильностью сельского населения предвоенной Японии [14]. Кристофер Титце также сообщает о низком уровне стерильности гуттеритов [33], который сравним с умеренно высоким уровнем стерильности супружеских пар в Австралии, описанным в работе Джона Колдуэлла и др. [2]. Учитывая такие расхождения в уровне стерильности между разными популяциями, в настоящем исследовании были образованы три модельных ряда относительных чисел стерильных пар по возрасту женщины. Каждый из этих рядов представляет соответственно высокий, средний или низкий уровень стерильности (приложение 2, табл. 16).

Входная переменная «уровень стерильности» применяется для выбора одного из трех модельных рядов, который кажется наиболее подходящим для исследуемого населения. После того как для рассматриваемой когорты женщин выбран модельный ряд показателей стерильности, машинная программа, основанная на методе Монте-Карло, определяет для каждой из женщин возраст, в котором она становится окончательно стерильной.

### РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПЕРИОД

Репродуктивный период в настоящей модели начинается со вступления в брак и кончается моментом прекращения брака или потерей способности к деторождению, в зависимости от того, что наступает раньше. Продолжительность репродуктивного периода равна нулю, если женщина не вступает в брак или если до вступления в брак она становится окончательно стерильной.

Хотя способность к деторождению или ее отсутствие свойственны как мужу, так и жене, в настоящей модели они рассматриваются только как свойство женщины. Например, если становится бесплодным муж, то бесплодной считается и жена. Поэтому модельный ряд показателей стерильности дается только по возрасту жены. Временная стерильность вследствие зачатия или послеродовой аменореи, согласно нашему определению, не рассматривается как прекращение состояния физиологической плодовитости. Иными словами, границы репродуктивного периода определяются только постоянной стерильностью.

Репродуктивный период каждой женщины при имитации определяется следующим образом. Если  $A$ ,  $B$  и  $C$  представляют соответственно возраст вступления в брак, возраст прекращения брака и возраст окончательной стерильности, то:

- (1) при  $A \geq B$  продолжительность репродуктивного периода равна нулю;
- (2) при  $A \geq C$  продолжительность репродуктивного периода равна нулю;
- (3) при  $A < B \leq C$  репродуктивный период длится от  $A$  до  $B$ ;
- (4) при  $A < C < B$  репродуктивный период длится от  $A$  до  $C$ .

#### КОЭФФИЦИЕНТ ВНУТРИУТРОБНОЙ СМЕРТНОСТИ

Правильно оценить коэффициенты внутриутробной смертности весьма сложно. Леридон рассмотрел несколько исследований по этой тематике и пришел к выводу, что в среднем коэффициент внутриутробной смертности не выходит за пределы 20—25% общего числа зачатий. Основываясь на работе Френча (French) и Бирмана (Bierman), он дает также свои оценки коэффициентов внутриутробной смертности по возрасту женщины. Однако, когда мы применили оценки Леридона в настоящей модели, оказалось, что различия по возрасту в значениях коэффициентов внутриутробной смертности слишком велики, чтобы обеспечить удовлетворительные результаты имитации для гуттеритов. Для того чтобы избежать этих трудностей, был подготовлен новый ряд коэффициентов внутриутробной смертности по возрасту женщины, основанный на первоначальных возрастных оценках Френча и Бирмана, но сохраняющий оценку, которую Леридон дал пределам этого общего коэффициента (приложение 2, табл. 17).

При имитации новые оценки были далее интерполированы по формуле Карупа—Кинга (Karup—King) в показатели для однолетних возрастов.

#### ЖЕЛАЕМОЕ ЧИСЛО ДЕТЕЙ

Если применяется контрацепция, то фактическая вероятность зачатия снижается до уровня, равного некоторой доле исходной оплодотворяемости. В настоящей модели контрацепция учитывается лишь при наличии каких-либо мотивов для этого, а именно желания ограничить число детей и распределить рождения во времени. Мотивация к ограничению желаемого числа детей вводится в том случае, когда ожидаемое число доживающих детей достигает или превосходит желаемое число. Таким образом, решающую роль для отдельных супружеских пар играет желаемое число детей.



Среднее желаемое число детей значительно различается как между разными населенными пунктами, так и от одного поколения к другому. При этом желаемое число детей различно также для отдельных супружеских пар в одном и том же населении. Таким образом, при имитации необходимо задавать среднее желаемое число детей в населении и соответствующее распределение супружеских пар по желаемому числу детей. На основе последнего, пользуясь методом Монте-Карло, можно присвоить желаемое число детей отдельным супружеским парам. Хотя среднее желаемое число детей можно получить из данных обследования типа обследований осведомленности, установок и практики\*, сведения о распределении женщин по желаемому числу детей получить весьма трудно. Поэтому в настоящей модели для этого применено бета-распределение.

Говоря о желаемом числе детей, следует отметить, что существует довольно значительная доля супружеских пар, которые полагаются в этом на волю божью или иным образом не в состоянии выразить свои намерения в численной форме. В таком случае при вычислении среднего желаемого числа детей они, вероятно, исключаются из расчетов. Хотя и не ясно, то ли эти пары просто не заинтересованы в размышлениях на эту тему, то ли они действительно предпочитают иметь большое число детей, конечные результаты указывают на отсутствие намерений прибегать к контрацепции. Поэтому в имитационной модели проводится различие между теми, кто хочет и кто не хочет ограничивать число детей. То или иное желаемое число детей присваивается только первой группе, определяемой входной переменной «доля супружеских пар, принявших решение о желаемом числе детей». Те, кто не попадает в эту группу, рассматриваются как не имеющие мотивов применять контрацепцию для ограничения числа детей, хотя они и могут иметь мотивы для размещения рождений во времени.

### ДОЖИТИЕ И ИЗБЫТОЧНОЕ ЧИСЛО ДЕТЕЙ

Дожитие новорожденного ребенка воздействует на модель двояким образом. С одной стороны, смерть младенца влияет на продолжительность лактации и, таким образом, на продолжительность послеродовой стерильности. С другой стороны, дожитие ребенка играет решающую роль в достижении того числа детей, которое может послужить для супружеской пары мотивом прекращения деторождения. Дожитие детей определяется в нашей имитационной модели следующим образом.

Длительность жизни каждого новорожденного ребенка оценивается в индивидуальном порядке согласно функции  $l_x$  таблицы смертности. В первую очередь необходимо выбрать или интерполировать подходящий ряд чисел доживающих,  $l_x$ , из модельных таблиц смертности. Для этой цели принято семейство моделей «Запад» Принстонских региональных модельных таблиц смертности. Для выбора

---

\* Имеются в виду специальные обследования, имеющие целью выяснить осведомленность населения о методах контрацепции, отношение к ним (установку) и практику их применения. — *Примеч. ред.*

и интерполяции ряда чисел доживающих принимается выходная переменная «ожидаемая продолжительность жизни при рождении». Доживет ли ребенок до возраста старше 12 месяцев, определяется далее, путем сопоставления величины  $l_1$  со случайным числом. Если выясняется, что он (или она) доживает до возраста 1 год и более, то берется снова то же самое случайное число и сравнивается с рядом величин  $l_x$  для определения продолжительности его жизни. Если же оказывается, что ребенок не доживает до возраста 1 год, то процесс имитации переходит на следующий этап, где применяется модельная таблица распределения младенческих смертей по месяцам жизни (приложение 2, табл. 19).

Известно, что закономерности дожития по месяцам первого года после рождения различаются для населений с высоким и низким уровнями смертности. Предполагается, что в населении с низким уровнем смертности младенческие смерти сосредоточены на первых месяцах жизни. Однако, поскольку существует лишь небольшое количество надежных данных о дожитии младенцев по месяцам и ни одна из модельных таблиц смертности не содержит месячных коэффициентов дожития для младенцев, были составлены три модельных ряда показателей младенческой смертности по месяцам, которые представляют соответственно высокий, средний и низкий ее уровни (приложение 2, табл. 19). При составлении этих модельных рядов были взяты данные для Маврикия (1962—1966 гг.), представляющие высокий уровень смертности, и для Швеции (1962—1966 гг.), представляющие низкий уровень смертности. Модельный ряд, представляющий средний уровень смертности, был получен как средняя из двух названных рядов. Затем ЭВМ выбирает модель с высоким уровнем смертности, если ожидаемая продолжительность жизни при рождении менее 50 лет, модель со средним уровнем смертности, если эта величина 50 и более, но меньше 65 лет, и модель с низким уровнем смертности, если эта величина 65 лет и более. Еще одно случайное число берется, чтобы определить, сколько месяцев предстоит прожить ребенку согласно выбранному модельному ряду показателей младенческой смертности по месяцам первого года жизни.

Продолжительность жизни каждого ребенка приводится затем к возрасту матери в момент ее смерти или смерти ребенка. Таким образом, становится возможным определить число доживающих детей к моменту достижения их матерью возраста 50 лет. «Избыточное» число детей определяется как разность между желаемым числом детей (при данном возрасте матери.— *Ред.*) и ожидаемым числом детей, доживающих до этого возраста матери.

#### РАЗМЕЩЕНИЕ РОЖДЕНИЙ В РЕПРОДУКТИВНОМ ПЕРИОДЕ

Еще один тип мотивации для контрацепции или искусственных абортов, включаемый в имитационную модель — это желание разместить рождения в репродуктивном периоде. Входная переменная «желаемый интервал между рождениями» дает два типа желаемых интервалов между рождениями: а) между вступлением в брак и первым рождением (так называемый протогенетический интервал — *Ред.*); б) между двумя последовательными рождениями (так называемый интергенетический интервал — *Ред.*). Однако воз-

возможные различия в продолжительности желаемого интервала между рожденьями у отдельных супружеских пар не учтены в модели из-за полного отсутствия данных. Следует заметить, что различие между протогенетическим и интергенетическим интервалами оказались существенно важным для определения формы возрастной кривой рождаемости.

## МЕТОДЫ КОНТРАЦЕПЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Известно, что супружеские пары часто прибегают к различным методам контрацепции на разных этапах своего репродуктивного периода. Часто случается, что супружеская пара применяет несколько методов контрацепции одновременно либо попеременно. Но из соображений простоты при имитации предполагается, что супруги пользуются одним и тем же методом контрацепции на протяжении всего репродуктивного периода. Выбор метода для каждой пары осуществляется с помощью случайных чисел на основе входной переменной «распределение практикующих контрацепцию по применяемым ими методам». Методы сгруппированы следующим образом: 1) внутриматочные приспособления (ВМП); 2) пероральная контрацепция; 3) кондом; 4) прерванное сношение; 5) метод ритма; 6) диафрагма и желе; 7) воздержание; 8) промывание; 9) прочие.

Коль скоро контрацепция практикуется, оплодотворяемость снижается настолько же, насколько эффективен применяемый метод. В связи с этим возникают два вопроса — о выборе меры для определения эффективности применения методов контрацепции и о связи между эффективностью метода и остаточной оплодотворяемостью. Что касается измерения эффективности контрацепции, то для этого был применен показатель эффективности при постоянном применении (extended-use effectiveness). Выбор этого метода как наиболее подходящего для нашей модели определялся в первую очередь тем обстоятельством, что в модели для каждой женщины должен быть взят только один метод контрацепции, даже если супруги перестали им пользоваться или сменили его. Вторая причина, по которой показатель эффективности при постоянном применении предпочтительнее, чем показатель эффективности при разовом применении (simple-use effectiveness), заключается в том, что предполагаемая остаточная оплодотворяемость, связанная с постоянным применением того или иного метода, оказалась относительно стабильной на протяжении различных сроков применения контрацепции. Как показано далее в таблице, предполагаемая остаточная оплодотворяемость, по данным о применении пероральной контрацепции на Филиппинах, остается почти постоянной на уровне 0,02 для продолжительности применения 6, 12, 18 и 24 месяца [20]. Напротив, показатель эффективности при разовом применении дает остаточную оплодотворяемость, которая значительно изменяется по мере увеличения продолжительности применения контрацептива.

Эффективность постоянного применения конкретных методов будет колебаться в зависимости от продолжительности применения, свойств и отработанности метода. Легко, по-видимому, предполо-

**Сопоставление эффективности постоянного и разового применения пероральной контрацепции, выражаемой посредством накопленных относительных чисел неудач, и гипотетической остаточной оплодотворяемости, Филиппины, 1972 г.**

Продолжительность применения, месяцев	Частота неудач		Гипотетическая остаточная оплодотворяемость	
	Эффективность применения		Эффективность применения	
	постоянного	разового	постоянного	разового
6	2,0	12,3	0,0033	0,022
12	3,2	22,3	0,0027	0,021
18	3,7	30,2	0,0021	0,020
24	4,1	36,4	0,0017	0,019

жить, что, например, эффективность метода при постоянном применении будет выше у людей с более высоким уровнем образования. Ввиду этого эффективность постоянного применения оценивалась для трех уровней эффективности [табл. 20]. Входная переменная «уровень эффективности постоянного применения метода контрацепции» задает соответствующий набор оценок. После того как уровень выбран, машинная программа автоматически преобразует значение эффективности постоянного применения в значение остаточной оплодотворяемости.

### ОСТАТОЧНАЯ ОПЛОДОТВОРЯЕМОСТЬ

После того как задана эффективность постоянного применения метода контрацепции, выражаемая накопленным относительным числом неудач после 12 месяцев применения метода, остаточная оплодотворяемость, или гипотетическая месячная вероятность зачатия при применении этого метода, может быть вычислена следующим образом.

Если остаточная оплодотворяемость в расчете на месяц есть  $p$ , то частота неудач  $e$  (12 месяцев) может составить

$$e = 1 - (1 - p)^{12} .$$

Иначе говоря,

$$p = 1 - \sqrt[12]{1 - e} .$$

Если обозначить оплодотворяемость через  $f$ , то отношение остаточной оплодотворяемости к оплодотворяемости будет

$$R = \frac{p}{f} = (1 - \sqrt[12]{1 - e}) / f .$$

Поскольку эффективность постоянного применения часто относится к молодым женщинам, то отношение остаточной оплодотворяемости к оплодотворяемости,  $R$ , может быть таким:

$$R = (1 - \sqrt[12]{1 - e}) / 0,28.$$

Остаточная оплодотворяемость,  $ff(a)$ , которая также может изменяться с возрастом, будет

$$ff(a) = f(a) \cdot R$$

#### КОЭФФИЦИЕНТ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ АБОРТОВ И ИСХОДЫ БЕРЕМЕННОСТИ

Входная переменная «коэффициент распространенности искусственных абортов» характеризует частоту абортов либо для прекращения, либо для откладывания деторождения. Первый показатель — это отношение к числу живорожденных числа искусственных абортов, сделанных с целью избежать нежелательного рождения из-за избыточного числа доживших детей; второй показатель — это отношение таких же величин, с той разницей, что аборты делаются с целью избежать рождения из-за слишком короткого интервала с момента предыдущего рождения. И в том и в другом случае коэффициент распространенности искусственных абортов вычисляется как отношение числа абортов к числу живорождений. С другой стороны, коэффициент внутриутробной смертности (другого возможного исхода неудачной беременности) дается как отношение числа внутриутробных смертей к общему числу беременностей. Таким образом, вероятность того, что беременность закончится живорождением ( $PВ$ ), вероятность внутриутробной смерти, включая мертворождения ( $PФ$ ), и вероятность искусственного аборта ( $РА$ ) вычисляются в настоящей модели следующим образом:

$$PВ = (1 - PФ) \div (1 + a);$$

$$PФ = m;$$

$$РА = a \cdot PВ,$$

где  $m$  — коэффициент внутриутробной смертности;  $a$  — коэффициент распространенности искусственных абортов.

#### ПОСЛЕРОДОВАЯ СТЕРИЛЬНОСТЬ

Период временной стерильности значительно различается в зависимости от исхода беременности. В настоящей модели в случаях внутриутробной смерти и искусственного аборта этот срок принят равным двум месяцам. В случае живорождения, однако, продолжительность периода временной стерильности больше, и она колеблется в зависимости от дожития ребенка и принятой практики лактации. На основе наблюдений Леридона [21] была получена следующая формула для оценки продолжительности послеродовой стерильности ( $y$ ) на основе продолжительности грудного вскармливания ( $x$ ):

$$y = 2,0 + 0,5 \cdot x.$$

В формуле следует заменить  $x$  значением продолжительности жизни младенца, если эта величина окажется меньшей, чем продолжительность периода грудного вскармливания.

### ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И СТАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

При динамическом режиме входные переменные могут быть разделены на две группы. Первая группа входных переменных специфична для каждой когорты и остается неизменной на протяжении всего периода имитации для той же когорты женщин. Вторая группа входных переменных подвержена изменениям каждые пять лет, по мере увеличения возраста когорты. Например, коэффициент распространенности контрацепции,  $C_1$ , применяется к женщинам в возрастах 15—19 лет в одной когорте, другой коэффициент распространенности,  $C_2$ , применяется к той же когорте женщин, когда они переходят в возрастную группу 20—44 лет, и т. д. Что касается следующей когорты женщин, которые на пять лет моложе, чем женщины первой когорты, то для них, когда их возраст 15—19 лет, применяется коэффициент  $C_2$ , а не  $C_1$ , а коэффициент распространенности контрацепции для них в возрастах 20—24 лет будет уже  $C_3$ . Входные переменные второй группы, как видно из приведенного далее списка, специфичны для определенного периода независимо от когорты. Список входных переменных по группам имеет следующий вид.

#### Первая группа

- *Входные переменные, специфичные для когорты*
- 1. Расчетный средний возраст вступления в брак.
- 2. Доля женщин, никогда не состоявших в браке к возрасту 50 лет.
- 3. Доля женщин в возрастах 20, 35 и 50 лет, уже не состоящих в браке.
- 4. Уровень стерильности.
- 5. Средняя продолжительность периода грудного вскармливания.
- 6. Доля супружеских пар, желающих иметь данное число детей.
- 7. Среднее желаемое число детей.
- 8. Желаемый интервал между рождениями.

#### Вторая группа

- *Входные переменные, специфичные для периода*
- 1. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении.
- 2. Коэффициент распространенности контрацепции.
- 3. Коэффициент распространенности искусственных абортов.
- 4. Коэффициент стерилизации.
- 5. Уровень эффективности применения контрацепции.
- 6. Распределение лиц, прибегающих к контрацепции, по методам контрацепции.

Таблица 15

Отдельные модельные ряды долей женщин, когда-либо состоявших в браке, по одногодичным возрастам для разных уровней расчетного среднего возраста вступления в брак\*

Возраст, лет	Расчетный средний возраст вступления в брак		Возраст, лет	Расчетный средний возраст вступления в брак	
	18,0 года	18,5 года		18,0 года	18,5 года
15	0,29550	0,20810	33	0,99480	0,99370
16	0,42380	0,34870	34	0,99570	0,99490
17	0,53810	0,47410	35	0,99640	0,99600
18	0,63830	0,58450	36	0,99710	0,99700
19	0,72430	0,67960	37	0,99750	0,99760
20	0,79640	0,75980	38	0,99790	0,99800
21	0,85480	0,82520	39	0,99820	0,99840
22	0,90020	0,87660	40	0,99850	0,99870
23	0,93350	0,91510	41	0,99880	0,99890
24	0,95650	0,94220	42	0,99910	0,99920
25	0,97100	0,96000	43	0,99940	0,99940
26	0,97900	0,97060	44	0,99960	0,99960
27	0,98310	0,97670	45	0,99980	0,99980
28	0,98530	0,98040	46	1,00000	0,99990
29	0,98710	0,98330	47	1,00000	1,00000
30	0,98940	0,98660	48	1,00000	1,00000
31	0,99200	0,98990	49	1,00000	1,00000
32	0,99370	0,99220			

\* Модельные ряды составлены для каждого 0,5 года среднего возраста вступления в брак, начиная с возраста 16 лет и кончая возрастом 27 лет. Здесь в качестве примера даны только показатели для средних возрастов вступления в брак 18,0 и 18,5 года.

Три модельных ряда долей женщин, окончательно стерильных  
к данному возрасту, для высокого, среднего и низкого  
уровней стерильности

Возраст жены, лет	Уровень стерильности			Возраст жены, лет	Уровень стерильности		
	низкий	средний	высо- кий		низкий	средний	высо- кий
15	0,0250	0,0500	0,0500	33	0,1256	0,2002	0,2673
16	0,0252	0,0518	0,0509	34	0,1419	0,2200	0,2974
17	0,0258	0,0537	0,0518	35	0,1600	0,2400	0,3300
18	0,0268	0,0557	0,0534	36	0,1788	0,2600	0,3634
19	0,0282	0,0578	0,0559	37	0,1972	0,2800	0,3975
20	0,0300	0,0600	0,0600	38	0,2212	0,3040	0,4349
21	0,0342	0,0623	0,0653	39	0,2568	0,3350	0,4782
22	0,0397	0,0649	0,0714	40	0,3100	0,3700	0,5300
23	0,0461	0,0679	0,0790	41	0,3908	0,4573	0,5974
24	0,0530	0,0726	0,0883	42	0,4954	0,5738	0,6787
25	0,0600	0,0800	0,1000	43	0,6155	0,6998	0,7633
26	0,0670	0,0905	0,1140	44	0,7151	0,8151	0,8600
27	0,0743	0,1034	0,1300	45	0,8000	0,9000	0,9500
28	0,0821	0,1182	0,1480	46	0,8733	0,9500	0,9850
29	0,0906	0,1339	0,1680	47	0,9255	0,9750	0,9950
30	0,1000	0,1500	0,1900	48	0,9620	0,9900	0,9990
31	0,1093	0,1661	0,2138	49	0,9850	0,9980	0,9995
32	0,1182	0,1831	0,2395	50	1,0000	1,0000	1,0000

Примечание. Высокий, средний и низкий уровни стерильности соответствуют оценкам стерильности для Японии (сельское население), Австралии и Европы. См. для Японии (сельское население) работу [14], для Австралии — работу [2], для Европы — работу [14].

Доля стерильных женщин в возрасте 45 лет оценена Титце на основании данных для гуттеритов в том же возрасте [33].

Интерполяция была осуществлена по формуле Карупа-Кинга с некоторыми уточнениями для молодых и старших возрастов.

Три оценки коэффициентов внутриутробной смертности  
по возрасту женщин

Возрастные группы, лет	Френч и Бирман*	Леридон*	Новая оценка
15—19	118	186	235
20—24	122	193	239
25—29	135	214	250
30—34	160	253	272
35—39	200	316	306
40—44	270	426	367
45—49			
Средняя	150	237	237

\* Оценки представлены в работе [21, с. 93—[31].



Таблица 18

Распределение (в относительных числах) женщин по желаемому числу детей, вычисленное с помощью бета-функции

Желаемое число детей	Среднее желаемое число детей						Фактическое распределение*, Япония, среднее желаемое число детей 2,6
	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	
0	0,026	0,006	0,002	0,000	0,000	0,000	0,035
1	0,255	0,116	0,048	0,012	0,006	0,005	0,076
2	0,448	0,385	0,252	0,083	0,035	0,021	0,444
3	0,223	0,361	0,399	0,037	0,107	0,056	0,336
4	0,040	0,117	0,233	0,329	0,207	0,110	
5	0,002	0,013	0,056	0,233	0,265	0,171	
6	0,000	0,000	0,005	0,087	0,226	0,214	
7	0,000	0,000	0,000	0,014	0,119	0,211	0,103
8	0,000	0,000	0,000	0,001	0,032	0,149	
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,058	
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	

\* Источник. Japan, Ministry of Health and Welfare. Report of the Sixth National Fertility Survey in 1972. Tokyo, 1973, vol. 1, p. 107.

Таблица 19

Модельные (кумулятивные) распределения младенческой смертности по месяцам первого года жизни

Месяц дожития	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Месяц дожития	Модель 1	Модель 2	Модель 3
0	0,50232	0,39020	0,27800	6	0,82354	0,83341	0,84327
1	0,57300	0,51214	0,45128	7	0,86376	0,87437	0,88498
2	0,63490	0,60270	0,57049	8	0,90434	0,91339	0,92243
3	0,68828	0,67848	0,66788	9	0,94382	0,94838	0,95294
4	0,73349	0,73393	0,73436	10	0,97502	0,97740	0,97977
5	0,77724	0,78445	0,79165	11	1,00000	1,00000	1,00000

Источник. Demographic Yearbook, 1967 (United Nations publication, Sales No. E. 68. XIII. 1), Table 15. Модель 1 — Швеция, 1962—1966 гг.; модель 2 — среднее для Швеции и Маврикия; модель 3 — Маврикий, 1962 — 1966 гг.

Эффективность применения методов контрацепции (высокий, средний и низкий уровни эффективности)

Методы контрацепции	Уровни эффективности		
	высокий	средний	низкий
1. Внутриматочное приспособление (ВМП)	5	10	15
2. Пероральная контрацепция	5	13	30
3. Кондом	5	15	20
4. Метод ритма	20	30	45
5. Желе, диафрагма	5	20	35
6. Прерванное сношение	5	20	40
7. Воздержание	0	5	10
8. Промывание	20	30	40
9. Прочие методы	20	40	60

Примечание. Числа указывают частоту неудач на 100 женщин в течение 12 месяцев после начала применения метода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bongaarts J. A method for the estimation of fecundability.—*Demography*, vol. 12, № 4 (November 1975), p. 645—660.
2. Caldwell J., Young C., Ware H. et al. Australia: knowledge, attitudes and practice of family planning in Melbourne, 1971.—*Studies in Family Planning*, vol. 4, № 3 (March 1973), p. 49—59.
3. Chandrasekaran C. Acceptor data.—In: *Measuring the effect of family planning programs on fertility*. Ed. by C. Chandrasekaran and A. Hermalin. Dolhain, 1975, p. 17—53.
4. Chandrasekaran C., Murly D. and Srinivasan K. Some problems in determining the number of acceptors needed in a family planning programme to achieve a specific reduction in the birth rate.—*Population Studies*, vol. 25, № 2 (July 1971), p. 303—308.
5. Coale A. Age pattern of marriage.—*Population Studies*, vol. 25, № 2 (July 1971), p. 193—214.
6. Coale A. and Demeny P. *Regional model life tables and stable populations*. Princeton: Princeton University Press, 1966.
7. Concise report of monitoring of population policies, report of the Secretary-General. (E/CN.9/324, 19 October 1976). Paper presented to the Population Commission at its nineteenth session, 10—21 January 1977.
8. Davis K. and Blake J. Social Structure and fertility: an analytic framework.—*Economic Development and Cultural Change*, vol. 4, № 3, 1956, p. 211—238.
9. Eaton J. and Mayer A. The social biology of very high fertility among the Hutterites, the demography of a unique popula-

tion.—*Human Biology, A Record of Research*, vol. 25, № 3 (September 1953), p. 206—264.

10. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Report of the multinational study in methodologies for setting family planning targets in the ESCAP region.—*Asian Population Studies Series*, № 31 (NST/ESCAP/14, 1976).

11. Hajnal J. Age at marriage and proportions marrying.—*Population Studies*, vol. 7, № 2 (November 1953), p. 11—136.

12. Henripin J. La population canadienne au début du XVIII siècle.—P. U. F. (Paris, 1954).

13. Henry L. Mortalité intra-utérine et fécondabilité.—*Population*, vol. 19, № 5, p. 899—940.

14. Henry L. Some data on natural fertility.—*Eugenics Quarterly*, vol. 8, № 2 (1961), p. 81—91.

15. Holmberg I. Fecundity, fertility and family planning, application of demographic micromodels.—Demographic Institute Report 10. Göteborg: University of Göteborg, 1970.

16. Horvitz D., Giesbrecht F., Shah B. and Lachenbruch P. POPSIM, a demographic microsimulation model.—*Carolina Population Center Monograph 12*. Chapel Hill: University of North Carolina, 1971, p. 45—63.

17. Jacquard A. La reproduction humaine en régime malthusien.—*Population*, vol. 22 (Septembre-Octobre 1967), p. 897—920.

18. James W. Estimates of fecundability.—*Population Studies*, vol. 17, № 1 (July 1963), p. 57—65.

19. Japan, Ministry of Health and Welfare, Statistics and Information Division, Sekai Shussan-ryoku Chosa Hokoku, Report of the World Fertility Survey, Japan, 1974. Tokyo, 1976.

20. Laing J. Differentials in contraceptive use effectiveness in the Philippines.—*Studies in Family Planning*, vol. 5, № 10 (October 1975), p. 302—315.

21. Leridon H. Biostatistics of human reproduction.—In: Measuring the effect of family planning programs on fertility. Ed. by C. Chandrasekaran and A. Hermalin. Dolhain, 1975, p. 93—131.

22. Menken J. Simulation studies.—In: Measuring the effect of family planning programs on fertility. Ed. by C. Chandrasekaran and A. Hermalin. Liège, 1975, p. 351—379.

23. Pakistan, Ministry of Labour, Manpower, Health and Population Planning. Pakistan Population Planning Programme, A Profile. 1976.

24. Pakistan, Population Planning Council. World Fertility Survey, Pakistan Fertility Survey, First report. Lahore, 1976.

25. Potter R. and Parker M. Predicting the time required to conceive.—*Population Studies*, vol. 18 (July, 1964), p. 99—116.

26. Potter R. and Rao S. Future family planning impact: method and data requirements.—*Economic Bulletin for Asia and the Far East*, vol. 24, № 1 (June 1973), p. 74—82.

27. Potter R. and Sakoda J. A computer model of family building based on expected values.—*Demography*, vol. 3, № 2 (1966), p. 450—461.

28. Ross J. Acceptor targets.—In: Measuring the effect of family planning programs on fertility. Ed. by C. Chandrasekaran and A. Hermalin Dolhain, 1975, p. 55—91.

29. Sheps M. and Menken J. A model for studying birth rates given time dependent changes in reproductive parameters.—*Biometrics*, vol. 27, № 2 (June 1971), p. 325—343.

30. Sheps M. and Menken J. On estimating the risk of conception from censored data.— In: Population dynamics. Ed. by T. Greville. New York, 1972, p. 167—200.

31. Singh S. Low estimates of fecundability. Paper presented at the London Conference, International Population Union.

32. Suchindran C. and Lachenbruch P. Estimates of fecundability from a truncated distribution of conception times.— *Demography*, vol. 12, № 2 (May 1975), p. 291—301.

33. Tietze C. Reproductive span and rate of reproduction among Hutterite women.— *Fertility and Sterility*, vol. 8 (1957), p. 89—97.

34. United States of America, National Center for Health Statistics. User's manual for POPSIM, United States of America, Department of Health, Education and Welfare, Publication No. (HSM) 73—1216. Rockville, 1973.

35. Venkatacharya K. Some implications of susceptibility and its application in fertility evaluation models.— *Sankhya*, ser. B, vol. 31 (June 1970), p. 41—54.

36. Vincent P. Recherches sur la fécondité biologique.— Paris, I. N. E. D.—P. U. F., 1961.

37. World population prospects as assessed in 1973.— *Population Studies*, № 60 (United Nations publication. Sales No. E. 76. XIII. 4).

*Беннет Дайк, Джин У. Мак-Клюэр*

## ОЦЕНИВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПУТЕМ ИМИТАЦИИ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО

Bennett Dyke, Jean W. MacCluer. Estimation of Vital Rates by Means of Monte Carlo Simulation.—*Demography*, vol. 10, № 3, August 1973, p. 383—403.

В последние годы антропологи и специалисты по биологии человека заинтересовались демографией и связью демографических явлений с социальной и генетической структурами населения. Они обнаружили, что обычные демографические показатели, хотя они и правомерны для населений большой численности, могут оказаться неподходящими для характеристики и сравнения населений, численность которых составляет всего несколько сотен человек. Если коэффициент естественного движения для населений малой численности оценивается непосредственно (путем деления числа событий на численность населения, подвергающегося риску данного события), то ошибки выборки могут быть столь велики, что нельзя предположить, будто видимые долговременные тенденции динамики и различия между населением отражают действительные различия в определяющих их условиях — биологических, социальных и относящихся к окружающей среде.

Для того чтобы избежать некоторых трудностей, присущих демографическому анализу малых популяций, мы разработали методику оценивания коэффициентов рождаемости и смертности, которая при многократном повторении расчетов по стохастической имитационной модели позволяет получить в среднем демографическую структуру, близкую к наблюдаемой в данном фактичес-

ком населении. Дополнительное преимущество методики заключается в возможности учесть при расчетах социальные и биологические переменные либо в виде параметров, подлежащих оцениванию, либо в виде известных констант, эффект воздействия которых следует определить. Очевидно, что не существует единственного набора коэффициентов, который однозначно воспроизводит бы данную демографическую структуру. Однако, пользуясь всеми данными, которые только можно собрать относительно популяции малой численности, и полагая на оценки коэффициентов ограничения, делающие их сопоставимыми с коэффициентами в подобных поселениях большей численности, мы получили результаты, о которых на основании известной истории населения можно сказать, что они внутренне непротиворечивы и достаточно приемлемы. Описанная здесь методика имитации с помощью ЭВМ должна найти широкое применение при оценивании демографических показателей для поселений малой численности, данные о которых хотя и ограничены, но охватывают более или менее продолжительный период.

## НАСЕЛЕНИЕ

Первым толчком к применению этого метода послужило низкое качество данных о смертности, собранных в ходе демографического и генеалогического обследований Нортсайда — изолята французского происхождения на острове Сент-Томас, входящем в группу Виргинских островов [3], [11]. Его население вышло непосредственно с острова Сен-Бартеlemi (Сент-Барт) во Французской Вест-Индии, жители которого начали переселяться на остров Сент-Томас около 150 лет назад. К 1917 г., когда Дания продала Виргинские острова Соединенным Штатам Америки, эта иммиграция достигла своего максимума и с тех пор постепенно сокращалась. В 1966 г. только около 10% населения поселка не были уроженцами Сент-Томаса, причем почти все эти люди были пожилыми. Метрические записи католического прихода и официальные данные регистрации естественного движения населения предоставили подробные сведения о рождениях и браках. Но эти источники не предусматривали ни точного учета смертей, ни достоверной идентификации умерших. Сведения о живущих были получены при переписи домохозяйств, проведенной в

1962 г. [11], и доведены до 1966 г. в результате просмотра записей о рождениях, смертях и браках, а также путем опроса тех, кто заявлял об этих событиях.

На основе имеющихся данных регистрации рождений, смертей и браков была установлена предположительная численность постоянного населения в возрасте до 65 лет на конец 1916 г. Затем она была проверена ретроспективно путем восстановления родословных тех, кто жил на острове в 1966 г., и дополнительного опроса. Возможно, что из-за неполной регистрации смертей мы несколько преувеличили численность населения в то время ( $N=202$  человека), однако практика исключения из расчетов лиц старше 65 лет должна была ослабить влияние таких ошибок. Таким образом было определено, что в 1916 г. население острова Сент-Томас состояло из 106 мужчин и 96 женщин. В течение следующих 50 лет было зарегистрировано рождение 348 мужчин и 300 женщин. В их число входят 18 мужчин, которые родились на острове Сент-Барт и мигрировали на остров Сент-Томас, и 6 женщины, нефранцуженок, которые после 1917 г. прибыли в общину, вступив в брак с ее членами. Даты приезда этих иммигрантов были неизвестны, и поэтому мы приняли, что они родились в общине. Другие супружеские пары и дети лиц, вступивших в брак вне общины, были исключены из расчетов, так как до 1950 г. браки с партнерами, не входящими в общину, были редким явлением, причем те, кто вступал в брак вне общины, обычно выходили из нее и, таким образом, не участвовали в ее росте. На конец 1966 г. численность населения составляла 349 мужчин и 308 женщин моложе 65 лет. Таким образом, за 50-летний период с 1916 по 1966 г. умерло 105 мужчин и 88 женщин.

Задача состояла в том, чтобы сначала оценить возрастные показатели смертности, которые в сочетании с известным числом рождений определили прирост населения к 1966 г. по сравнению с существовавшим в 1916 г. С помощью этой оценки мы могли бы затем оценить и возрастные показатели рождаемости.

### ОЦЕНИВАНИЕ ПОРЯДКА ВЫМИРАНИЯ

Смертность была оценена как детерминистски, так и стохастически. Для случая детерминистской оценки была составлена машинная программа, которая

увеличивала исходное население 1916 г. с интервалом в один год на известное по данным регистрации число рождений, а затем рассчитывала число доживающих в каждой возрастно-половой группе в соответствии с одним из рядов возрастных показателей смертности, взятых из Регистральных модельных таблиц смертности Коула и Демени [1]. Этот процесс повторялся до тех пор, пока не был найден такой порядок вымирания, который через 50 «лет» дал общую численность и возрастное распределение населения, близкие к соответствующим характеристикам фактического населения в 1966 г.

В случае стохастического оценивания исходная численность населения, как и прежде, увеличивалась на число зарегистрированных рождений, а коэффициенты смертности были вновь выбраны из таблиц Коула и Демени. Однако в этой программе показатели смертности служили значениями риска смерти по полу и возрасту, которому каждый индивид ежегодно подвергался в течение 50 лет. Решение о том, проживет ли индивид следующий год, принималось по методу Монте-Карло. Для этого генерировалось случайное число, равномерно распределенное в интервале между нулем и единицей, которое сравнивалось затем с вероятностью смерти для индивида данного возраста и пола. Если случайное число оказывалось больше значения вероятности смерти, то индивид оставался в населении, в противном случае его исключали. Это проделывалось повторно с одними и теми же вероятностями смерти, но с разной последовательностью случайных чисел. Были проведены серии повторных испытаний (replicates), содержавшие от 10 до 25 испытаний каждая, причем в каждой из серий применялся один ряд возрастных показателей смертности. Испытания продолжались до тех пор, пока не был найден порядок вымирания, который давал численность населения и возрастное распределение, в среднем приближающиеся к соответствующим характеристикам фактического населения. Как и в случае детерминистского оценивания, показатели смертности не изменялись во времени.

Применение обоих методов не потребовало больших затрат времени и средств, причем оба они дали в сущности одинаковые результаты. Так, значения уровней смертности, полученные с помощью детерминистской программы, были почти тождественны средним значениям, вычисленным из соответствующих серий стохастиче-



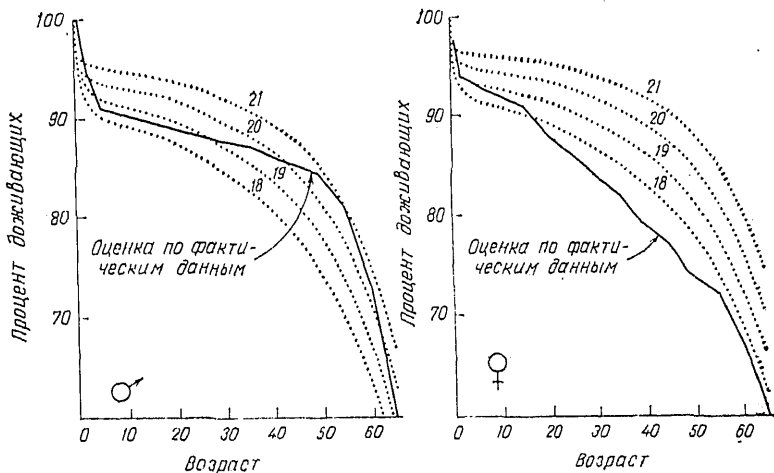


Рис. 1. Возрастные вероятности дожития для мужчин и женщин, полученные для уровней смертности от 18 до 21 семейства моделей «Запад» и оцененные по данным регистрации смертей в Нортсайте

ческих испытаний. Мы, однако, избрали стохастический метод, так как он позволяет получить оценки вариации результатов испытаний. Такие оценки потребовались для определения степени изменчивости выходных данных в более сложной имитационной программе, с помощью которой мы оценивали рождаемость. В этой программе (она описана далее) применены модельные показатели смертности, выбранные описанным здесь способом.

На рис. 1 показаны процент доживающих для каждого пола и возрастов до 65 лет при четырех модельных уровнях смертности (Коул и Демени, уровни от 18 до 21, семейство моделей «Запад») и соответствующие оценки, основанные на фактических данных. С каждым из этих модельных уровней смертности были проведены серии имитаций, от 10 до 25 испытаний в каждой, и результаты каждой серии были усреднены. Табл. 1 содержит средние и дисперсии чисел смертей, полученные при сериях имитаций, основанных на этих модельных порядках вымирания. Под этими результатами указаны известные числа смертей, с которыми должны сравниваться результаты имитации. Если рассматривать только

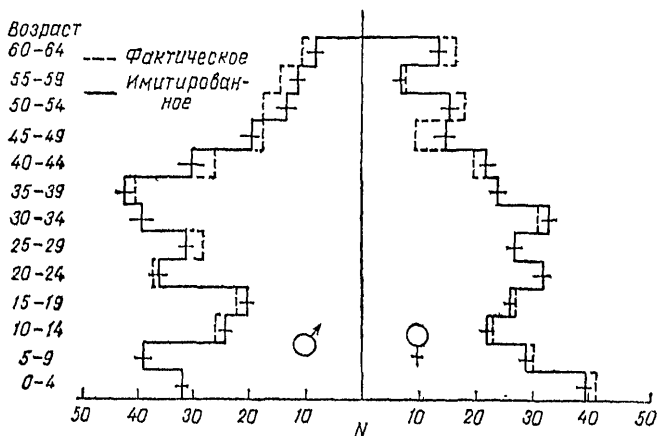


Рис. 2. Возрастно-половое распределение фактического населения и в среднем по 25 испытаниям путем имитации смертности. (Горизонтальные линии в каждой возрастной группе представляют  $\pm$  одно стандартное отклонение от средней.)

общие числа смертей, то, по-видимому, лучшие результаты для мужчин дал уровень смертности 20 по Коулу и Демени (семейство моделей «Запад»), а для женщин — уровень 19 (семейство моделей «Запад»). Последняя строка табл. 1 показывает результаты 25-кратной имитации смертности с применением вероятностей смерти, вычисленных по данным регистрации смертей в Нортсайте. Ясно видно, что модельные порядки вымирания дают лучшие оценки, чем порядки, полученные по эмпирическим данным.

На рис. 2 показано возрастное распределение фактического населения в 1966 г., наложенное на распределение, полученное в среднем по результатам 25-кратной имитации с применением уровня смертности 20 (семейство моделей «Запад») для мужчин и уровня 19 (семейство моделей «Запад») для женщин. Стандартные отклонения численностей каждой возрастной группы от результатов имитации показаны на пирамиде горизонтальными черточками. Можно показать, что если исходное возрастное распределение и число рождений в каждом из рассматриваемых лет заданы, то при условии неизменной смертности существует единственный набор возрастных коэффициентов смертности, дающий конеч-

ное возрастное распределение. Две пирамиды на рис. 2 показывают замечательную согласованность. Ни один из других испробованных рядов показателей смертности не дал такого хорошего совпадения как с возрастнополовой структурой населения для 1966 г., так и с реальным числом смертей.

## ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗРАСТНОЙ РОЖДАЕМОСТИ

При проведении разного рода исследований связи между генетической и демографической структурами населения необходимо знать вероятности появления потомства, дифференцированные по полу и возрасту. Это нужно, например, для исчисления уровня воспроизводительной способности (reproductive value) [6, с. 27] и эффективной численности населения (effective population size) [2]. Без точной регистрации смертей невозможно было прямо оценить эти вероятности по фактическим данным, поскольку мы не знали точных чисел подвергающихся риску произвести потомство. По двум причинам оказалось невозможным и непосредственно применить к населению модельные возрастные показатели рождаемости с помощью либо детерминистских, либо имитационных приемов, аналогичных примененным при оценивании смертности. Во-первых, не было модельных кривых рождаемости, детализированных в такой же степени, как модельные порядки вымирания Коула и Демени. Во-вторых, и это более важная причина, рождаемость представляет собой процесс, в котором участвуют оба пола. В частности, рождаемость есть функция не только возраста, но и брачного состояния, а в этом населении большое число индивидов остается вне брака. Вероятность вступления в брак при этом зависит не только от возраста, но и от наличия подходящего партнера, и поэтому она подвержена влиянию изменений возрастнополового состава населения [4]. Следовательно, было необходимо имитировать весь процесс, охватывающий рождения, браки и смерти за интересующий нас 50-летний период. В конце концов для этого была применена пригодная для расчетов на ЭВМ модель, реализующая принятие решений по методу Монте-Карло.

Для каждого индивида, включая входивших в исходное население 1916 г., эта модель предусматривает хранение в памяти ЭВМ ряда переменных, таких, как иден-

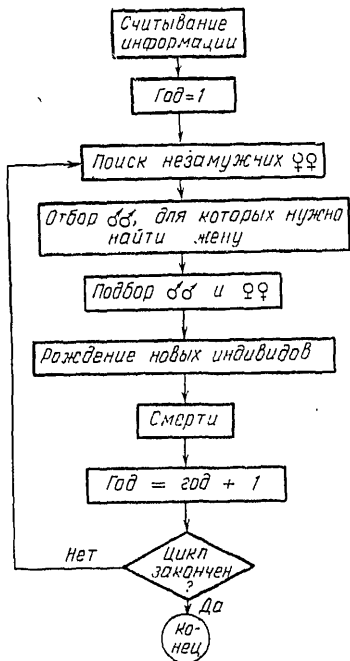


Рис. 3. Блок-схема имитационной программы, примененной для оценивания возрастных коэффициентов рождаемости. Источник: American Journal of Physical Anthropology, vol. 35, № 2, September 1971, p. 196. By Permission of Wistar Institute Press, Philadelphia, Pennsylvania

тификационный номер индивида и его родителей, пол, даты рождения, вступления в брак и смерти и т. д. Для каждого индивида «ежегодно» принимается решение о том, произойдет ли с ним какое-либо из событий естественного движения населения, вероятности которых были приняты в качестве входных параметров модели. Примененная машинная программа аналогична описанным в работах [8] и [10]. Упрощенная блок-схема показана на рис. 3.

Кроме исходного населения острова Сент-Томас в 1916 г., модель предусматривает следующие основные входные данные:

- 1) вероятности смерти как функция возраста и пола;
- 2) вероятности для незамужних мужчин найти супругу как функция возраста и предшествующего брачного состояния;
- 3) желательные средние и стандартные отклонения возраста жены как функция возраста мужа;
- 4) вероятности рождения ребенка как функция возраста замужних женщин;
- 5) вероятности рождения ребенка как функция интервала со времени предыдущего рождения;
- 6) соотношение численностей полов при рождении.

Было принято, что все эти параметры остаются неизменными во времени. Порядок вымирания был оценен описанным ранее способом на основе уровня 20 (семейство моделей «Запад») для мужчин и уровня 19 (семей-

Число смертей, имитированное на основании  
модельных порядков вымирания

Уровень смертности*	Мужчины		Женщины		Оба пола		Число испытаний в серии при имитации
	$\bar{N}$	$s^2$	$\bar{N}$	$s^2$	$\bar{N}$	$s^2$	
18	126,4	42,0	97,2	58,4	223,6	50,3	10
19	114,3	52,1	88,7	35,9	203,0	84,4	25
20	104,9	25,7	81,1	38,6	186,0	80,6	25
21	98,0	43,8	75,3	29,8	173,3	103,1	10
Известное число смер- тей	105		88		193		
Оценка по эмпиричес- ким данным	107,8	31,8	101,6	51,5	209,4	103,6	25

\* Согласно модельным таблицам смертности Коула и Демени [1].

ство моделей «Запад») для женщин из таблиц Коула и Демени. Что касается предварительных оценок остальных пяти параметров, то они были сделаны непосредственно по фактическим данным.

### ПРИГОНКА МОДЕЛИ

Для того чтобы избежать дальнейших затруднений, связанных с недостатками в регистрации смертей, необходимо было выбрать в процессе пригонки (validation) модели такие демографические характеристики, которые были бы относительно независимыми от оценок смертности, применяемых для сравнения фактического и имитированного населений. Были выбраны следующие критерии: число рождений и браков за 50-летний период, возрастное распределение и разница в возрасте супругов при вступлении в первый брак, распределение отцов и матерей по возрасту при рождении ребенка и распределение интервалов между рожденьями. Все эти показатели было легко получить из данных о рожденьях и браках.

Было проведено несколько серий имитации по пять испытаний в каждой, причем в каждой серии входные

параметры оставались неизменными. Результаты каждой серии усреднялись и сравнивались с данными для фактического населения. На основании такого сравнения входные параметры для следующей серии изменялись таким образом, чтобы они давали последовательно все лучшее согласие с критериями, принятыми для пригонки модели. Во многих случаях изменения в значении данного параметра приводили к результатам, которые при следующем вводе требовали относительно небольшой корректировки. В целом оказалось возможным действовать достаточно систематическим образом в соответствии с последовательностью принятия решений в машинной программе:

1. При числах рождений, скорректированных так, что они дают примерно правильный их уровень, вероятности для мужчины найти супругу корректировались до тех пор, пока имитированное и фактическое население не совпадали; соответственно корректировалось распределение мужей по возрасту при вступлении в первый брак. Предполагалось, что мужчины могут вступить в первый брак в возрасте от 19 до 45 лет. Это распределение непосредственно определялось входными вероятностями, и оказалось, что оно устойчиво и его легко корректировать.

2. Затем подбирались соответствующие распределения жен по возрасту при вступлении в первый брак и по разнице в возрастах супругов. Это оказалось сложной процедурой: предполагалось, что контролируемый входной параметр (требуемый возраст жены) нормально распределен для каждого возраста мужчин, однако в действительности возрастные распределения вступающих в брак женщин были резко асимметричными. Причиной асимметрии послужило то, что мужчины в этом населении обычно женятся на женщинах, которые моложе, а не старше их, а, кроме того, устойчивый брак в моногамном обществе представляет собой как бы отбор без возвращения из конечной совокупности. Соответствие средних для обоих распределений было достигнуто путем значительной коррекции входных вероятностей по методу проб и ошибок. На дисперсии этих распределений также сильно повлияло число случаев, когда для могущего вступить в брак мужчины допускался каждый год повторный поиск супруги, если для него не сразу удавалось выбрать женщину, подходящую по возрасту

и семейному положению (браки внутри семьи не допускались). Было признано необходимым в дальнейшем непосредственно уменьшить вероятности вступить в брак для женщин в возрасте 15, 16 и 17 лет на заранее определенные величины.

3. Затем приводились в соответствие с реальным населением данные об интервалах между рождениями. Их распределение непосредственно определялось соответствующими входными вероятностями и, как и в случае возраста вступления в брак мужей, было устойчивым и легко поддавалось коррекции.

4. Далее были приведены в соответствие возрастные распределения матерей при рождении ребенка. Это распределение также непосредственно определялось входными вероятностями. Хотя распределение отцов по возрасту при рождении ребенка специально не корректировалось, полученное окончательное распределение их достаточно хорошо соответствовало распределению в фактическом населении.

5. Наконец, была проведена окончательная коррекция вероятностей рождения ребенка, так, чтобы числа рождений, браков и смертей при имитации соответствовали этим числам в фактическом населении. Требование сохранить число рождений на приблизительно правильном уровне, принятое при предыдущих расчетах, означает, что на данном этапе величина поправки была сравнительно небольшой.

Этот процесс продолжался до тех пор, пока общий результат пяти испытаний не сошелся близко с характеристиками фактического населения. Было проведено также 20 дополнительных испытаний без изменения входных параметров. Некоторые данные для фактического населения и усредненные результаты этих 25 испытаний путем имитации для описанных ранее распределений сравниваются на рис. 4—5\*. В целях сопоставимости они выражены в процентах, так как расчеты, сделанные для фактического населения, основывались обычно на выборках, меньших, чем общее число имитированных событий. Порядок пригонки модели иллюстрирует табл. 2. В ней показаны два последовательных изменения в возрастных вероятностях вступления в брак для мужчин и вызванные ими изменения в распределении

---

\* Часть рисунков опущена.— *Прим. ред.*

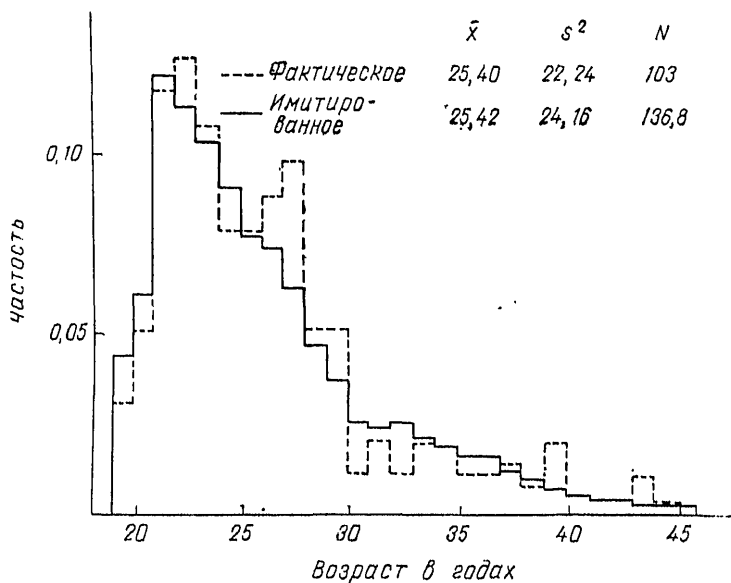


Рис. 4. Распределение мужчин по возрасту при вступлении в первый брак в фактическом населении и в среднем по 25 испытаниям путем имитации

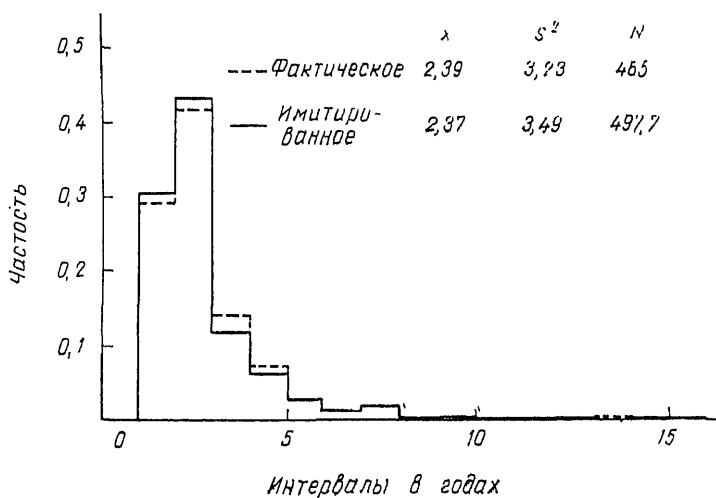


Рис. 5. Распределение интервалов между рожденьями в фактическом населении и в среднем по 25 испытаниям путем имитации



Таблица 2

Изменения в вероятностях вступления в брак для мужчин  
в ходе пригонки модели и вызванные этим изменения  
в распределении мужчин по возрасту при вступлении в первый брак

Возраст, лет	Возрастные вероятности найти супругу (для мужчин)		
	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
18	0,000	0,000	0,000
19	0,020	0,020	0,025
20	0,040	0,040	0,040
21	0,070	0,070	0,080
22	0,100	0,100	0,095
23	0,100	0,100	0,095
24	0,100	0,100	0,095
25	0,098	0,098	0,095
26	0,096	0,096	0,095
27	0,093	0,093	0,095
28	0,091	0,091	0,080
29	0,088	0,080	0,065
30	0,084	0,075	0,050
31	0,079	0,070	0,045
32	0,073	0,064	0,045
33	0,066	0,058	0,043
34	0,058	0,050	0,043
35	0,051	0,045	0,041
36	0,044	0,041	0,040
37	0,038	0,035	0,035
38	0,032	0,032	0,032
39	0,025	0,025	0,025
40	0,019	0,019	0,019
41	0,013	0,013	0,013
42	0,010	0,010	0,010
43	0,008	0,008	0,008
44	0,006	0,006	0,006
45	0,006	0,006	0,006
46	0,006	0,000	0,000
47	0,006	0,000	0,000
48	0,006	0,000	0,000
49	0,006	0,000	0,000
50	0,006	0,000	0,000
51	0,006	0,000	0,000
52	0,006	0,000	0,000
53	0,006	0,000	0,000
54	0,006	0,000	0,000

Возраст, лет		Возрастные вероятности найти супругу (для мужчин)			
		Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	
	55	0,006	умень- шение →	0,000	0,000
	56	0,006		0,000	0,000
	57	0,006		0,000	0,000
	58	0,006		0,000	0,000
	59	0,006		0,000	0,000
	60	0,006		0,000	0,000
	61	0,006		0,000	0,000
	62	0,006		0,000	0,000
	63	0,006		0,000	0,000
	64	0,006		0,000	0,000
	65	0,006		0,000	0,000
Возраст мужчин при вступле- нии в первый брак	Фак- тичес- кие зна- чения				
$\mu$	25,40	25,98		25,70	25,42
$\sigma^2$	22,24	35,04		21,54	24,16

мужчин по возрасту при вступлении в первый брак. Сначала возрастное распределение при вступлении в первый брак сильно отклонялось от соответствующего распределения в фактическом населении. Об этом говорят средние и дисперсии фактического населения и ряда 1, показанные в двух последних строках таблицы. На основе формы этих распределений были изменены вероятности вступления в брак на двух больших отрезках диапазона возрастов (в возрастах от 29 до 37 и от 46 до 65 лет). Полученное в результате этого имитированное распределение по возрасту при вступлении в первый брак (ряд 2) было значительно ближе к соответствующему распределению в фактическом населении. Дальнейшие более дробные поправки (ряд 3) привели к распределению, изображенному на рис. 4.

В табл. 3 показаны средние и дисперсии чисел рождений, браков и смертей и окончательная численность населения как результат 25 серий имитации, а также сопоставимые данные для фактического населения. Мы

Числа рождений, браков и смертей за 1917—1966 гг.  
и численность населения в 1966 г. для фактического  
и искусственного населений

	Фактическое население	25 искусственных населений	
		Средняя	Дисперсия
Число рождений:			
мужчины	330	338,3	2755,1
женщины	300	295,6	1366,2
всего	630	633,9	7584,7
Число браков	141	141,5	218,7
Число смертей:			
мужчины	105	106,7	50,9
женщины	88	89,4	25,4
всего	193	196,1	75,4
Численность населения:			
мужчины	349	354,6	2289,7
женщины	308	302,2	1361,6
всего	657	656,8	6817,3

достигли, по-видимому, довольно близкого соответствия между фактическим и имитированным населением в отношении критериев, по которым они сопоставлялись, и можно полагать, что выводы, сделанные по результатам анализа имитированных данных, могут быть распространены на фактическое население.

На основании результатов имитаций мы вычислили возрастные коэффициенты рождаемости для населения Нортсайда. Эти коэффициенты показаны на рис. 6 для женщин в возрасте от 15 до 50 лет. Гистограмма изображает средние значения для каждого возраста, вычисленные из объединенных результатов всех 25 испытаний, а наложенная на нее кривая — это многочлен третьей степени, полученный методом наименьших квадратов для возрастов от 15 до 45 лет. В табл. 4 показаны полученные путем имитации сглаженные возрастные коэффициенты рождаемости для мужчин и женщин Нортсайда. В ней приведены также некоторые другие характеристики рождаемости и воспроизводства населения, полученные на

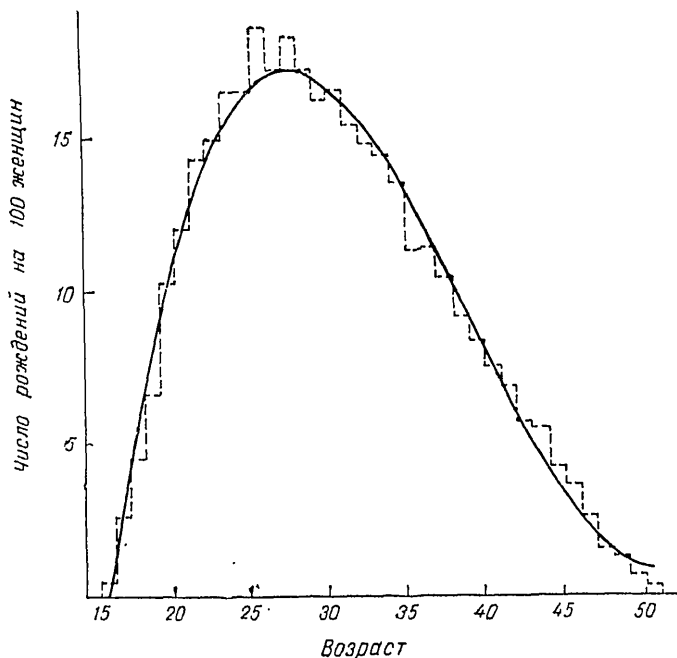


Рис. 6. Неизменные возрастные коэффициенты рождаемости для женщин. (Гистограмма получена по 25 испытаниям путем имитации и сглажена с помощью многочлена третьей степени).

основе оценок коэффициентов рождаемости и смертности.

Была сделана попытка определить влияние вариации в общих числах рождений на сделанные таким путем оценки возрастных коэффициентов рождаемости. Для этого мы разбили результаты 25 испытаний путем имитации на четыре подгруппы, вычислили для них возрастные коэффициенты рождаемости таким же образом, как и для выборки в целом, и сравнили сглаженные распределения. Четыре подгруппы состояли из усредненных результатов шести испытаний, давших за 50-летний период:

1) наибольшее среднее число рождений ( $\bar{N}=748,2$ ;  $s^2=1010,1$ );

2) наименьшее среднее число рождений ( $\bar{N}=532,5$ ;  $s^2=2981,1$ );

## Оценки возрастных коэффициентов рождаемости для населения Нортсайда

Возраст, лет	Для мужчин	Для женщин	Возраст, лет	Для мужчин	Для женщин
15	0,0000	0,0000	43	0,1104	0,0449
16	0,0000	0,0281	44	0,1021	0,0362
17	0,0000	0,0558	45	0,0933	0,0284
18	0,0067	0,0801	46	0,0841	0,0216
19	0,0231	0,1012	47	0,0747	0,0159
20	0,0388	0,1192	48	0,0651	0,0116
21	0,0536	0,1342	49	0,0555	0,0088
22	0,0675	0,1465	50	0,0460	0,0077
23	0,0805	0,1562	51	0,0367	—
24	0,0924	0,1634	52	0,0277	—
25	0,1033	0,1684	53	0,0193	—
26	0,1131	0,1712	54	0,0116	—
27	0,1218	0,1720	55	0,0048	—
28	0,1294	0,1710	56	0,0000	—
29	0,1357	0,1683	57	0,0000	—
30	0,1410	0,1642	58	0,0000	—
31	0,1450	0,1587	59	0,0000	—
32	0,1479	0,1520	60	0,0000	—
33	0,1496	0,1443			
34	0,1501	0,1356			
35	0,1496	0,1263	Собственный коэффициент естественного прироста	0,0140	0,0135
36	0,1479	0,1165			
37	0,1453	0,1062	Чистый коэффициент воспроизводства	1,618	1,478
38	0,1416	0,0956			
39	0,1370	0,0850	Валовой коэффициент воспроизводства	1,847	1,661
40	0,1315	0,0745			
41	0,1252	0,0642			
42	0,1181	0,0543			

3) среднее число рождений, приблизительно совпадающее с числом рождений во всей выборке, с максимальной дисперсией ( $\bar{N}=633,8$ ;  $s^2=24170,2$ );

4) среднее число рождений, приблизительно совпадающее с числом рождений во всей выборке, с минимальной дисперсией ( $\bar{N}=633,5$ ;  $s^2=395,9$ ).

На рис. 7 показаны сглаженные коэффициенты рождаемости для первых двух групп по шесть испытаний (наибольшее и наименьшее числа рождений), а на рис. 8 — для остальных двух групп (максимальная и

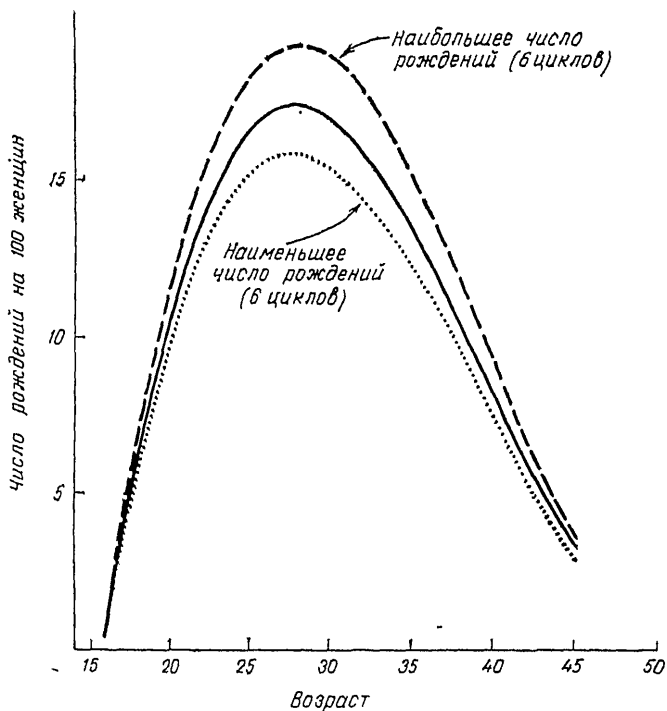


Рис 7. Сглаженные неизменные возрастные коэффициенты рождаемости для женщин

минимальная дисперсия чисел рождений). Сплошная кривая на этих рисунках аналогична кривой на рис. 6, т. е. она получена на основании всей выборки объемом в 25 испытаний. Оказывается, что достаточно хорошие оценки коэффициентов рождаемости можно делать и на основе небольшой серии имитаций при условии, что среднее число рождений в серии приблизительно совпадает с числом рождений в фактическом населении (рис. 8), даже если дисперсия около этой средней будет сравнительно велика. Однако если близкого соответствия между числами рождений в фактическом и имитированном населении нет (см. рис. 7), то оценки рождаемости будут, скорее всего, ненадежными.

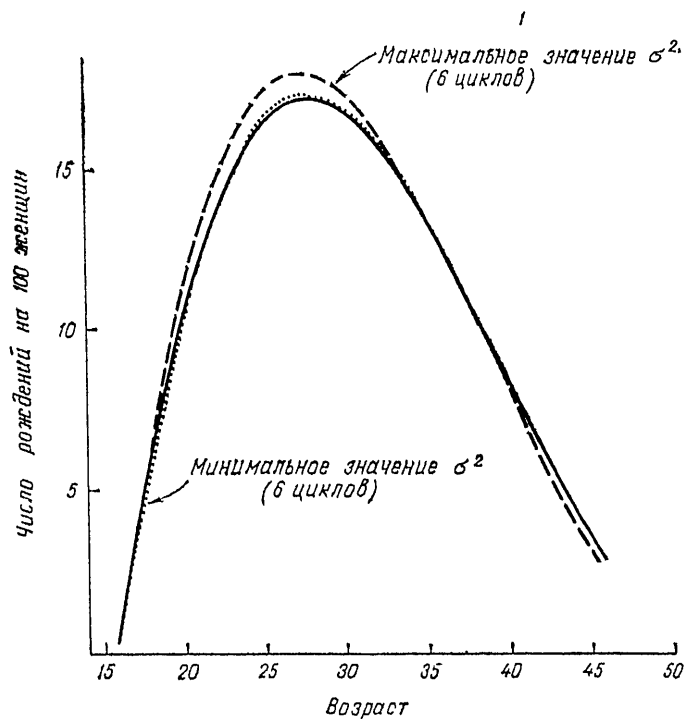


Рис. 8. Сглаженные неизменные возрастные коэффициенты рождаемости для женщин

## ОБСУЖДЕНИЕ

Имитация по методу Монте-Карло применялась демографами, антропологами и специалистами в области генетики для изучения структуры человеческих популяций с начала 1960-х гг. (обзор см. в работе [8]). Однако никто не пытался применить имитацию с помощью ЭВМ для оценивания возрастных коэффициентов естественного движения населения в небольших популяциях. Ценность описанного здесь подхода зависит от того, в какой степени принятые в вычислительной модели предположения и перспективные оценки отражают поведение фактического населения. Примененная в данном исследовании имитационная модель была достаточно сложной и достоверно воспроизводила характеристи-

ки населения Нортсайда по ряду признаков. Однако в модель были введены некоторые упрощения:

- 1) миграция отсутствует или минимальна;
- 2) другой супруг отыскивается и выбирается для мужчин, а не для женщин;
- 3) вероятности рождения ребенка есть функции только возраста замужних женщин и интервалов между рождениями их детей;
- 4) коэффициенты рождаемости, брачности и смертности неизменны во времени.

В какой степени эти допущения справедливы для населения острова Сент-Томас?

1) Поскольку население лучше определялось генеалогически, чем географически, миграцию мы измеряли не как простое перемещение людей, а, по существу, через показатели брачности и воспроизводства населения. Таким способом мы смогли учесть только незначительную часть иммиграции в населении острова Сент-Томас после 1916 г. Для того чтобы в точности воспроизвести ее влияние, мы просто добавляли в каждом цикле имитации известные числа иммигрантов с момента их рождения. В данных нашего учета насчитывается несколько молодых людей, которые, особенно в последние годы, эмигрировали из общины, но поддерживают связь со своими родственниками. Как было указано, мы включили их в наши расчеты, но не учитывали ни их супругов, ни их детей. Хотя мы, вероятно, не учли всех мигрантов, но число пропущенных, несомненно, мало по сравнению с дисперсией наших оценок конечной численности населения, и мы полагаем, что были вправе пренебречь воздействием этого.

2) В имитационной модели Хорвица и соавторов [7] было принято, что брачный партнер подыскивается для женщин. Преимущество этой методики заключается в возможности более непосредственного перехода к возрасту матери при рождении ребенка и к календарю рождений вообще. Однако среди жителей острова Сент-Томас, принадлежащих к французской культуре, равно как и в большей части западного мира, сохраняется убеждение, что именно мужчина выбирает женщину в качестве брачного партнера, а не наоборот. Существующий в общине обычай открытого ухаживания не дает основания отказаться от этого предположения, и поэтому мы решили следовать при имитации именно этому



обычаю. Было бы интересно сравнить влияние на результаты двух способов выбора брачного партнера.

3) Весьма вероятно, что в условиях высокой социальной ценности детей, относительно небольшой дифференциации по социальному статусу в общине и подверженности установкам религии на высокую рождаемость возраст замужних женщин — это один из наиболее важных факторов, определяющий уровень рождаемости в данной популяции. В наших первых циклах имитации возрастные вероятности рождения ребенка для замужних женщин были единственным параметром, который непосредственно определял прирост населения. Стало очевидно, что никакая коррекция этих вероятностей не приведет в результатах имитации к правильному распределению интервалов между рождениями. Для того чтобы достигнуть показанного на рис. 5 распределения, необходимо было взвесить эти вероятности множителем, производным от вероятности рождения ребенка, с учетом заданного интервала со времени предыдущего рождения.

4) Наиболее сомнительным выглядит, конечно, предположение о неизменности показателей естественного движения. Данных для Нортсайда, за исключением более или менее субъективных впечатлений об изменении смертности, недостаточно, чтобы сделать прямую оценку длительных тенденций их изменения.

Насколько можно было определить, население Нортсайда избежало разрушительного действия эпидемий тяжелых болезней за рассматриваемый период, возможно, вследствие того, что оно все время оставалось территориально обособленным от остальной, большей части населения Сент-Томаса и не испытывало трудностей санитарного порядка, все еще присущих урбанизированным регионам островов. Данные больничной регистрации показывают, что жители Нортсайда традиционно пользовались отличным медицинским обслуживанием, организованным в начале века датским врачом Кнуд-Хансеном (Knud-Hansen). Более того, ни одна из мировых войн не повлияла на смертность мужчин Нортсайда. Эти косвенные свидетельства и хорошее соответствие между фактическими и имитированными возрастными распределениями и числами смертей привели нас к заключению о том, что предположение об относительно неизменной смертности за 50-летний период нельзя считать нереалистичным, хотя незначительные поправки

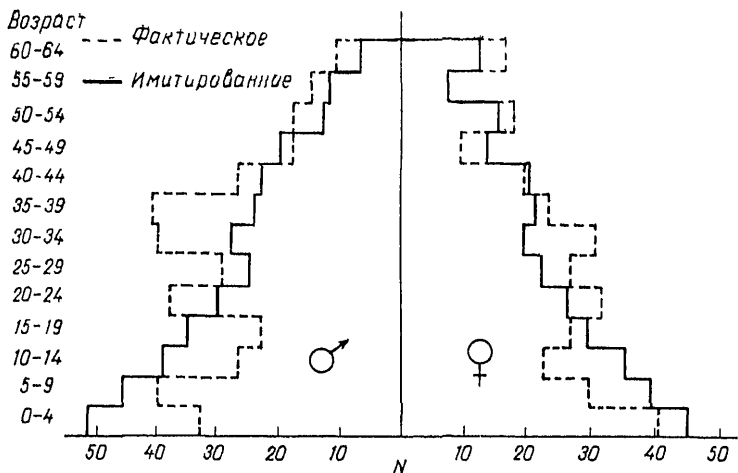


Рис. 9. Возрастно-половое распределение фактического населения и в среднем по 25 испытаниям путем имитации с неизменными коэффициентами рождаемости, брачности и смертности

в порядке вымирания по мере течения времени и могли бы уменьшить оставшиеся расхождения.

Если принять приближенно, что уровень смертности не изменялся, то, сравнив возрастную структуру фактического населения в 1966 г. и среднюю возрастную структуру по различным сериям имитации, можно получить представление о коэффициентах рождаемости. На рис. 9 сравниваются распределение по полу и возрасту фактического населения и среднее распределение, полученное в результате 25 испытаний, в которых были имитированы как смертность, так и рождаемость. Несоответствие между двумя пирамидами в возрастных группах родившихся после 1916 г. ясно показывает, что предположение о неизменной рождаемости нереалистично.

Сравнительно простая модификация программы имитации дала возможность изменять во времени входные вероятности. Все распределение возрастных коэффициентов рождаемости замужних женщин изменялось в начале каждого пятилетнего периода имитации путем умножения каждого значения вероятности на константу. Этот постоянный множитель менялся от одного пяти-

летнего периода к другому, но в пределах пятилетнего периода оставался неизменным для всех возрастов. Более реалистичная модель позволила бы сделать изменения непрерывными во времени и неодинаковыми для разных возрастных групп. Однако, на наш взгляд, достигаемое благодаря этому небольшое увеличение точности не стоит дополнительных затрат времени и средств, которые потребовались бы для пригонки модели, особенно если иметь в виду незначительные величины годовых чисел рождений. Указанные константы корректировались в нескольких сериях испытаний до тех пор, пока не было достигнуто соответствие фактической и имитированной возрастных структур. Необходимый для достижения этого соответствия характер долговременных изменений в рождаемости иллюстрирует рис. 10, изображающий входные вероятности рождения ребенка для замужних женщин в возрасте 20 лет на протяжении 50-летнего периода. Представлены также (пунктирная линия) входные показатели для 20-летних замужних женщин в тех имитациях, где рождаемость предполагалась неизменной.

В ходе этих расчетов соблюдались все указанные ранее критерии пригонки модели. В первых сериях испытаний стало очевидно, что имитированное число браков было слишком велико, и для компенсации этого излишка возрастные вероятности вступления в брак для

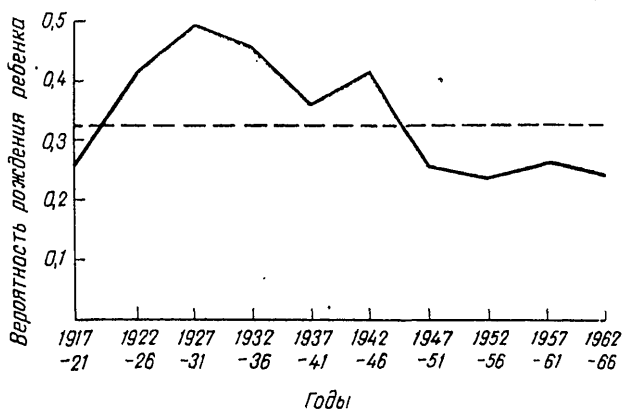


Рис. 10. Изменения во входных вероятностях рождения ребенка для 20-летних замужних женщин по пятилетним периодам

мужчин были уменьшены. Для остальных входных параметров никаких поправок не понадобилось, и значения критериев пригонки модели остались поразительно мало отличающимися от показанных в табл. 3 и на рис. 4—5. О деталях этого эксперимента и об оценках долговременных изменений в возрастных показателях рождаемости всех женщин говорится в другой работе [5].

Очевидно, что эти предположения не отражают всей сложности процессов, лежащих в основе событий естественного движения населения. Но что касается имитации в том виде, в каком мы ее применили, то наибольшие надежды вселяет тот факт, что мы можем очень точно воспроизвести демографическое поведение фактического населения путем тщательного подбора небольшого числа наиболее важных параметров.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью двух описанных имитационных моделей мы смогли получить оценки коэффициентов естественного движения по данным, которые иным образом для этой цели применить нельзя. Но, возможно, важнее фактических результатов исследования было расширение наших познаний в отношении примененной методики. Кратко подытоживая, мы убедились в следующем:

1. К имитационным моделям следует прибегать для оценивания каждый раз только одного показателя, и модели должны быть построены как можно проще.

2. Входные вероятности, после того как они скорректированы для получения наилучших выходных результатов, могут уже не соответствовать полностью тем же вероятностям, рассчитанным по исходным данным. Это, в частности, было так, когда решения принимались на основании совместных распределений вероятностей, как в случае рассмотрения вероятностей рождения ребенка.

3. Не обязательно строить модель так, чтобы входные параметры сами применялись в качестве оценок демографических показателей (как в случае наших оценок смертности). Предпочтительнее, накапливая соответствующие данные относительно каждого индивида в составе выходной информации об имитированном населении, предусмотреть вычисление таких показателей, которые невозможно получить из данных о фактическом населении, или те, которые не определены непосредст-

венно во входных данных (как в случае оценивания рождаемости).

4. Процесс приведения в соответствие показателей фактического и имитированного населений требует, вероятно, больших затрат времени и средств. Кроме затрат времени и денег, необходимых для составления машинных программ, выполняющих описанные имитации, длительный процесс представляет собой пригонку модели. Помимо того, что значительная часть нашего времени была затрачена на изучение действующих методик и на проведение опытов с самой моделью, прежде чем удалось добиться удовлетворительного соответствия выходных данных фактическому населению, было проделано более трехсот 50-летних имитационных циклов. В результате этого опыта мы убедились в том, что могли бы разрешить ту же задачу при другом населении, для чего, возможно, потребовалось бы втрое меньше испытаний для пригонки, но если каждое из них заняло бы на машине IBM 360/67 от 60 до 70 секунд машинного времени, то это все же потребовало бы значительных расходов.

Одна из возможностей снизить затраты заключается в получении и анализе результатов имитации для меньших подгрупп. В этом случае можно получить хорошие оценки неизменных коэффициентов рождаемости, если отбирать подгруппы таким образом, чтобы средний прирост был приблизительно равен приросту в фактическом населении. Это говорит о том, что в некоторых случаях может оказаться достаточным добиваться лишь приблизительного соответствия критериям пригонки модели, а затем проводить испытания только до тех пор, пока не будет получен некоторый ряд показателей, который даст, например, такой же средний прирост, что и в фактическом населении. Эта методика требует, конечно, тщательной оценки, однако вполне возможно, что оценки, сделанные по некоторой серии циклов, отобранной таким путем, столь же достоверны, как и сделанные по большому числу испытаний очень точно пригнанной модели.

Мы полагаем, что представленное здесь применение имитации, несмотря на затраты с ним связанные, имеет большое значение: мы не только получили возможность оценить коэффициенты естественного движения населения, которые никоим образом нельзя было получить

иначе, но также пришли к убеждению, что при достаточно хорошем соответствии между имитированным и фактическим населением эксперименты, проводимые на искусственном населении, вполне могут дать реалистичные результаты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Coale Ansley J. and Demeny Paul. Regional Model Life Tables and Stable Populations. Princeton, Princeton University Press, 1966.

2. Crow James F. and Kimura Motoo. The Effective Number of a Population with Overlapping Generations: A Correction and Further Discussion.—*American Journal of Human Genetics*, 1972, vol. 24, p. 1—10.

3. Dyke Bennett. La Population de Northside dans L'île Saint-Thomas, un Isolat Français dans les Antilles.—*Population*, 1970, vol. 25, p. 1197—1204.

4. Dyke Bennett. Potential Mates in a Small Human Population.—*Social Biology*, 1971, vol. 18, p. 28—39.

5. Dyke Bennett. Estimation of Changing Rates by Simulation.—In: Computer Simulation in Human Population Studies. New York, Seminar Press. In press.

6. Fisher Ronald A. The Genetical Theory of Natural Selection. 2nd. rev. ed. New York, 1958.

7. Horvitz D. G., Giesbrecht F. G., Shah B. V. and Lachenbruch P. A. POPSIM, a Demographic Microsimulation Model.—In: Monograph 12, Carolina Population Center. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1971.

8. MacCluer Jean W. Monte Carlo Methods in Human Population Genetics: A Computer Model Incorporating Age-Specific Birth and Death Rates.—*American Journal of Human Genetics*, 1967, vol. 19, p. 303—312.

9. MacCluer Jean W. Computer Simulation in Anthropology and Human Genetics.—In: Crawford M. H. and Workman P. L. (eds.). Methods and Theories in Anthropological Genetics. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1973. In press.

10. MacCluer Jean W. and Schull William J. Frequencies of Consanguineous Marriage and Accumulation of Inbreeding in an Artificial Population.—*American Journal of Human Genetics*, 1970, vol. 22, p. 160—175.

11. Morrill Warren T. and Dyke Bennett. A French Community on St. Thomas.—*Caribbean Studies*, 1965, vol. 5, p. 3—11.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>Ханнес Хюрениус, Ингвар Холмберг, Маргарета Карлссон.</i> Демографические модели. ДМ 3. Перевод с английского <i>А. Г. Волкова</i> . . . . .	14
<i>Ингвар Холмберг.</i> Демографические модели. ДМ 4. Перевод с английского <i>А. Г. Волкова</i> . . . . .	42
<i>Н. Ф. Р. Крафтс, Н. Дж. Айрленд.</i> Роль методов имитации в разработке теории формирования семьи и его изучения. <i>Перевод с английского В. Л. Гопмана</i> . . . . .	76
<i>Сюнити Иноуэ.</i> Выбор мер демографической политики для воздействия на рождаемость. Исследование путем микронми- тации на ЭВМ. <i>Перевод с английского В. Л. Гопмана</i> . . . . .	115
<i>Беннет Дайк, Джин У. Мак-Клюэр.</i> Оценивание коэффициентов естественного движения населения путем имитации по методу Монте-Карло. <i>Перевод с английского О. Р. Пустыльник</i> . . . . .	181