

Глава 16

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Моделирование социально-экономических систем имеет большое практическое значение, так как позволяет спрогнозировать развитие предприятия, отрасли промышленности, сельского хозяйства, экономики региона, целого государства или всей человеческой цивилизации [1-7]. Компьютерные модели также используются для установления законов динамики социальных систем, выявления механизмов коллективного поведения, изучения вооруженных конфликтов, анализа исторического развития стран, взаимодействия этносов, исследования различных экономических, демографических и политических процессов [9-18] и т. д.

16.1. Методы моделирования социально-экономических систем

При моделировании социально-экономических процессов используются два принципиально различных подхода [3; 4]: 1. **Локальный подход**, предполагающий расчет движения и взаимодействия небольшого числа (≈ 100) программных агентов или клеточных автоматов, действующих в соответствии с заданными правилами. Это позволяет выявить закономерности, которые распространяются на более многочисленные группы людей и общество в целом. Перечислим некоторые примеры использования локального подхода [1-4; 9-12]: поиск пищи в модели "сахарные горы", изучение механизмов коллективного поведения, общения людей, образования семей и их разрушения при экономическом кризисе, изучение транспортных потоков на улицах и перекрестках, распространения инноваций, динамики боевых действий дуэльного или группового типа, развития этнических систем, рождения и взаимодействия различных эт-

носов на той или иной территории, законов развития древнего и цивилизованного общества.

2. **Глобальный подход**, требующий составления и решения системы математических уравнений, характеризующих развитие общества в течение десятилетий и веков. Они включают в себя такие макропеременные, как средняя продолжительность жизни, уровень медицинского обслуживания, средняя производительность труда, годовая прибыль и т. д. Глобальный подход позволяет создать модели социальной истории, изучить жизненный цикл и взаимодействие общественных движений, организаций, политических партий, процессы расовой сегрегации, образования групп в обществе и социальных сетях, миграции и урбанизации населения, взаимодействия этносов и культур, спрогнозировать развитие экономики государства и даже всей человеческой цивилизации с учетом расхода энергетических ресурсов и загрязнения окружающей среды.

Важнейшее отличие социальных систем состоит в том, что они включают в себя **активные элементы** (люди, социальные группы), которые занимаются целенаправленной деятельностью, соответствующей принятым решениям, и способные к самоорганизации и рефлексии. К основным трудностям логико-математического моделирования социально-экономических процессов относятся их многопараметричность, разномасштабность и динамическая неустойчивость, обусловленная плохой предсказуемостью человеческого фактора. Возникающий хаос в поведении системы приводит к уменьшению временного интервала для достоверного прогноза их развития.

16.2. Мультиагентный подход к моделированию социально-экономических процессов

При мультиагентном моделировании (локальный подход) создают небольшое число программных агентов, каждый из которых имеет не-

сколько внутренних состояний и ведет себя в соответствии с определенными правилами поведения. Каждый агент в результате взаимодействия с другими агентами или внешней средой переходит в иное внутреннее состояние, что приводит к изменению его поведения. В качестве примера промоделируем деятельность группы людей, которые выходят из дома D по направлению к складу A (состояние 1), достигнув склада A, они начинают переносить ящики к складу B (состояние 2), возвращаются обратно к A (состояние 2), затем снова к B и т. д. По окончании рабочего времени они возвращаются обратно в дом D (состояние 3). На их пути находятся препятствия P1 и P2, которые надо обойти.

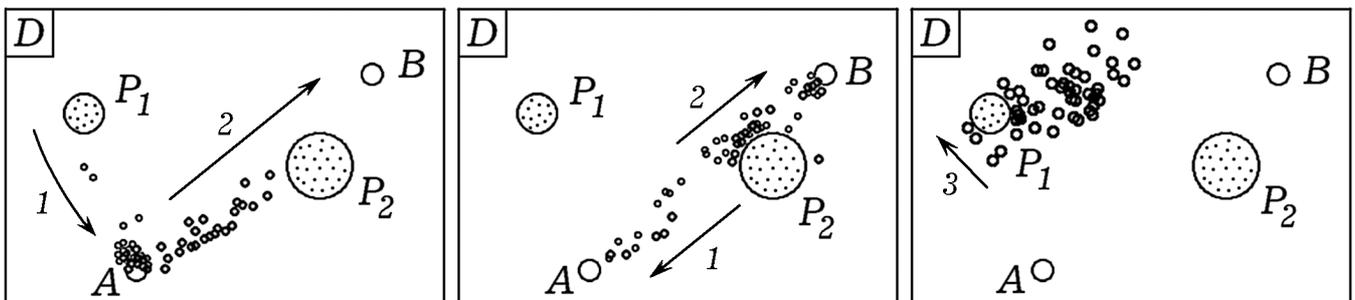


Рис. 16.1. Движение людей между домом D и складами A, B

Используется программа ПР-1, в которой моделируется движение 50 агентов. Применяется метод потенциалов: для каждого агента задается функция $U(x_i, y_i)$ удовлетворяющая требованиям: 1) при приближении i -го агента к пункту назначения (A или B) функция U становится более отрицательной; 2) при приближении агента к другому агенту или препятствию функция U плавно возрастает. Для j -го агента она имеет вид:

$$U_j = \sum_{i=1}^n U_{ij} + U_{jP1} + U_{jP2} + U_{jA},$$

где $U_{ij} = a(b - L_{ij})$ при $L_{ij} < b_1$ - "энергия отталкивания" i -го и j -го агентов, находящихся на расстоянии L_{ij} ; U_{jP1} , U_{jP2} - аналогичная "энергия

отталкивания" j -го агента от препятствий P1 и P2; $U_{jA} = -c / L_{jA}$ - "энергия притяжения" к цели A, отстоящей на расстоянии L_{jA} .

Программа содержит цикл по времени, в котором вычисляется положение каждого человека в следующий момент $t + 1$. При этом последовательно перебираются все агенты, каждому дается небольшое случайное смещение и вычисляется функция U . Если U стала меньше (движение к цели или от препятствия), то новые координаты агента принимаются, а если больше, - отвергаются с вероятностью $1 - p$. С вероятностью p агент совершает "неправильное" перемещение, увеличивающее U ; это позволяет ему выйти из тупика или обойти препятствие. В нашем случае $p = 0,03 - 0,1$. При достижении склада A или B агенты автоматически переключаются в состояние 2 или 1, а в момент $t' = 500$ - в состояние 3 и возвращаются к дому D (рис. 16.1).

16.3. Моделирование социально-экономических процессов путем решения системы уравнений

При глобальном подходе исследуемая социально-экономическая система рассматривается как динамическая система, поведение которой описывается системой дифференциальных уравнений. Проанализируем простейшую модель развития предприятия, предложенную в [15, с. 178-185]. Пусть предприятие, используя собственный капитал $CP(t)$, за время $\Delta t = 1$ год создает прибыль $PRF(t) = CP(t) \cdot RN \cdot \Delta t$, где RN - рентабельность бизнеса. Часть созданной прибыли в размере $N \cdot PRF(t)$ отчисляется в бюджет, а остальное расходуется на развитие производства. Здесь $N = 0,01 - 0,2$ - налог с прибыли, величина которого задается государством. Тогда сумма налоговых поступлений в бюджет и капитал предприятия за 30 лет могут быть найдены по формулам:

$$BD(t) = \sum_{t=1}^{30} PRF(t) \cdot N \cdot \Delta t, \quad CP(t) = \sum_{t=1}^{30} PRF(t) \cdot (1 - N) \cdot \Delta t.$$

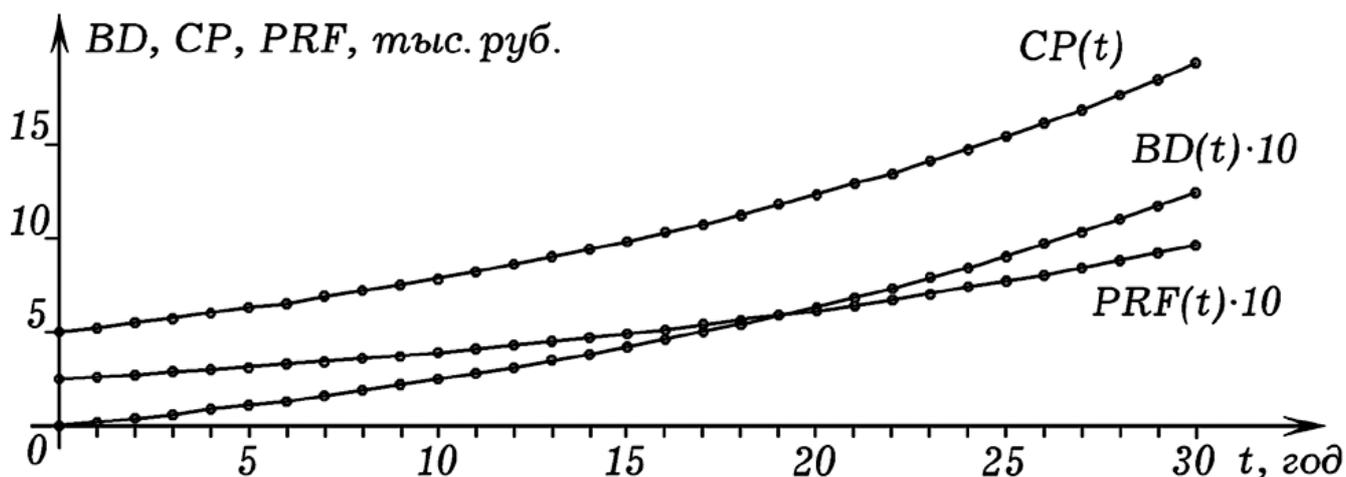


Рис. 16.2. Результаты моделирования развития предприятия

Необходимо изучить зависимости суммарных поступлений в бюджет и изменения собственного капитала предприятия от времени при различных рентабельности RN и ставки налога N . Используется программа ТР-2, результат моделирования приведен на рис. 16.2. Видно, что при рентабельности $RN = 5\%$ и ставке налога $N = 8\%$ за 30 лет предприятие увеличивает свой капитал от 5 млн. рубл. до ≈ 20 млн. рубл.

Теперь рассмотрим математическую **модель развития молодежной романтической субкультуры**, проанализированную в книге [6, с. 196-205]. Пусть N_1 - число людей, "восприимчивых" к движению романтиков, N_2 - число носителей романтической культуры или "романтиков", N_3 - число "разочаровавшихся романтиков". Яркость романтического образа, измеренную в условных единицах, обозначим через V . В результате встреч "восприимчивых" с "романтиками" часть "восприимчивых" становятся "романтиками". Число N_1 уменьшается, а число N_2 растет со скоростью, пропорциональной частоте их встреч и яркости образа V ; эта скорость равна aVN_1N_2 . С течением времени происходит угасание мифических представлений и разочарование в новой субкультуре. Скорость перехода "ро-

романтиков" в категорию "разочаровавшихся" пропорциональна числу "романтиков" N_2 и равна bN_2 . Скорость роста яркости образа пропорциональна числу N_1 "восприимчивых", а скорость спада - числу "романтиков" N_2 и числу "разочаровавшихся" N_3 . Получаем уравнения:

$$\frac{dN_1}{dt} = -aVN_1N_2, \quad \frac{dN_2}{dt} = aVN_1N_2 - bN_2, \quad \frac{dN_3}{dt} = bN_2,$$

$$\frac{dV}{dt} = (c_1N_1 - c_2N_2 - c_3N_3)V, \quad N = N_1 + N_2 + N_3 = const.$$

На рис. 16.3 показаны результаты моделирования динамики движения "романтиков" (программа ПР-3). Видно, что сначала быстро растет яркость романтического образа V , в момент t_1 она достигает максимума, а затем быстро снижается до нуля. Число романтиков N_2 возрастает с некоторым запаздыванием, достигает наибольшего значения в момент t_2 и медленно убывает. При этом количество N_1 "восприимчивых" уменьшается, а количество N_3 "разочаровавшихся" растет. При заданных параметрах модели субкультура захватывает около 80% "восприимчивых", которые, побывав "романтиками", переходят в разряд "разочаровавшихся".

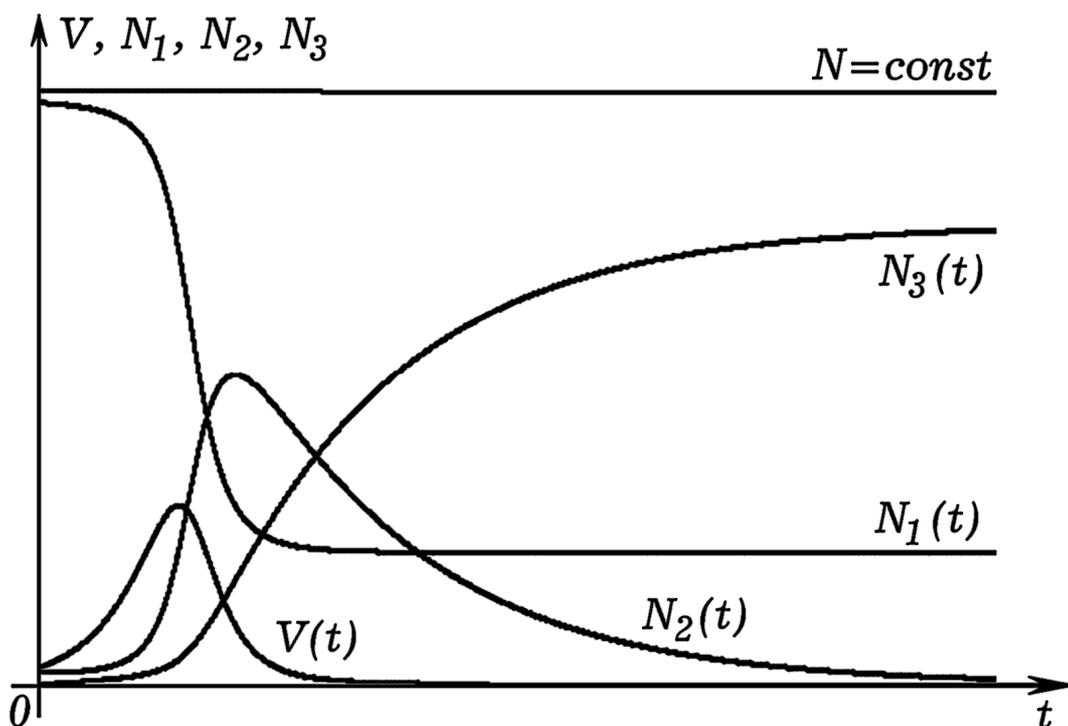


Рис. 16.3. Моделирование развития молодежной субкультуры

16.4. Моделирование экономического и демографического развития общества

Компьютерная модель общества позволяет исследовать закономерности его экономического развития, изменение демографической ситуации с течением времени, реакцию макропеременных на те или иные действия правительства. Базовой моделью расчета численности населения, учитывающей внутривидовую конкуренцию, является **модель Ферхюльста** [7]: $dN / dt = rN(K - N) / K$. С. П. Капица предложил использовать модель $dN / dt = rN^2$; она учитывает, что скорость роста населения пропорциональна частоте встреч мужчин и женщин. Эти и другие модели хорошо согласуются со статистическими данными и помогают выявить закономерности развития отдельных государств и человечества в целом [7; 16; 17].

Рассмотрим гипотетическое государство, в котором люди могут дожить до 100 лет (рис. 16.4). Люди в возрасте от 0 до 19 лет учатся за счет государства, а в возрасте от 20 до 60 лет работают, создавая прибыль и увеличивая размеры Бюджета. Люди в возрасте от 20 до 40 лет способны родить ребенка, причем эта способность пропорциональна уровню жизни. Из-за болезней люди всех возрастов умирают. Часть Бюджета идет на социальные нужды (повышение уровня жизни), а также на пособие за рождение ребенка и обучение людей от 1 до 19 лет. Допустим, что сначала система находилась в состоянии динамического равновесия, а в момент t_K происходит кризис, в результате которого количество денег в Бюджете резко уменьшается (они обесцениваются). Необходимо: 1) построить имитационную модель, моделирующую состояние общества до и после кризиса; 2) исследовать различные сценарии выхода из кризиса, позволяющие стабилизировать падение рождаемости и увеличение населения государства до прежнего уровня [8].

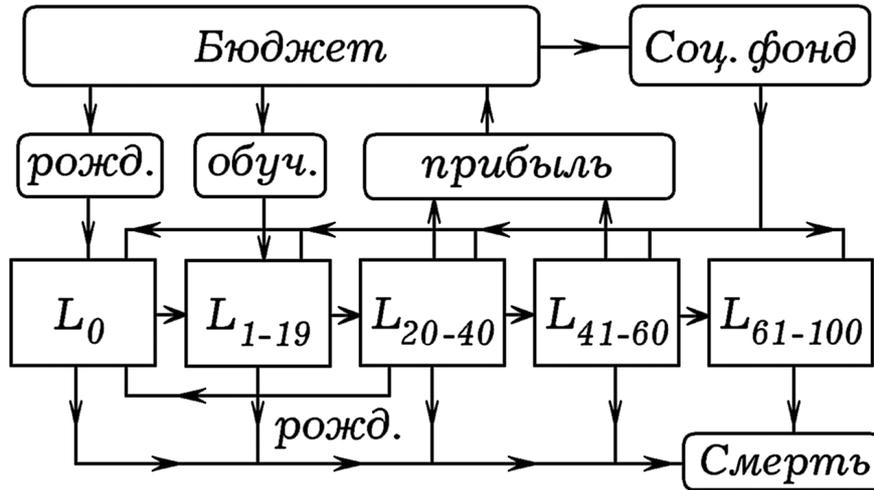


Рис. 16.4. Структурная модель Общества

Пусть время t изменяется с шагом 1 год. Число людей в возрасте m лет в t -м году обозначим через L_m^t , а число людей, возраст i которых лежит в интервале от n до m лет включительно, - через L_{n-m}^t . Количество денег в государственном Бюджете B^{t+1} в $t+1$ году равно:

$$B^{t+1} = B^t + k_{pr}L_{20-60}^t - k_{pos}L_0^t - k_{ob}L_{1-19}^t,$$

где B^t - объем Бюджета в t -м году, k_{pr} - средний прирост Бюджета, приносимый одним человеком в возрасте от 20 до 60 лет за 1 год, k_{pos} - объем однократного пособия за рождение ребенка, k_{ob} - средняя стоимость одного года обучения человека в возрасте от 1 до 19 лет.

Часть всех имеющихся у государства денег идет на социальные выплаты $S^{t+1} = k_{soc}B^{t+1}$, которые равномерно распределяются между всеми членами общества, и каждый получает $S^{t+1} / L_{0-100}^{t+1}$. Этой величине пропорционален уровень жизни U^{t+1} , находящийся в интервале от 0 до 1. Можно записать: $U^{t+1} = k_{zizn}S^{t+1} / L_{0-100}^{t+1}$.

Количество родившихся в t -м году детей L_0^t прямо пропорционально количеству людей репродуктивного возраста (от 20 до 40 лет) L_{20-40}^{t+1} и уровню жизни U^{t+1} . Получаем: $L_0^{t+1} = k_{rod}L_{20-40}^t(U^{t+1} + 0,3)$. Из-за болез-

ней люди умирают, их число уменьшается: $L_i^{t+1} = L_i^t(1 - k_{sm,i})$, где $i = 1, 2, 3, \dots, 100$ - возраст людей, а коэффициент смертности $k_{sm,i}$ растет при увеличении возраста: $k_{sm,i} = 0,05(1 - \exp(-i / 60))$.

Алгоритм моделирования состоит в следующем: 1. Заданот параметры системы ($k_{rod}, k_{sm}, k_{pr}, k_{ob}, k_{pos}, k_{soc}, k_{zizn}$) и ее начальное состояние (размер Бюджета B и распределение числа людей по возрастам L_i). 2. Вычисляют состояние системы (L_i, B, U_{zizn}) в следующий момент времени $t + 1$. 3. Результаты расчетов выводят на экран. 4. Повторяют операции 2 и 3 требуемое количество раз (500 и более). Этот алгоритм реализован в программе ПР-4.

Понятно, что рассматриваемая модель не учитывает многих факторов и представляет интерес только для учебных целей. Параметры подобраны так, чтобы через время t' после запуска программы система перешла в состояние динамического равновесия (рис. 16.5.1), при котором рождаемость и смертность уравниваются друг друга, а распределение числа людей по возрастам стабилизируется. При случайном задании параметров компьютерная модель ведет себя нестабильно: численность населения либо начинает резко возрастать, либо уменьшается до нуля.

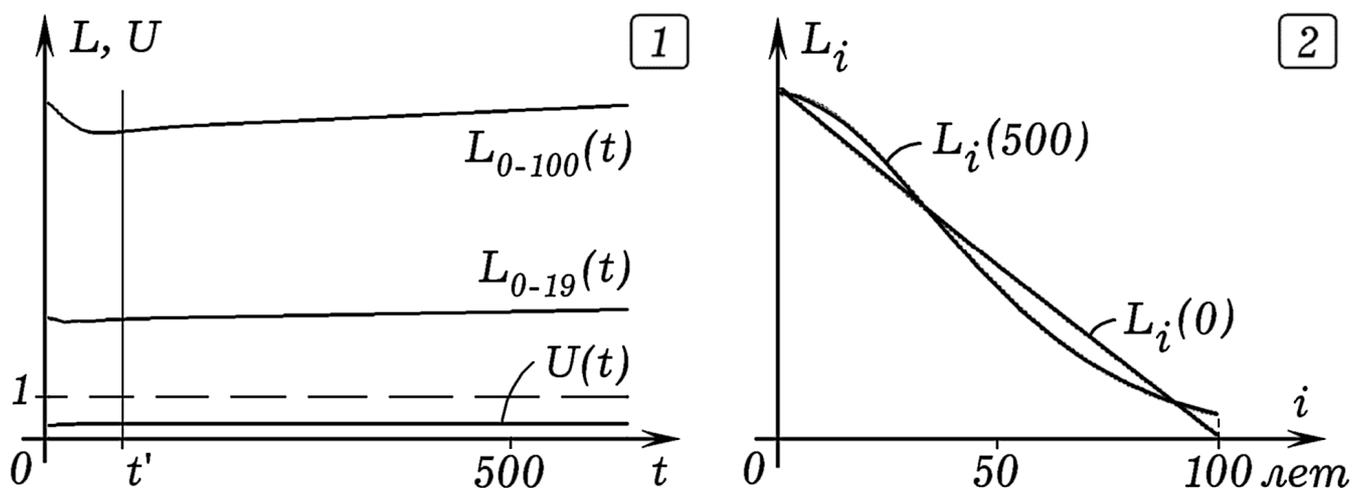


Рис. 16.5. Переход модели общества в устойчивое состояние

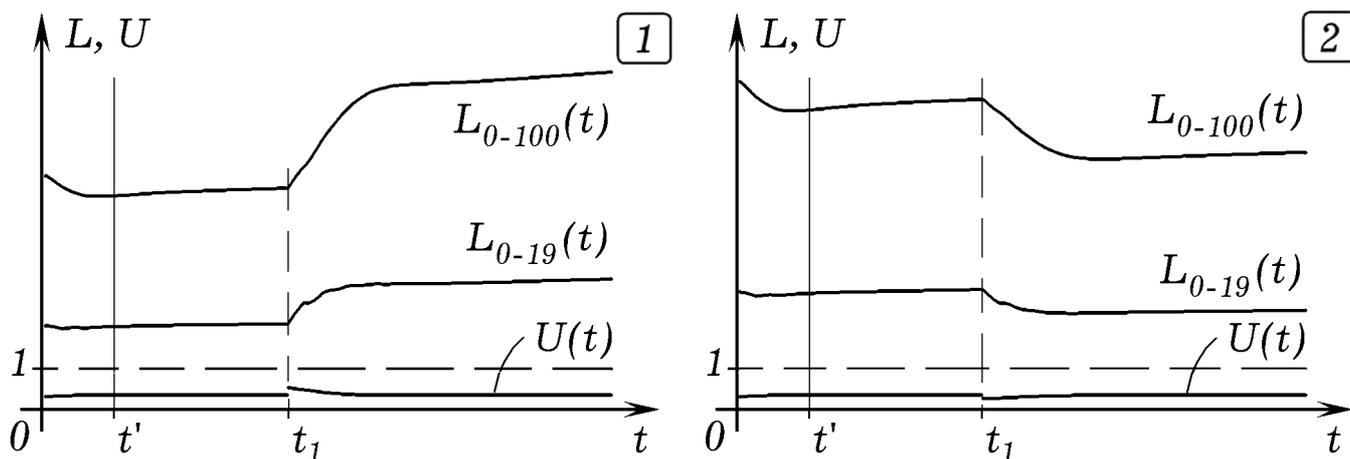


Рис. 16.6. Реакция общества на изменение доли отчислений в Соцфонд

Изучим зависимость численности населения от доли выплат k_{soc} из Бюджета в Соцфонд. Допустим, с $t_1 = 300$ года Правительство решает увеличить объем Социального фонда и повышает k_{soc} от 0,25 до 0,35. Реакция системы видна из рис. 16.6.1: уровень жизни и численность населения увеличиваются, через некоторое время уровень жизни становится прежним, а численность населения стабилизируется на каком-то более высоком значении. Это вызвано тем, что рождение большего количества детей приводит к увеличению затрат на пособия и их обучение. При уменьшении доли k_{soc} от 0,25 до 0,20 уровень жизни уменьшается, что приводит к снижению рождаемости. Уменьшение числа L_{0-19} неработающих членов общества приводит к возврату уровня жизни на прежний уровень, стабилизации рождаемости и численности населения на более низком уровне (рис. 16.6.2).

Предположим, что общество развивалось стабильно, численность населения изменялась медленно, пока в момент $t' = 300$ лет не произошел экономический кризис, в результате чего количество денег в Бюджете уменьшилось в 3 раза. Программа ПР-4 позволяет это промоделировать. Из получающихся графиков (рис. 16.7.1) видно, что при уменьшении количества денег в бюджете резко падает уровень жизни и, как следствие, уменьшается рождаемость. При неизменном уровне смертности это приводит к уменьшению численности населения. В этой ситуации имеющее-

ся количество L_{20-60} работающих людей неспособно обеспечить обучение большого числа L_{1-19} молодежи и сохранить высокий уровень жизни всех членов общества L_{0-100} . Через некоторое время L_{0-100} уменьшается и ситуация снова стабилизируется; уровень жизни U становится прежним.

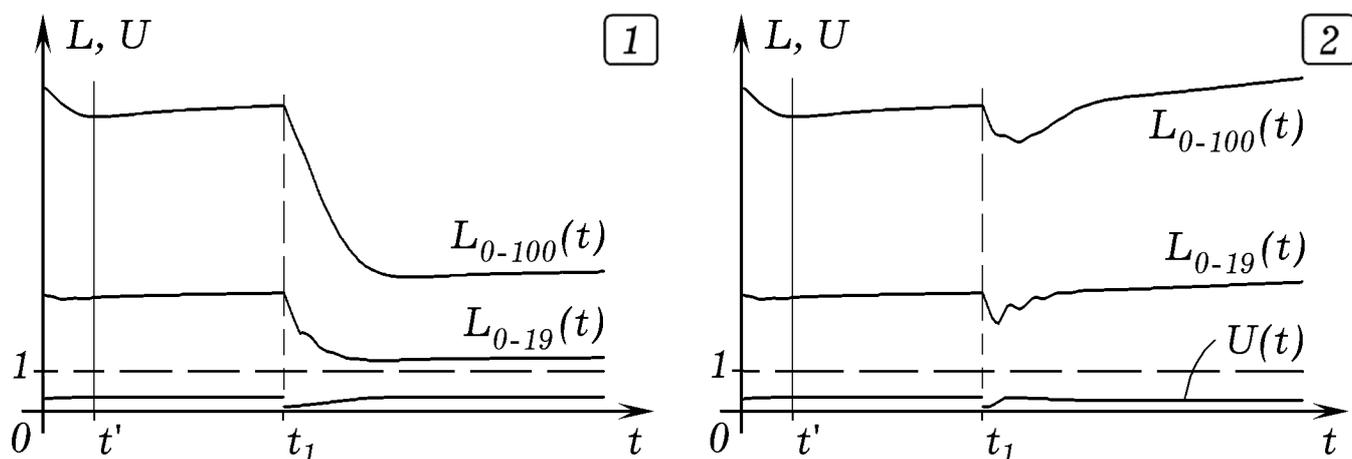


Рис. 16.7. Моделирование кризиса и выхода из кризиса

Теперь, изменяя макропараметры системы, задаваемые Правительством, попытаемся выйти из демографического кризиса и вернуть численность населения на прежний уровень. Пусть Правительство с некоторым запаздыванием реагирует на ухудшение экономической ситуации и в период 310—330-х годов принимает меры: 1) плавно повышает долю социальных выплат, увеличивая коэффициент k_{soc} с 0,25 до 0,6 с шагом 0,02 в год; 2) заинтересовывает молодых людей в рождении большего количества детей, повышая рождаемость k_{rod} с 0,1 до 0,11. Из получающихся графиков (рис. 16.7.2) видно, что через 100 лет последствия кризиса практически полностью преодолены, численность населения в стране возвращается на прежний уровень. Модель также позволяет изучить колебания численности людей любого возраста L_i , вызванные тем, что у более многочисленного поколения рождается больше детей, которые через 25-35 лет также воспроизводят больше детей, и т. д. Эти колебания являются затухающими, они имеют периодичность, сравнимую с временем жизни поколения.

16.5. Моделирование боевого взаимодействия противников

Определенный интерес для военной науки представляет собой формализованное описание боевых действий между двумя армиями. М. П. Осипов и Ф. У. Ланчестер в 1915-1916 г. предложили **математическую модель боя**, состоящую из двух дифференциальных уравнений, позволяющую определить количество потенциальных жертв. Аналогичный подход может быть использован для изучения совместного проживания и взаимодействия двух этносов, конкуренции между двумя предприятиями и т. д. В дальнейшем модель модифицировалась и расширялась; в общем виде ланчестерская модель имеет вид [9]:

$$\frac{dx_1}{dt} = -a_1x_1 - b_1x_1x_2 - c_1x_2 + d_1(t), \quad \frac{dx_2}{dt} = -a_2x_2 - b_2x_1x_2 - c_2x_1 + d_2(t).$$

Здесь a_1, a_2 - скорость небоевых потерь; b_1, b_2 - скорость потерь из-за взаимодействия противников, находящихся на одной территории; c_1, c_2 - потери в единицу времени от боя на переднем крае; d_1, d_2 - скорость пополнения численности войск за счет резервов.

В модели Ланчестера присутствуют только коэффициенты b_1 и b_2 , позволяющие учесть потери, когда обе армии располагаются на общей территории и количество жертв пропорционально количеству встреч между солдатами разных армий (партизанская война, вражда двух этносов и т. д.). Модель Осипова (c_1 и c_2 не равны 0) описывает классическое военное взаимодействие: враждующие армии занимают соседние территории и контактируют только по линии фронта. Скорость потерь армии А пропорциональна численности армии В и наоборот, то есть число жертв пропорционально численности противоположной стороны. В модели Петерсона учитываются небоевые потери (a_1 и a_2 не равны 0), их скорость пропорциональна численности своей армии (модель холодной войны: чем больше в армии солдат, тем больше жертв).

Выбор единиц измерения численности армий, имеющих различные виды оружия, осуществляется так. В качестве минимальной единицы численности берут безоружного абсолютно неподготовленного человека (Дюпюи, 1995) либо человека в рукопашной схватке (Эверсон, 2007) [9]. Это позволяет рассчитать "эффективную численность" армии как произведение числа боевых единиц (солдат, танков) на их боевую эффективность $k_{эф}$. Скорости потерь определяются в результате анализа статистических данных. Если у пехотинца $k_{эф}$ равна 1, то у кавалериста - 1,3–1,6, у солдата с ручным пулеметом - 10–30, у легкого орудия - 700–1000 и т. д. Модель позволяет учитывать различные дополнительные факторы: активность операции, особенности рельефа местности, погодные условия (температура, видимость, влажность), степень укрепленности позиций, внезапность нападения, степень технического превосходства, значимость той или иной цели при распределении огня противника [1; 7].

В качестве примера промоделируем бой между двумя армиями А и В, начальные численности которых равны $x_1 = 180$ и $x_2 = 200$ боевых единиц. Будем использовать ланчестерскую модель:

$$\frac{dx_1}{dt} = -a_1x_1 - c_1x_2 + d_1(t), \quad \frac{dx_2}{dt} = -a_2x_2 - c_2x_1 + d_2(t),$$

где t измеряется в условных единицах времени (УЕВ), скорости небоевых потерь $a_1 = 10^{-4}$ УЕВ⁻¹ и $a_2 = 1,4 \cdot 10^{-4}$ УЕВ⁻¹, скорости потерь в результате взаимодействия с армией противника по фронту $c_1 = 3 \cdot 10^{-3}$ УЕВ⁻¹ и $c_2 = 2,2 \cdot 10^{-3}$ УЕВ⁻¹. Известно, что когда численность армии A_1 снижается до 30 ед., она получает пополнение со скоростью $d = 2$ ед./УЕВ в течение 45 УЕВ. В момент $t' = 500$ УЕВ армия A_2 получает пополнение 75 единиц.

Используется программа ТР-5. Из графиков на рис. 16.8 видно, что сначала численность обеих армий уменьшается, в моменты t_1, t_2, t_3 армия A_1 получает пополнение (ее численность увеличивается); армия A_2 получает пополнение в момент t' . Побеждает армия A_1 (момент $t_4 \approx 1000$ УЕВ), ее численность составляет $x_1 = 50$ ед.

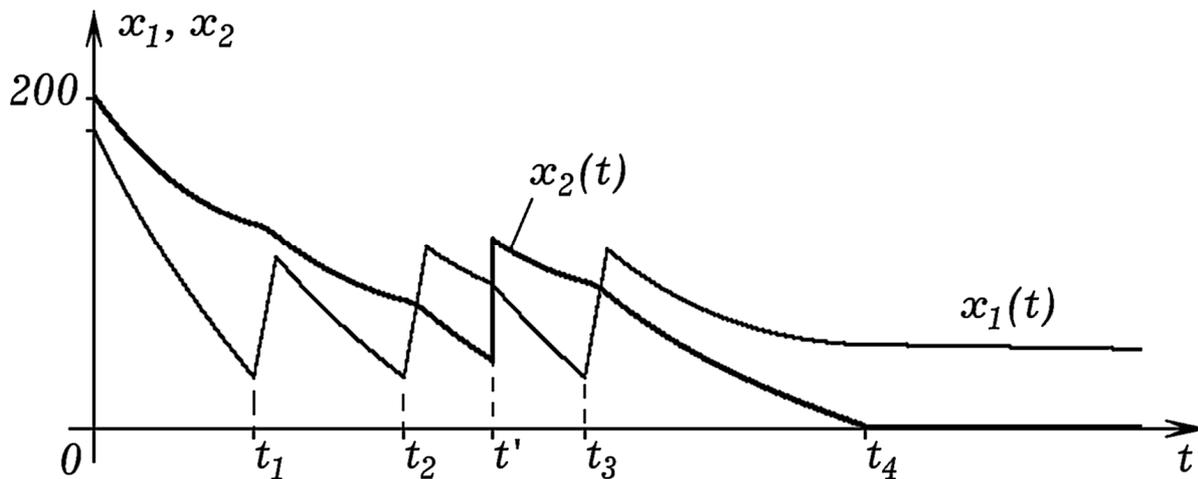


Рис. 16.8. Результаты моделирования боя (модель Ланчестера)

16.6. Другие модели боевых взаимодействий

Модель Ланчестера не принимает во внимание пространственное расположение войск, в отличие от модели П. С. Краснощекова (1966 г.), которая учитывает взаимное расположение и перемещение подразделений, характерные размеры боевой единицы, скорости движения, дальности действия оружия и т. д. [1, с. 166-178].

Промоделируем бой между армиями A_1 и A_2 (или A_k , $k=1, 2$). Пусть командиру армии A_1 известно, что на некоторой территории S_2 в случайном порядке расположены N_2 пушек армии A_2 ; а командир армии A_2 знает, что на территории S_1 установлены N_1 орудий армии A_1 (рис. 16.9.1). Все пушки замаскированы, плохая видимость и темное время суток не позволяют вести прицельный огонь, поэтому обе армии обстреливают территории, занятые противником, случайным образом. Необходимо промоделировать бой, если задано среднее время t_k между выстрелами, а также радиусы поражения цели (максимальное расстояние d_k , от точки попадания снаряда до цели, при котором она уничтожается).

Программа ПР-6, моделирующая бой, содержит цикл по времени t . С помощью генератора случайных чисел определяются координаты па-

дения снаряда, выпущенного тем или иным орудием армий A_1 или A_2 , и устанавливается факт поражения цели. Изначально все орудия боеспособны, то есть находятся в состоянии $S_i = 1$. Если рядом с i -м орудием на расстоянии, меньшем d_k ($k = 1, 2$), упал снаряд, то это орудие выходит из строя ($S_i = 0$). После выстрела каждое орудие перезаряжается в течение времени t_k ($k = 1, 2$), после чего сразу производит следующий выстрел. В каждый момент подсчитывается число неуничтоженных орудий, результат выводится на экран ПЭВМ в виде графика (рис. 16.9.2). В нашем случае $d_1 = 6$, $d_2 = 4$, $t_1 = 1 + \varepsilon$, $t_2 = 2 + \varepsilon$, где ε - случайное число из интервала $[0; 1]$; в начальный момент ($t = 0$) $N_{10} = 40$, $N_{20} = 50$. Армия A_1 начинает обстрел на 10 УЕВ позже, чем армия A_2 , и выигрывает сражение.

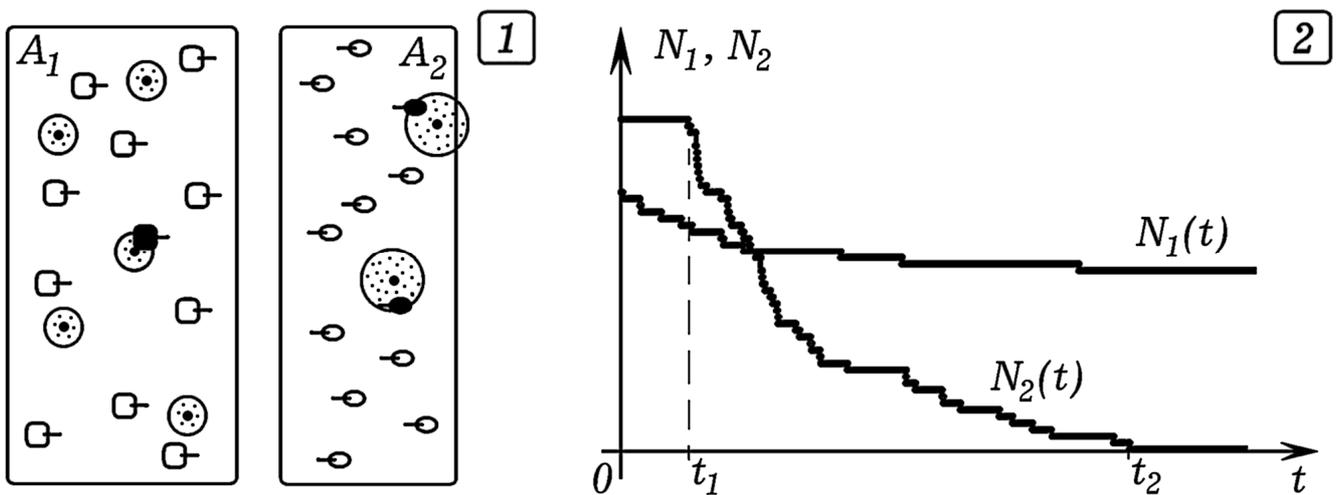


Рис. 16.9. Бой между двумя армиями, обстреливающими друг друга

Для получения статистически устойчивых результатов следуют осуществить несколько десятков или сотен реализаций одного и того же боя, а результаты усреднить. Это позволит определить вероятность того или иного исхода боя. На рис. 16.10 показан результат трех реализаций боя между армиями A_1 и A_2 , в котором армия A_2 не может обстреливать армию A_1 . При этом $N_{10} = 40$, $N_{20} = 50$, $d_1 = 6$, $d_2 = 4$, $t_1 = 1,5 + 0,5 \cdot \varepsilon$, где ε - случайное число из интервала $[0; 1]$. Видно, что численность армии A_2 уменьшается по экспоненциальному закону.

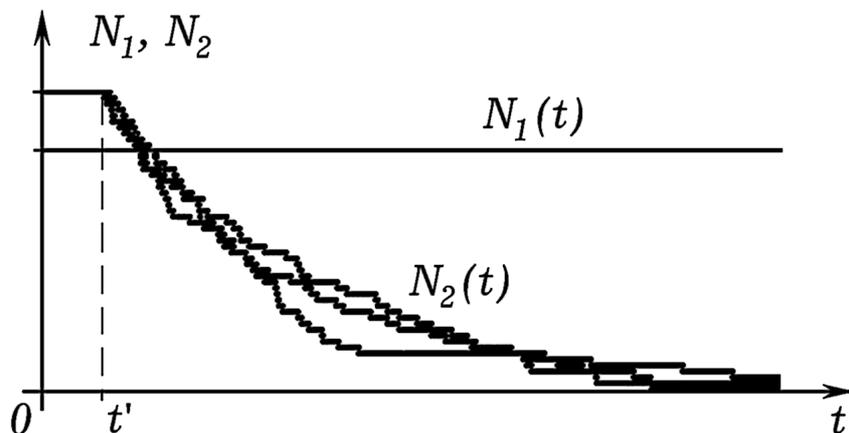


Рис. 16.10. Три реализации обстрела армии A_2 орудиями армии A_1

16.7. Модель боя с участием подвижных боевых единиц

Допустим, на рубеже $x = 0$ расположено N орудий армии A_1 . К ним со скоростью v в течение времени t' приближаются M танков армии A_2 , а затем поворачивают назад (рис. 16.11.1). Дальность стрельбы орудий и танков равны d_1 и d_2 соответственно. Орудия отстоят друг от друга на расстоянии Δy_1 . Танки выстроены вдоль линии параллельной оси Oy с интервалом Δy_2 . Необходимо промоделировать ход боя, если известны среднее время между выстрелами и вероятность поражения цели у орудий (t_1, p_1) и у танков (t_2, p_2) . Начальное положение танков x_0 задано.

Используемая программа ТР-7 содержит цикл по времени, в котором с шагом $\Delta\tau = 0,01$ вычисляются координаты движущихся танков и моделируются выстрелы орудий и танков. Если закончилось время t_i , необходимое для перезарядки i -го орудия, и оно не вышло из строя ($s_{1i} = 1$), а на расстоянии d_1 находится j -й танк, то орудие производит выстрел. Генерируется случайное число из интервала $[0; 1]$, если оно меньше вероятности поражения цели p_1 , то j -й танк считается подбитым ($s_{2j} = 0$). Аналогичным образом моделируется выстрел танка.

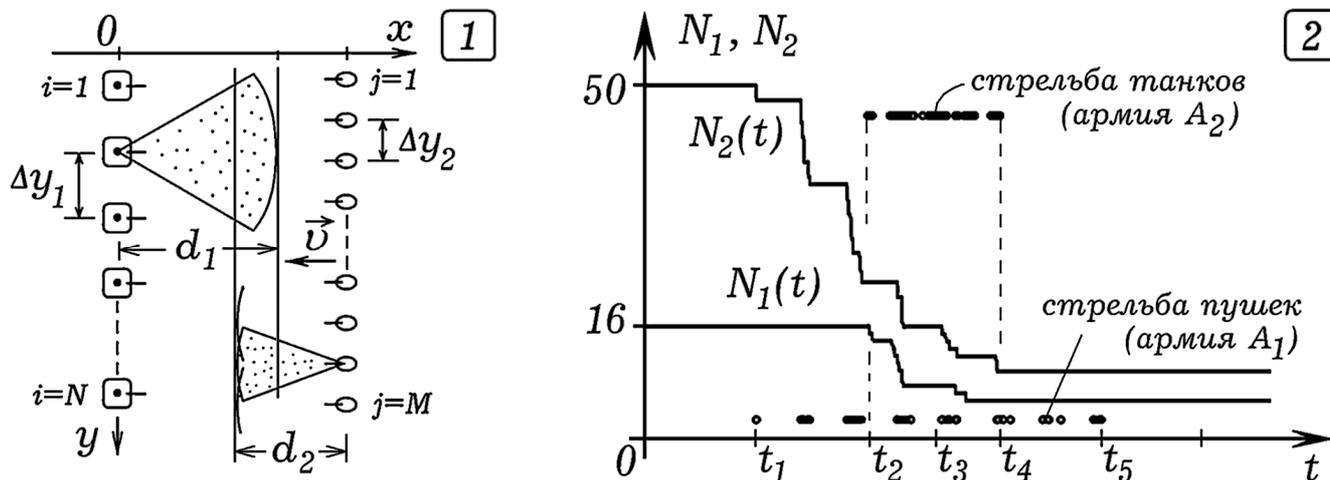


Рис. 16.11. Моделирование боя: танки движутся на батарею орудий

В нашем случае армии A_1 и A_2 содержали $N_1 = 16$ и $N_2 = 50$ единиц боевой техники, дальность стрельбы орудий $d_1 = 150$, а танков $d_1 = 100$, время между выстрелами $t_1 = 2 + 0,4\varepsilon$ и $t_1 = 1 + \varepsilon$ соответственно, где ε - случайная величина из интервала $[0; 1]$, имеющая равномерное распределение. Результаты моделирования представлены на рис. 16.11.2. Моменты выстрелов орудий и танков в интервалы $[t_1; t_5]$ и $[t_2; t_4]$ обозначены кружками. Видно, что в момент t_1 танки приблизились к орудиям на расстояние d_1 и те одновременно произвели залп. Перезарядившись, орудия выстрелили во второй и третий раз, подбив больше половины танков. В момент t_2 танки подошли на расстояние d_2 и произвели первые выстрелы, уничтожив сразу несколько орудий. До момента $t_3 = 13$ УЕВ танки армии A_2 двигались вперед, ведя стрельбу по орудиям армии A_1 , после чего повернули назад, продолжая вести огонь до момента t_4 . Неуничтоженные орудия армии A_1 продолжали стрельбу до момента t_5 , пока танки не вышли из зоны обстрела. Рассмотренная модель позволяет изучить зависимость результата боя от числа орудий и танков, их дальности стрельбы, скорости движения, вероятностей поражения цели и т. д.

Компьютерные модели социально-экономических систем также применяются для создания **компьютерных игр-стратегий**, в которых иг-

рок управляет некоторой цивилизацией, государством, армией или предприятием. Цель игры состоит в получении преимущества над одним или несколькими противниками, которыми являются другие игроки или компьютер. В **военных стратегиях** игрок управляет войсками, в **экономических симуляторах и бизнес-играх** - занимается развитием экономической инфраструктуры государства или предприятия. К наиболее популярным стратегиям относятся *Dune II*, *Warcraft*, *Starcraft*, *Command & Conquer*, *Knights and Merchants*, *Civilization*, *Age of Emperies*.

Часто действие происходит по карте, на которой расположены города, замки, заводы, места добычи ресурсов, по ней перемещаются рабочие, солдаты и боевые единицы (юниты). В военных стратегиях экономика носит вспомогательный характер, задача игрока состоит в быстром строительстве базы, сборе ресурсов, создании войска, развитии технологии, захвате новых территорий, разработке месторождений полезных ископаемых и уничтожении противника. Последовательность развития технологий и изобретения прошлого моделируются с помощью "дерева технологий". Многие модели учитывают ограниченность природных ресурсов, некоторые - распространение загрязнения в воздухе и воде, однако не могут учесть субъективный фактор и инновационную деятельность в будущем. На рис. 16.12 представлены виды поля боя в играх *Age of Emperies* и *Command & Conquer*.



Рис. 16.12. Моделирование социально-экономических процессов в компьютерных играх (Википедия [19])

16.8. Моделирование развития человечества

В конце 70-х годов группа сотрудников Массачусетского института под руководством Д. Х. Медоуз и Д. Форрестера создали первые **глобальные модели развития человечества**: WORLD-1, WORLD-2 и WORLD-3 [16; 17]. Модель WORLD-3 контролирует численность населения, уровень загрязнения окружающей среды, количество невозобновимых ресурсов, состояние сельского хозяйства и производства продуктов питания, объем промышленного производства, состояние экономики в целом. При этом учитывались взаимосвязи численности населения с такими факторами, как уровень развития промышленности, сектора услуг, площадь обрабатываемых земель, а также связи этих факторов друг с другом. Модель содержала более 200 взаимосвязанных переменных, среди которых площадь обрабатываемых земель, годовое приращение капитала, продолжительность жизни и другие, а также большое количество параметров, для оценки которых использовались многочисленные статистические данные. При этом учитывались следующие уровни структуры системы: население, природные ресурсы, капиталовложения в сельское хозяйство и промышленность, загрязнение окружающей среды.

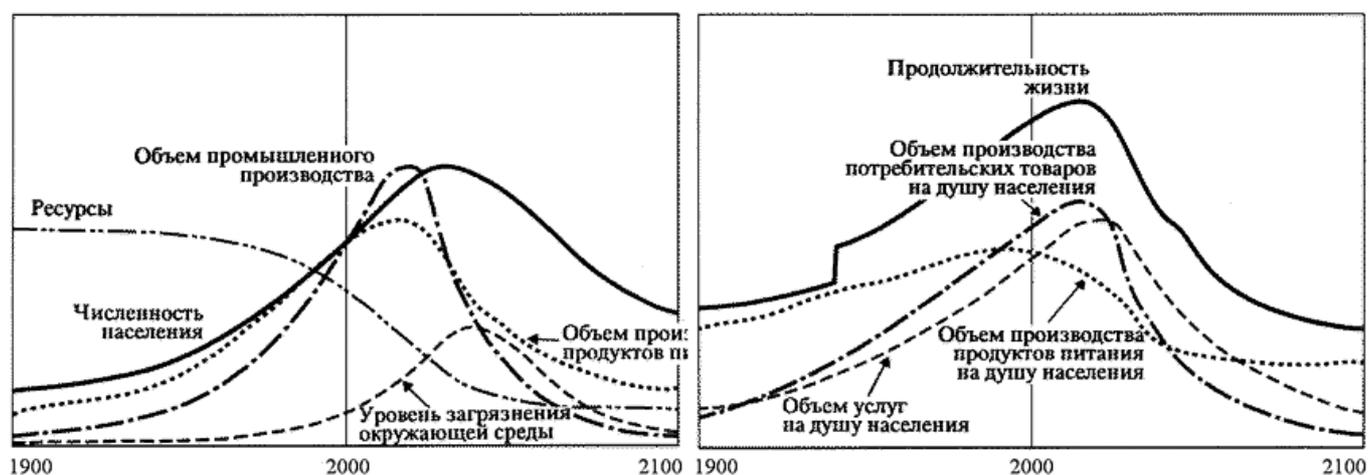


Рис. 16.13. Изменения глобальных показателей при сохранении существующих тенденций развития (Д. Медоуз и др., 1994 [16])

В модели WORLD-3 анализируется экономика с 1900 до 2100 года, причем первые 90 лет используются для ее "подгонки" под эмпирические данные путем правильного подбора параметров [10, с. 766-771]. Симуляция WORLD-3 позволила предсказать различные сценарии развития системы в период 1990-2100 гг. Было установлено, что если человечество сохранит основные тенденции своего развития, то есть избежит глобальных катаклизмов и не будет прилагать особых усилий по сохранению ресурсов и охране окружающей среды, то в 2050 году произойдет достаточно резкое падение большинства показателей развития экономики, продолжительности жизни и повышение уровня загрязнения окружающей среды (рис. 16.13).

Кроме прогноза эволюции человечества при сохранении существующих в настоящее время тенденций были также рассмотрены другие возможные сценарии развития событий, приводящие к хаосу и даже коллапсу всей системы. Установлено, что для сохранения устойчивого равновесия необходимо стабилизировать численность населения и объемы промышленного производства, повысить эффективность использования природных ресурсов, внедрить энергосберегающие технологии, уменьшить выбросы загрязняющих веществ в среду [10; 16].

Существуют и другие глобальные модели для прогнозирования климатических изменений, обусловленных парниковым эффектом, в которых обрабатываются огромные массивы данных о состоянии атмосферы, мирового океана и других подсистем. Например, **модель IMAGE**, созданная для изучения парникового эффекта, включает в себя подмодель "Промышленная энергетическая система". В ней анализируется 13 промышленных регионов, для каждого из которых вычисляется расход энергии и производимая продукция. Она содержит подмодель "Экосистема суши", в которой земная поверхность разбита на квадратные ячейки со стороной около 50 км; для каждой ячейки определяются климат, топография, почва и растительный покров с учетом изменений, вносимых при использовании человеком этих земель для развития сельского хозяйства

и промышленности. Специальные подмодели рассчитывают изменения растительного покрова, продуктивность сельского хозяйства, потребности населения в пище, корме для животных, древесине, топливе и т. д. Также учитываются потоки продовольственных и промышленных товаров, интенсивность автотранспорта, инфраструктура, численность населения. Все это позволяет промоделировать углеродный обмен для каждой местности и баланс газов, определяющих парниковый эффект, спрогнозировать таяние полярных льдов, поднятие уровня мирового океана, потепление климата в северном полушарии, смещение границ растительности и другие эффекты.

Развитие современной вычислительной техники обусловило создание еще более сложных компьютерных симуляций, учитывающих множество различных факторов и связей и использующих сотни тысяч переменных и параметров. Подобные глобальные модели позволяют сравнить вклад различных процессов в общий кругооборот вещества и энергии на суше и в Мировом океане, а также решить обратную задачу о том, какое влияние глобальные показатели оказывают на те или иные процессы, происходящие в различных точках поверхности Земли.

Приложение к главе 16

В приложении представлены тексты компьютерных программ, которые позволяют промоделировать некоторые социально-экономические процессы. Они написаны в средах Borland Pascal 7.0 и Free Pascal 1.0.10.

Программа ПР-1

```
program Dvigenie_ludei;
{$N+}uses crt, graph; const N=50;
var x,y,S: array[-1..N+1]of integer; s1,l,E0,E1,E:single;
xx,yy,x0,y0,a,b,d,i,j,k,t,Gd,Gm: integer;
    C: string; Label m0,m1,m2,m3,m4,m5;
Function UU(a,b:single):single; var i:integer;
begin E:=0; For i:=1 to N do begin
```

```

    l:=sqrt(x[i]-a)+sqrt(y[i]-b);
    If l<4 then E:=E+4E-4*(4-sqrt(l)); end;
l:=sqrt(sqrt(a-60)+sqrt(b-80));
If l<20 then E:=E+2E+4*(20-l)+50;
l:=sqrt(sqrt(a-240)+sqrt(b-120));
If l<30 then E:=E+1E+4*(30-l)+50;
UU:=E-100/sqrt(sqrt(a-x0)+sqrt(b-y0)+1); end;
Procedure Draw;
begin cleardevice; circle(75,95,15); circle(255,135,25);
rectangle(15,15,350,240); circle(115,215,8);
circle(295,65,8);
For j:=1 to N do begin circle(15+x[j],15+y[j],S[j]);
    circle(15+x[j],15+y[j],S[j]+1); end; delay(1); end;
BEGIN Gd:=Detect; InitGraph(Gd,Gm,'c:\bp\bgi'); Randomize;
For i:=1 to N do begin x[i]:=round(random(100)/10)-5;
    y[i]:=round(random(100)/10)-5; S[i]:=1; end;
Repeat inc(t); If t mod 5=0 then Draw;
For i:=1 to N do begin
    If S[i]=1 then begin x0:=100; y0:=200; end;
    If S[i]=2 then begin x0:=280; y0:=50; end;
    If S[i]=3 then begin x0:=0; y0:=0; end;
    E0:=UU(x[i],y[i]); s1:=random(100)/100;
    xx:=x[i]+round(random(420)/100-2);
    yy:=y[i]+round(random(420)/100-2); E1:=UU(xx,yy);
    If (E0>E1)or(s1<0.05) then begin x[i]:=xx; y[i]:=yy; end;
end;
For j:=1 to N do
If abs(x[j]-100)+abs(y[j]-200)<10 then S[j]:=2;
For j:=1 to N do
If abs(x[j]-280)+abs(y[j]-50)<10 then S[j]:=1;
If t>3000 then For j:=1 to N do S[j]:=3;
until KeyPressed;
Repeat until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-2

```

program Predpriyatie;
{$N+}uses crt, graph;
const dt=1; Mt=20; NALOG=0.08;
var BD,PRF,CP,RN,t:single; Gd,Gm: integer;

```

```

BEGIN Gd:=Detect; InitGraph(Gd,Gm,'c:\bp\bgi');
CP:=5; RN:=0.05; line(0,450,640,450);
Repeat t:=t+dt; BD:=BD+PRF*NALOG*dt;
  CP:=CP+PRF*(1-NALOG)*dt; PRF:=CP*RN*dt;
  circle(15+round(Mt*t),450-round(BD*100),1);
  circle(15+round(Mt*t),450-round(CP*10),2);
  circle(15+round(Mt*t),450-round(PRF*100),2);
until (KeyPressed) or (t>30);
Repeat until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-3

```

program Dvigenie_Romantikov;
{$N+}uses crt, graph;
const dt=0.01; a=2E-4; b=0.2; c1=0.8E-3;
c2=2.5E-3; c3=2E-4; Mt=20;
var N1,N2,N3,V,t:single; Gd,Gm: integer;
BEGIN Gd:=Detect; InitGraph(Gd,Gm,'c:\bp\bgi');
N1:=980; N2:=20; N3:=0; V:=1; line(0,451,800,451);
Repeat t:=t+dt; N1:=N1-a*V*N1*N2*dt;
  N2:=N2+a*V*N1*N2*dt-b*N2*dt;
  N3:=N3+b*N2*dt; V:=V+(c1*N1-c2*N2-c3*N3)*V*dt;
  circle(15+round(Mt*t),450-round((N1+N2+N3)/3),1);
  circle(15+round(Mt*t),450-round(N1/3),1);
  circle(15+round(Mt*t),450-round(N2/3),1);
  circle(15+round(Mt*t),450-round(N3/3),1);
  circle(15+round(Mt*t),450-round(V*10),1);
until KeyPressed; Repeat until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-4

```

Program Obshestvo;
{$N+} uses crt, graph; const dt=1; N=100;
var i,j,god,DV,MV:integer; L:array[0..N] of real;
k_rod,k_pr,k_pos,k_ob,k_soc,k_zizn,k_sm,Ur_zizn:single;
Soc_fond,BUD,L0_19,L20_40,L20_60,L0_100:single;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,'c:\bp\bgi');
BUD:=700000; k_pr:=0.95; k_pos:=3;
k_ob:=1; k_soc:=0.26; k_rod:=0.1; k_zizn:=0.018;
For i:=0 to N do L[i]:=201-2*i;

```

```

Repeat inc(god); L20_60:=0; L0_19:=0; L20_40:=0;
{If god>300 then k_soc:=0.20;}
If god=300 then BUD:=BUD/3;
If (god>310)and(god<330) then begin
    k_soc:=k_soc+0.02; k_rod:=0.113; {Vihod iz krizisa}
    If k_soc>0.6 then k_soc:=0.6; end;
For i:=20 to 60 do L20_60:=L20_60+L[i];
For i:=0 to 19 do L0_19:=L0_19+L[i];
BUD:=BUD+k_pr*L20_60-k_ob*L0_19-k_pos*L[0];
Soc_fond:=k_soc*BUD; L0_100:=0;
For i:=0 to N do L0_100:=L0_100+L[i];
Ur_zizn:=k_zizn*Soc_fond/L0_100;
For i:=N downto 1 do begin
L[i]:=L[i-1]; end; L[0]:=0;
For i:=20 to 40 do L20_40:=L20_40+L[i];
L[0]:=k_rod*L20_40*(Ur_zizn+0.3); {Rogdenie}
For i:=1 to N do begin k_sm:=0.05*(1-exp(-i/60));
    L[i]:=L[i]-k_sm*L[i]; end; { Smertnost }
circle(god*1,480-round(L0_100/25),1);
circle(god*1,480-round(L0_19/25),1);
{circle(god*1,480-round(L[20]),1);}
circle(god*1,480-round(Ur_zizn*50),1);
circle(god*1,480-round(50),1); circle(god*1,480,1);
{If (god mod 500=1) then For i:=0 to N do begin
    circle(20+5*i,480-round(2*L[i]),2); end;}
until (KeyPressed) or (god=700);
Repeat until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-5

```

program boi; {Model Lanchester}
{$N+}Uses crt, graph;
Const dt=0.05; Mt=0.3;
Var x1,x2,d1,d2,t,t1: single; f1,i,j,k,Gd,Gm: integer;
s: array[1..5] of integer;
BEGIN Gd:= Detect; InitGraph(Gd,Gm,'c:\bp\bgi');
Randomize; x1:=160; x2:=200;
Repeat t:=t+dt; inc(k);
{If k mod 1000=0 then d1:=200 else} d1:=0;
If k=10000 then d2:=1500 else d2:=0;

```

```

If (x1<30)and(f1=0) then begin f1:=1; t1:=20; end;
If (f1=1)and(t1>0) then begin d1:=3; t1:=t1-dt; end;
If t1<0 then f1:=0; x1:=x1+(-1E-4*x1-3E-3*x2+d1)*dt;
x2:=x2+(-1.4E-4*x2-2.2E-3*x1+d2)*dt;
If x1<0 then x1:=0; If x2<0 then x2:=0;
circle(20+round(Mt*t),450-round(x1),1);
circle(20+round(Mt*t),450-round(x2),1); delay(2);
until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-6

```

program Boi_pushki_pushki;
{$N+} uses crt, graph;
const N=40; M=50; dt=0.01; d1=5; d2=4;
var sx,sy,t: single;
x1,y1,t1: array[1..N] of single;
x2,y2,t2: array[1..M] of single;
s1,s2: array[1..100] of word;
N1,N2,Gd,Gm,i,j: integer;
Procedure DRAW;
begin {cleardevice;} For i:=1 to N do
If s1[i]=1 then circle(round(x1[i]),round(y1[i]),1);
For j:=1 to M do
If s2[j]=1 then circle(round(x2[j]),round(y2[j]),1);
circle(round(sx),round(sy),d1); end;
BEGIN Randomize;
Gd:=Detect; InitGraph(Gd, Gm, 'c:\bp\bgi');
For i:=1 to N do begin t1[i]:=10+random(20)/10; s1[i]:=1;
x1[i]:=random(100); y1[i]:=random(400); end;
For j:=1 to M do begin t2[j]:=1+random(20)/10; s2[j]:=1;
x2[j]:=120+random(100); y2[j]:=random(400); end; DRAW;
Repeat t:=t+dt;
For i:=1 to N do begin t1[i]:=t1[i]-dt;
If (t1[i]<0)and(s1[i]=1) then begin
t1[i]:=1.5+random(25)/50; sx:=120+random(100);
sy:=random(400); DRAW; For j:=1 to M do
If sqr(sx-x2[j])+sqr(sy-y2[j])<d1*d1 then s2[j]:=0;
end; end;
For j:=1 to M do begin t2[j]:=t2[j]-dt;
If (t2[j]<0)and(s2[j]=1) then begin t2[j]:=2+random(25)/50;

```

```

sx:=random(100); sy:=random(400); DRAW;
For i:=1 to N do
If sqr(sx-x1[i])+sqr(sy-y1[i])<d2*d2 then s1[i]:=0;
end; end; N1:=0; N2:=0;
For i:=1 to N do N1:=N1+s1[i];
For j:=1 to M do N2:=N2+s2[j];
circle(10+round(t*5),400-round(5*N1),1);
circle(10+round(t*5),400-round(5*N2),1);
line(0,401,800,401); line(10,0,10,400);
until keypressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-7

```

program Boi_pushki_tanki;
{$N+} uses crt, graph; const N=16; M=50;
dt=0.01; d1=150; d2=100; p1=0.08; p2=0.12;
var v,s1,t: single; s1,s2: array[1..100] of word;
x1,y1,t1: array[1..N] of single;
x2,y2,t2: array[1..M] of single;
N1,N2,NN1,NN2,Gd,Gm,i,j: integer;
Procedure DRAW;
begin For i:=1 to N do if s1[i]=1 then
circle(round(x1[i]),round(y1[i]),2);
For j:=1 to M do If s2[j]=1 then
circle(round(x2[j]),round(y2[j]),2); end;
BEGIN Gd:=Detect; InitGraph(Gd,Gm,'c:\bp\bgi'); Randomize;
For i:=1 to N do begin t1[i]:=1+random(20)/10; s1[i]:=1;
x1[i]:=100; y1[i]:=30*i; end;
For j:=1 to M do begin t2[j]:=1+random(20)/10; s2[j]:=1;
x2[j]:=300; y2[j]:=10+10*j; end; DRAW;
Repeat t:=t+dt; If t<13 then v:=-10 else v:=10;
For j:=1 to M do x2[j]:=x2[j]+v*dt;
For i:=1 to N do begin t1[i]:=t1[i]-dt;
If (t1[i]<0)and(s1[i]=1) then begin
For j:=1 to M do If sqr(x1[i]-x2[j])+sqr(y1[i]-y2[j])<d1*d1
then begin t1[i]:=2+random(20)/50; s1:=random(1000)/1000;
circle(10+round(t*15),415,2); If s1<p1 then s2[j]:=0; end;
DRAW; end; end;
For j:=1 to M do begin t2[j]:=t2[j]-dt;
If (t2[j]<0)and(s2[j]=1) then begin

```

```
For i:=1 to N do If sqr(x1[i]-x2[j])+sqr(y1[i]-y2[j])<d2*d2
  then begin t2[j]:=1+random(50)/50; s1:=random(1000)/1000;
  circle(10+round(t*15),425,2); If s1<p2 then s1[i]:=0; end;
DRAW; end; end; N1:=0; N2:=0; For i:=1 to N do N1:=N1+s1[i];
For j:=1 to M do N2:=N2+s2[j]; line(10+round(t*15),
400-round(5*N1),10+round((t-dt)*15),400-round(5*NN1));
line(10+round(t*15),400-round(5*N2),10+round((t-dt)*15),
400-round(5*NN2));
If t>10 then circle(10+round(t*15),410,1);
line(0,401,800,401); line(10,0,10,400); NN1:=N1; NN2:=N2;
until keypressed; CloseGraph;
END.
```

Список литературы

1. Белотелов Н. В., Бродский Ю. И., Павловский Ю. Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ: Исследование исторических, военных, социально-экономических и политических процессов. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. 320 с.
2. Вайдлих В. Социодинамика: системный подход к математическому моделированию в социальных науках. М.: Едиториал УРСС, 2005. 480 с.
3. Гуц А. К., Коробицын В. В., Лаптев А. А. и др. Социальные системы. Формализация и компьютерное моделирование: учеб. пособие. Омск: Омск. гос. ун-т, 2000. 160 с.
4. Гуц А. К., Коробицын В. В., Лаптев А. А. и др. Компьютерное моделирование. Инструменты для исследования социальных систем: учеб. пособие. Омск: Омск. гос. ун-т, 2001. 92 с.
5. Калиткин Н. Н., Карпенко Н. В., Михайлов А. П. и др. Математические модели природы и общества. М.: Физматлит, 2005. 360 с.
6. Колесин И. Д. Принципы моделирования социальной самоорганизации: учеб. пособие. СПб.: Издательство "Лань", 2013. 288 с.

7. Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. Законы истории. Математическое моделирование исторических макропроцессов. Демография, экономика, войны. М.: КомКнига, 2005. 344 с.
8. Майер Р. В. Задачи, алгоритмы, программы: электронное учеб. пособие. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2012. URL: <http://maier-rv.glazov.net>
9. Митюков Н. В. Определение жертв войн через ланчестерские модели // Историческая психология и социология истории. 2009. № 2. Т. 2. С. 122-140.
10. Могилев А. В., Пак Н. И., Хеннер Е. К. Информатика: учеб. пособие для студ. пед. вузов. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 816 с.
11. Неймарк Ю. И. Математические модели в естествознании и технике: учебник. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, 2004. 401 с.
12. Плотинский Ю. М. Модели социальных процессов: учеб. пособие для высших учебных заведений. М.: Логос, 2001. 294 с.
13. Райцин В. Я. Моделирование социальных процессов: учебник. М.: Экзамен, 2005. 189 с.
14. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2001. 320 с.
15. Снетков Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебно-практическое пособие. М.: Изд. центр ЕАОИ, 2008. 228 с.
16. Форрестер Д. Мировая динамика. М.: ООО "Издательство АСТ"; СПб.: Terra Fantastica, 2003. 379 с.
17. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия: Индустриальная динамика. М.: Прогресс, 1971. 340 с.
18. Bilyanicki-birula I. Modeling reality: how Computers Mirror Life / Iwo Bilyanicki-birula, Iwona Bilyanicki-birula. Oxford University Press, 2004. 180 p.
19. Википедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 15.02.2014).