

ГЛАВА 10. ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВОЛН

10.1. Постановка вопроса

Настоящая глава посвящена имитационному моделированию процессов, вызывающих волновые явления в экономике. Сделана попытка установления механизма образования волн различной интенсивности и частоты. Этой кардинальной проблеме экономики посвящены многие работы. Однако, до сих пор отсутствует теоретическое обоснование и описание механизма их образования, см., например, работы [10.1–10.6] и многие другие.

Ниже предложена теория, позволяющая с единой точки зрения объяснить феномен образования экономических и социально-политических волн.

Приступая к составлению модели, введем индексы, обозначающие составляющие части подсистемы экономика, см. рис. 5.1, 5.4.

Номер эшелона будем обозначать первым индексом $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$.

Так как в звено любого из верхних эшелонов входят элементы двух уровней, вторым индексом $j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ обозначим уровни системы, на которых расположены элементы данного эшелона. В тех редких случаях, когда речь будет идти о среде, ее обозначим уровнем 0.

Номер звена, расположенного на j -ом уровне, обозначим индексом $k \in \{k\}_{ij}$. Этим же способом будем обозначать единственный элемент верхнего уровня, входящий в k -е звено i -го эшелона.

Четвертым индексом $l \in \{l\}_{ijk}$ обозначим номер элемента нижнего уровня, входящего в k -е звено j -го уровня, i -го эшелона.

В контурах обратных связей индекс $ijklp$, $p \in \{1, \Lambda, (5 - j)\}$, номер верхнего уровня k -го звена, принятый за начало отсчета.

Модель начнем составлять с уравнения самого нижнего эшелона, обозначенного на рис. 5.4 номером 1. В звеньях этого эшелона отсутствуют элементы нижнего уровня и устройства, формирующие входные потоки. Последние образуются во внешней среде (уровень нуль).

В главе 7 предложено производственный процесс на предприятиях описывать линейным дифференциальным уравнением второго порядка с комплексными коэффициентами.

Применительно к рассматриваемой задаче, где производственные предприятия включены в верхний уровень первого эшелона и в нижний уровень второго. Уравнения отдельного элемента в первом эшелоне записутся в виде:

$$m \ddot{x} + (g^I + ig^0)x + (k^I + ik^0)x = f(t), \quad (10.1)$$

где m , g^I , g^0 , k^I , k^0 – постоянные или функции времени соответственно представляющие:

m - параметр, характеризующий инерцию производственного процесса;

g^I – коэффициент, моделирующий способность предприятия преобразовывать ресурсы в готовую продукцию;

g^0 – коэффициент, характеризующий изменение объема производимой продукции, вызванного ростом энтропии;

k^I – коэффициент, характеризующий способность накапливать ресурсы в виде задела во внутренней среде. Эта величина обратно пропорциональна емкости производственного процесса C ;

k^0 – коэффициент, моделирующий влияние энтропии на процессы во внутренней среде предприятия;

i – мнимая единица.

Обобщенная координата x в уравнении представляет количество продукции находящееся в переделе.

\ddot{x} – величина обобщенной скорости производственного процесса;

\ddot{x} – ускорение производственного процесса;

$f(t)$ – обобщенная сила, – количество ресурсов поступающих на вход предприятия из среды.

В нашем случае функция $f(t)$ представляется в виде суммы

$$f(t) = F^1(t) + f^2(t) \sin \omega t + f^3(t). \quad (10.2)$$

Первая составляющая обобщенной силы – $F^1(t)$ – диктуется величиной тренда, определенного в результате статистического анализа развития экономики в течение самого продолжительного срока наблюдений и количеством располагаемых ресурсов. Она формируется во внешней среде предприятия в результате изменений, вызванных развитием научно-технического прогресса.

Гармоническая составляющая $f^2(t) \sin \omega t$ моделирует то количество ресурсов, которое предприятие черпает из среды для обеспечения текущей потребности своей производственной деятельности. Величина этой составляющей определяется фазой жизненного цикла базовой модели и частотой смены ее модификаций (ω – частота смены модификаций производимых товаров одного поколения).

Потребности, вызванные волновыми процессами, возникающими на более высоких иерархических уровнях, в модели представлены со-

ставляющей $f^3(t)$, формируемой автоматически во внутренней среде рынка. Они генерируются в контурах обратных связей.

10.2. Математическая модель отдельных элементов верхних звеньев экономической подсистемы

Дифференциальные уравнения, описывающие переходные и устанавлившиеся процессы в экономической подсистеме, приведены в главе 7.

Напомним, что такое представление динамического процесса в любом элементе рынка основано на следующих фактах. В каждом элементе рынка, куда поступают ресурсы или товары из инцидентных элементов нижнего уровня, происходит множество торговых операций. Этим операциям присуща инерция. Они сопровождаются накоплением товаров на складах, диссипацией, вызванной физико-химическими процессами и моральным старением. Кроме того, часть товаров после обращения в элементе рынка выводится во внешнюю среду, где она непосредственно потребляется. Остальная часть передается в элемент рынка смежного, верхнего уровня для дальнейшей реализации на рынках верхних уровней. Множество торговых операций во внутренней среде элемента, интегрируясь, определяет обобщенные величины параметров m , g^I , g^0 , k^I , k^0 характеризующих макро динамические процессы. При этом товары, выведенные из сферы внутреннего обращения в элемент, не возвращаются, что и предопределяет необходимость введения в модель вентиля, отсекающего обратный поток реализованных товаров. С помощью этих же нелинейных элементов возможно моделировать ситуации, в результате которых система развивается.

При составлении уравнений и их последующем анализе в главе 7 не учитывались все свойства межэлементных связей по каналу, через который осуществляется подвод ресурсов. Речь идет об учете необратимости рыночных операций между элементами различных уровней. В рассматриваемой модели необратимость достигается введением помимо сумматоров, действующих на входе элементов, нелинейных преобразователей (вентилей), отсекающих обратные потоки ресурсов. В общем виде уравнение верхнего элемента любого звена имеет вид

$$m_{ijkl} \frac{dx_{ijkl}}{dt} + (g_{ijkl}^I + ig_{ijkl}^0)x_{ijkl} + (k_{ijkl}^I + ik_{ijkl}^0)x_{ijkl} = f_{ijkl}(t), \quad (10.3)$$

где индексы $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$; $j \in \{\overline{1, 5}\}$; $k \in \{k\}_{ij}$; $l \in \{l\}_{ijk}$.

Обобщенная сила, действующая на входе элемента,

$$f_{ijkl}(t) = [\bar{f}_{ijkl} \left(\sum_l x_{i(j-1)kl} \right)] \sum_l x_{i(j-1)kl} + \sum_{p=5-j}^5 \chi_{ijklp}^k x_{ijkp}. \quad (10.4)$$

Первое слагаемое этой суммы – нелинейная функция, моделирующая воздействие элементов верхнего из уровней звеньев, лежащих ниже уровня j . Второе моделирует суммарное воздействие контуров обратных связей от всех элементов, расположенных на данной ветви выше моделируемого. Во втором члене индексы $p = (\overline{5-j}, 5)$ означают уровень, откуда осуществляется обратная связь, интенсивность которой определяется коэффициентом χ_{ijklp} .

Для дальнейшего изложения необходимо записать уравнения процессов, протекающих в звеньях эшелонов $\forall i \in \{\overline{1, 5}\}$. Во всех эшелонах, за исключением первого, динамическая структура процессов одинакова, поэтому их уравнения идентичны по написанию. Для элементов нижнего уровня они имеют вид

$$m_{i(j-1)kl} \frac{dx_{i(j-1)kl}}{dt} + (g_{i(j-1)kl}^I + ig_{i(j-1)kl}^0)x_{i(j-1)kl} + (k_{i(j-1)kl}^I + ik_{i(j-1)kl}^0)x_{i(j-1)kl} = \\ = [f_{i(j-1)kl} \left(\sum_l x_{i(j-2)kl} \right)] \sum_l x_{i(j-2)kl} + \sum_{p=5-j}^5 \chi_{ijklp} x_{ijkp},$$

и для элементов верхнего уровня

$$m_{ijkl} \frac{dx_{ijkl}}{dt} + (g_{ijkl}^I + ig_{ijkl}^0)x_{ijkl} + (k_{ijkl}^I + ik_{ijkl}^0)x_{ijkl} = \\ = [f_{ijkl} \left(\sum_l x_{i(j-1)kl} \right)] \sum_l x_{i(j-1)kl} + \sum_{p=5-j}^5 \chi_{ijklp} x_{ijkp}, \quad (10.5)$$

где $i \in \{\overline{2, 5}\}$; $j = i$; $k \in \{k\}_{ij}$; $l \in \{l\}_{ijk}$.

Система уравнений звеньев первого эшелона, у которых отсутствуют элементы нижнего уровня ($j = 0$) и действующие обобщенные силы формируются во внешней среде, имеет вид

$$m_{11kl} \frac{dx_{11kl}}{dt} + (g_{11kl}^I + ig_{11kl}^0)x_{11kl} + (k_{11kl}^I + ik_{11kl}^0)x_{11kl} = \\ = F^1(t) + f^2(t) \sin \omega t + \sum_{p=5-j}^5 \chi_{ijklp} x_{ijkp}, \quad (10.6)$$

где обобщенная сила, действующая на входе k -го звена, в отличие от звеньев 2–5-го уровня формируется во внешней среде и определяется выражением (10.2).

10.3. Упрощение математической модели глобального экономического процесса (первый этап)

Полученная в предыдущем разделе система уравнений (10.5), (10.6) довольно полно описывает процесс в моделируемой системе, изображенной на рис. 5.1, 5.2. Но размерность этой системы так велика, что ее анализ, без дальнейших упрощений, невыполним.

Упрощение возможно произвести в двух аспектах. Первый ориентирован на предварительный анализ информации, направленный на исключение ее избыточности. Второй определяется спецификой экономических процессов.

Рассматривая элементы, обратим внимание на то, что в каждом звене модели элементы нижнего уровня представляются многими объектами идентичной структуры. Каждая группа этих элементов может быть классифицирована по различным признакам.

Остановимся на классификации по признаку «старый» и «новый» тип элемента. Такая классификация применительно к элементам означает, что предприятия предполагаются разделенными по признаку – технический уровень производства выпускаемой основной продукции. Параметром, определяющим принадлежность к одному из классов, является скорость подготовки и начало выпуска новых модификаций производимой продукции. Эта классификация отражает меру морального старения основного оборудования, степень его амортизации, его остаточную ценность и рациональность организации производства. Основным атрибутом такой оценки может служить средняя себестоимость единицы продукции или единицы обслуживания, определенные из расчета количества продукции одного поколения или планируемого к производству в течение полного жизненного цикла целого поколения производимых изделий.

Расщепление множества производственных предприятий на два подмножества является следствием научно-технического прогресса (НТП). В любой отрасли НТП развивается неравномерно. Его темпы в отдельных отраслях, государствах и блоках государств существенно различаются. Эта неравномерность и является причиной разделения всего множества производств на подмножества «старых» и «новых».

Границей, разделяющей оба класса, является средняя стоимость единицы продукции или единицы обслуживания, определенная для всех рынков, где этот тип продукции реализуется.

Вводя предлагаемый критерий, следует помнить, что стоимость на рынке определяется не только техническим совершенством оцени-

ваемого продукта, но и рядом социально-политических факторов, отражающих налоговую и таможенную политику государства.

В число «новых» следует включить и те предприятия, где технологический процесс построен так, что он потенциально пригоден для переключения на производство продукции нового поколения.

Учет перечисленных факторов позволит построить гистограмму себестоимости единицы в функции числа смен модификаций, реализованных на отраслевом рынке. Такая гистограмма обычно может быть аппроксимирована с помощью кривой, например полиномом четвертого или пятого порядка. Линия, разделяющая предприятия на две группы, проходит через абсциссу – средняя стоимость единицы продукции на международном рынке, см. рис. 10.1.

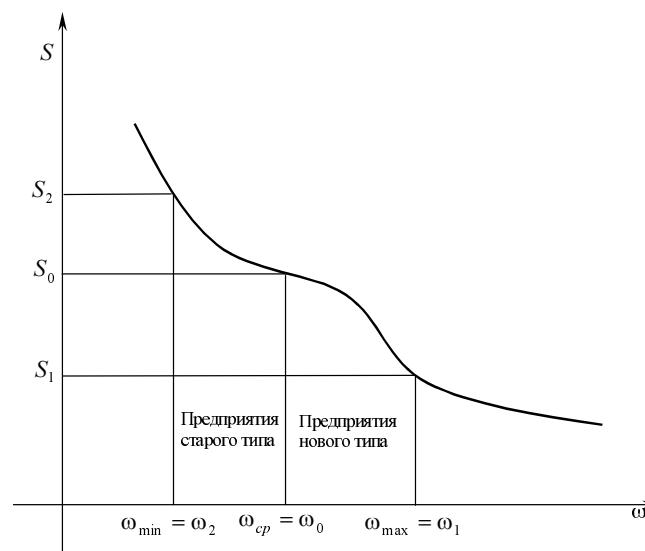


Рис. 10.1. Средняя стоимость единицы продукции в зависимости от способности предприятия модернизировать качество выпускаемых изделий
(ω - частота возможных модификаций)

Это разделение используется для упрощения модели путем замены всего множества предприятий, поставляющих продукцию отраслевым рынкам государств, на два, удовлетворяющих условиям:

- частота смены равна средней для данной группы;

- производительность, коэффициенты, характеризующие внутреннюю емкость предприятия и другие экономические свойства аналога подобраны так, что они эквивалентны суммарным величинам соответствующих динамических параметров предприятий, вошедших в моделируемые множества;

- обобщенная сила, действующая на входы моделирующих элементов, равна сумме всех сил, действующих на входы моделируемых множеств предприятий каждой из двух групп.

Параметры верхнего элемента моделируемого звена остаются неизменными.

Следовательно, два уравнения нижних элементов k -го звена второго эшелона, обозначенных индексами $i = 2, j = 1, k \in \{k\}_{12}, l \in \{1,2\}_{12k}$ и изображенных на рис. 10.2, имеют вид:

$$m_{21kl} \ddot{x}_{21kl} + (g_{21kl}^I + ig_{21kl}^0) \dot{x}_{21kl} + (k_{21kl}^I + ik_{21kl}^0) x_{21kl} = f_{21kl} + \sum_{p=5-j}^5 \chi_{21kp} x_{21kp}, \quad (10.7)$$

а уравнение элемента верхнего уровня

$$m_{22k} \ddot{x}_{22k} + (g_{22kl}^I + ig_{22kl}^0) \dot{x}_{22k} + (k_{22k}^I + ik_{22k}^0) x_{22k} = f_{22k} (x_{21k1} + x_{21k2}) + \sum_{p=5-j}^5 \chi_{22klp} x_{22klp}. \quad (10.8)$$

Подобные уравнения можно составить и для звеньев 3,4,5 эшелонов. Только уравнения звеньев первого эшелона имеют вид

$$m_{11k} \ddot{x}_{11k} + (g_{11kl}^I + ig_{11kl}^0) \dot{x}_{11k} + (k_{11k}^I + k_{11k}^0) x_{11k} = F_{11kl}^I(t) + f(t) \sin \omega_{11kl} t + \sum_{p=5-j}^5 \kappa_{11klp} x_{11klp}, \quad \kappa \in \{\kappa\}_{11k}, \quad l \in \{1,2\}. \quad (10.9)$$

Если ввести подобную оценку для валовой продукции, реализуемой на рынке отраслей, государств и блоков, идентичную модель в виде уравнений (10.7) и (10.8) возможно построить и для их подразделений (звеньев).

Структуру модели звеньев см. на рис. 5.1, 5.2, 5.3, 10.2.

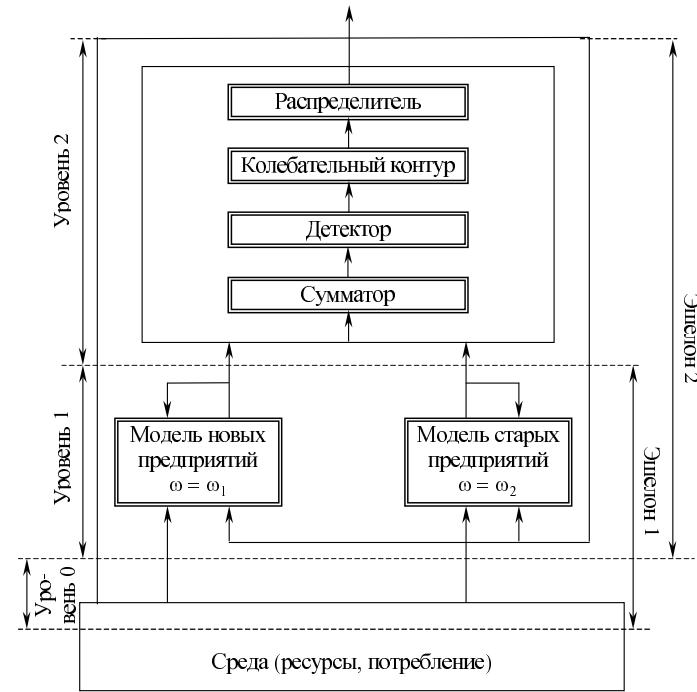


Рис. 10.2. Принципиальная структура модели звеньев из второго и более высоких эшелонов

10.4. Упрощение математической модели глобального экономического процесса (второй этап)

Внимательное рассмотрение структуры, изображенной на рис. 10.2, показывает, что благодаря специфической организации эшелонов, где элементы верхнего уровня отделены от элементов нижнего нелинейным преобразователем, динамические процессы в каждом звене из эшелонов возможно рассматривать независимо, ограничиваясь представлением системы в виде последовательно подключенных блоков, образующих незамкнутый контур. Но при таком рассмотрении приходится пренебречь обратными связями или их упрощать. Однако такое упрощение не всегда допустимо.

В настоящей главе влияние обратных связей будет проанализировано в процессе совершенствования модели.

10.5. Определение параметров моделей, имитирующих группы элементов, входящих в отдельные звенья блока экономика

Чтобы сохранить динамическое подобие между элементами модели, представляемой уравнениями (10.7), (10.8), (10.9), необходимо подобрать параметры двухуровневой модели элементов нижнего уровня любого звена так, чтобы она в рабочем диапазоне (первые собственные частоты) была бы адекватна более точной, определенной из уравнений (10.5), (10.6).

Такая аналогия может быть достигнута при выполнении условий

$$\begin{aligned} \sum_u m_{ijk u} (\dot{x}_{ijk u})^2 &= M_{ijk}^1 (\dot{x}_{ijk})^2; \\ \sum_u g_{ijk u}^I (\dot{x}_{ijk u})^2 &= G_{ijk}^{11} (\dot{x}_{ijk})^2; \\ \sum_u g_{ijk u}^0 (\dot{x}_{ijk u})^2 &= G_{ijk}^{01} (\dot{x}_{ijk})^2; \\ \sum_u k_{ijk u}^I (x_{ijk u})^2 &= K_{ijk}^{11} (x_{ijk})^2; \\ \sum_u k_{ijk u}^0 (x_{ijk u})^2 &= K_{ijk}^{10} (x_{ijk})^2; \end{aligned} \quad (10.10)$$

где $u \in \{l\}_1$ – номера предприятий нового типа.

$$\begin{aligned} \sum_q m_{ijk q} (\dot{x}_{ijk q})^2 &= M_{ijk}^2 (\dot{x}_{ijk})^2; \\ \sum_q g_{ijk q}^I (\dot{x}_{ijk q})^2 &= G_{ijk}^{12} (\dot{x}_{ijk})^2; \\ \sum_q g_{ijk q}^0 (\dot{x}_{ijk q})^2 &= G_{ijk}^{02} (\dot{x}_{ijk})^2; \\ \sum_q k_{ijk q}^I (x_{ijk q})^2 &= K_{ijk}^{21} (x_{ijk})^2; \\ \sum_q k_{ijk q}^0 (x_{ijk q})^2 &= K_{ijk}^{20} (x_{ijk})^2; \end{aligned} \quad (10.11)$$

где $q \in \{l\}_2 = \{l\} - \{l\}_1$ – номера предприятий старого типа.

Кроме этого необходимо, чтобы и обобщенные силы, действующие на все элементы нижнего уровня, удовлетворяли условиям:

$$\begin{aligned} \sum_u f_{ijk u}(t) &= f_{ijk 1}(t); \quad u \in \{l\}_1, \\ \sum_q f_{ijk q}(t) &= f_{ijk 2}(t); \quad q \in \{l\}_2, \end{aligned} \quad (10.12)$$

где индексы 1 и 2 в правой части означают, соответственно, новый или старый тип элемента.

При составлении сумм (10.10), (10.11) нужно помнить, что собственная частота аналога, представленного правой частью этих равенств, приблизительно равняется

$$\omega_{ijk}^I = (K^{11} / M^1)^{1/2} \text{ и } \omega_{ijk}^{II} = (K^{12} / M^2)^{1/2}.$$

Приблизительно, т.к. при определении этих частот мы пренебрегли мнимыми членами уравнения.

Что касается членов в левой части, то каждое слагаемое должно быть вычислено с учетом максимальной производительности соответствующего l -го предприятия.

Требования энергетического подобия, представленное в виде равенств (10.10), (10.11), нуждаются в пояснении.

Наибольшая производительность любого колебательного контура имеет место в окрестностях резонанса. Следовательно, производственные предприятия проектируются так, чтобы их собственная частота удовлетворяла условию

$$\omega_{i0} \approx (K_i^I / m_i)^{1/2}, \quad (10.13)$$

где ω_{i0} – собственная частота i -го, $i \in \{l\}$ элемента.

На практике это условие автоматически выполняется при проектировании удачных технологических процессов. Оно выражается в требовании максимальной адаптивности технологического процесса к режиму производства.

Поэтому первые собственные частоты предприятий нового и старого типов должны удовлетворять условиям:

$$\omega^I \approx \text{среднему значению } \omega \in \{\omega_{\text{нов}}\},$$

$$\omega^{II} \approx \text{среднему значению } \omega \in \{\omega_{\text{стар}}\}.$$

Второе требование относится к добротности контура. Применимельно к производственному предприятию оно заключается в требовании максимальной производительности технологического процесса. Это означает, что в успешно работающем предприятии при заданном m_i отношение

$$\eta_i = g_i^0 / m_i \quad (10.14)$$

должно быть максимальным, а отношение, характеризующее потери,

$$\varepsilon_i = k_i^0 / m_i \rightarrow \min. \quad (10.15)$$

Очевидно, что увеличения параметра η можно добиться увеличением коэффициента g^I , а уменьшения – уменьшением параметров g^0 , k^0 .

Во всех случаях задача максимизации отдачи продукции решается самостоятельно менеджерами отдельных предприятий и не является предметом данного исследования.

Подобные рассуждения, верные для производственных предприятий, можно использовать и при оценке эффективности функционирования элементов рынков, расположенных на любом уровне из {2,5}.

В реальных условиях оптимизация достигается автоматически в результате настройки в процессе подготовки к запуску.

Теперь мы имеем возможность построить в начальном приближении всю модель блока экономики системы, изображенной на рис.5.1.

10.6. Предварительные соображения о моделировании элементов, образующих обратные связи

Не повторяя тривиальных положений, мы должны ввести в модель элемент, который может моделировать явления, вызванные расширенным производством продукции. Моделировать этот феномен можно, включив на выходе из каждого звена дополнительный элемент, умножающий выходную координату на множитель

$$K = 1 + \Delta_{ijkl}, \quad (10.15)$$

где Δ_{ijkl} – прибавочная стоимость.

Тогда уравнение преобразователя, моделирующего расширенное воспроизводство, получит вид

$${}^1x_g = (1 + \Delta)x_g,$$

где g - четырехзначный индекс $ijkl$, 1x_g - обобщенная выходная координата звена $ijkl$, измененная с учетом явления расширенного воспроизводства.

Более точно образование прибавочной стоимости можно моделировать, если использовать производственную функцию, выражающую связь между стоимостью произведенной продукции и стоимостью затраченных ресурсов

$${}^1x_g = a_g \rho_g^{\alpha_g}.$$

Капитал в интегрирующем элементе не может быть накоплен из ничего. Первичными источниками, питающими экономику, являются природные ресурсы и полезный труд производителей материальных и духовных благ. Источники обоих типов ресурсов находятся вне рассматриваемой подсистемы «экономика». Не занимаясь исследованием механизма их формирования в синтезируемой модели, необходимо констатировать, что поступление капитала регулируется с помощью специальных контуров обратных связей, управляющих обобщенными силами, действующими на входе предприятий. Эти управления в модель вводятся в виде правых частей уравнений (10.9), описывающих процессы в звеньях первого эшелона, где они представлены правыми частями.

Источником для их образования служит стоимость той части продукции, которая отводится через рынок во внешнюю среду для приобретения переменных фондов и для амортизации основных. В модели же ресурсы для их реализации черпаются из интегрирующего инерционного звена.

Законы изменения обобщенных сил в модели, как и ограничения на их величины, определяются возможностями среды, которые диктуются объемом реализованной продукции.

В системе все процессы управления осуществляются с помощью обратных связей двух типов. Одним – управляющим потоком ресурсов, поступающим из внешней среды, и вторым, производящим перераспределение ресурсов во внутренней.

Первый уже упомянутый тип управлений формируется вне предлагаемой модели подсистемы экономика и подается в нее в виде заданных функций времени, а при стационарном режиме в результате автоколебаний, вызванных действием систем обратных связей.

Другой тип обратных связей, управляющий перераспределением ресурсов во внутренней среде, представлен контурами обратных связей, ведающих перераспределением капитала между звеньями модели.

Один из внутренних контуров обратных связей воздействует на качество обработки ресурсов, уменьшает брак и отходы, что в модели сказывается на параметрах g_g^0 и k_g^0 , отражающих рост энтропии во внутренней и внешней среде.

Для обеспечения развития и демпфирования отрицательного воздействия случайных факторов, нарушающих нормальное функционирование предприятий, экономическая система во всех своих звеньях накапливает резервы.

Резервы бывают двух родов – резервы стратегического назначения и резервы оперативные. Последние предназначаются для стабилизации текущего технологического процесса. Общая схема распределения потоков и формирования обратных связей приведена на рис.10.3.

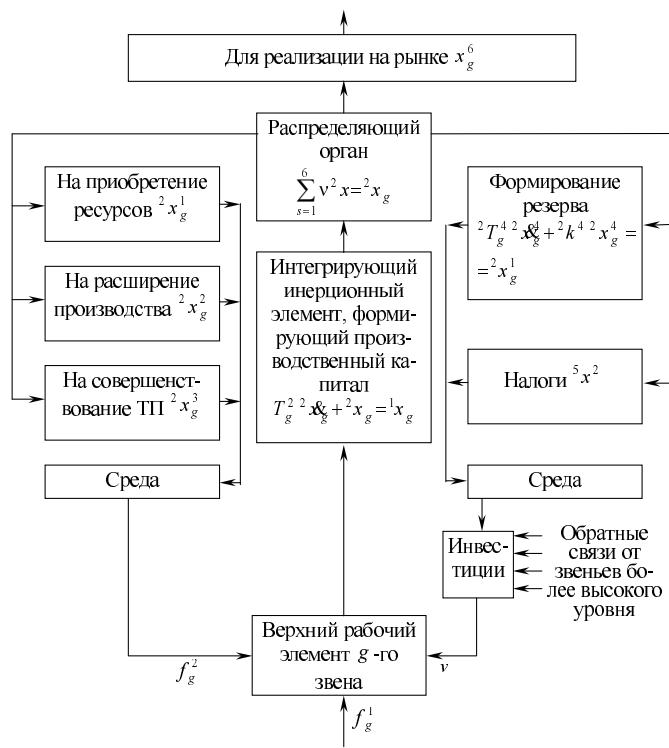


Рис. 10.3. Схема распределения ресурсов и обратные связи в отдельном звене

Чтобы воспроизвести процесс образования запасов, в модель необходимо включить элемент, способный интегрировать входную координату звена, где накапливается производимый капитал.

Уравнение элемента, формирующего резерв, имеет вид:

$$T_g^2 x_g^2 + k_g^2 x_g^2 = x_g^1 \quad (10.17)$$

где g – четырехзначный индекс $ijkl$, указывающий номер звена. Остальные обозначения см. на рис.10.3.

Развитие экономических объектов может быть прогрессивным и регрессивным. В режимах, когда наблюдается прогресс производительности, обычно имеют место два взаимно определяющих процессы – увеличение производительности продукции и ослабление стабилизирующего действия отрицательных обратных связей. Поэтому при моделировании устойчивых процессов (пока не рассматривается развитие) эти коэффициенты, оставаясь отрицательными, должны уменьшаться по модулю.

В модели источником, обеспечивающим поступление ресурсов, необходимых для стабилизации производства, а также для поддержания стабильной деятельности объектов верхних уровней, является интегрирующий элемент, где накапливается капитал, используемый для воспроизводства фондов расширения производства и стабилизации производства.

Чтобы отразить эти особенности контуров, определяющих свойства обратных связей, в модель включен специальный элемент, распределяющий накопленный капитал, который расходуется на:

- приобретение ресурсов, необходимых для воспроизводства производственного процесса x_g^1 ;
- адаптацию производства x_g^2 ;
- совершенствование технологического процесса x_g^3 ;
- формирование резервов x_g^4 ;
- уплату налога x_g^5 ;
- выделение части продукции, реализуемой на рынке верхних уровней x_g^6 .

Коэффициенты веса, определяющие значение соответствующих составляющих, в дальнейшем обозначаются v^δ , $\delta \in \overline{1,6}$; $\sum_{\delta=1}^6 v^\delta = 1$. Тогда уравнение распределяющего элемента, откуда поступают $\forall \delta$ – составляющие капитала, имеет вид:

$$\sum_{\delta=1}^6 v_g^\delta x_g^\delta = {}^2x_g, \quad \delta \in \{1, 5\}. \quad (10.18)$$

Уравнение элементов, где формируются соответствующие составляющие производственной продукции, реализуемой в среде:

$$v_g^\delta x_g^\delta = {}^2x_g, \quad \delta \in \{1, 5\}.$$

Уравнение элемента, где накапливается резерв g -го звена:

$${}^2T_g^4 - {}^2x_g^4 + {}^2k_g^4 - {}^2x_g^4 = v_g^4 - {}^2x_g^4 \quad (10.19)$$

10.7. Система уравнений, моделирующих элементы одного из уровней 1-5

Общую структуру экономической системы мира, представленную на рис. 5.1–5.4, несколько детализируем. Рассмотрим блок экономика (рис. 5.1). С учетом принятых в разделе 10.3 предположений о возможности разделения экономических объектов на «старые» и «новые» построим пятиуровневый иерархический граф, изображенный на рис. 10.4. В вершине графа (уровень 5) поместим единственный узел, моделирующий глобальную экономику. Ему непосредственно подчинены два элемента уровня 4. Один из них, например, левый, представляет блоки государств, технологические возможности которых относятся к группе «старые», и второй, у которых технология «новая». В свою очередь каждый из блоков состоит из государств с «старой» и «новой» технологической базой (уровень 3).

В каждом государстве существуют производственные отрасли, которые могут быть отнесены к группе «старых» или «новых» (уровень 2).

В каждой отрасли любого государства можно выделить предприятия, функционирующие по «старым» или «новым» технологиям (уровень 1).

Таким образом, мировая экономика схематически представляется в виде иерархического дихотомического графа, содержащего тридцать один элемент, образующих пять типов звеньев, каждый из которых состоит из одного элемента верхнего уровня и двух инцидентных ему элементов нижнего. Связи между элементами всех уровней осуществляются через рынки, см. главу 5.

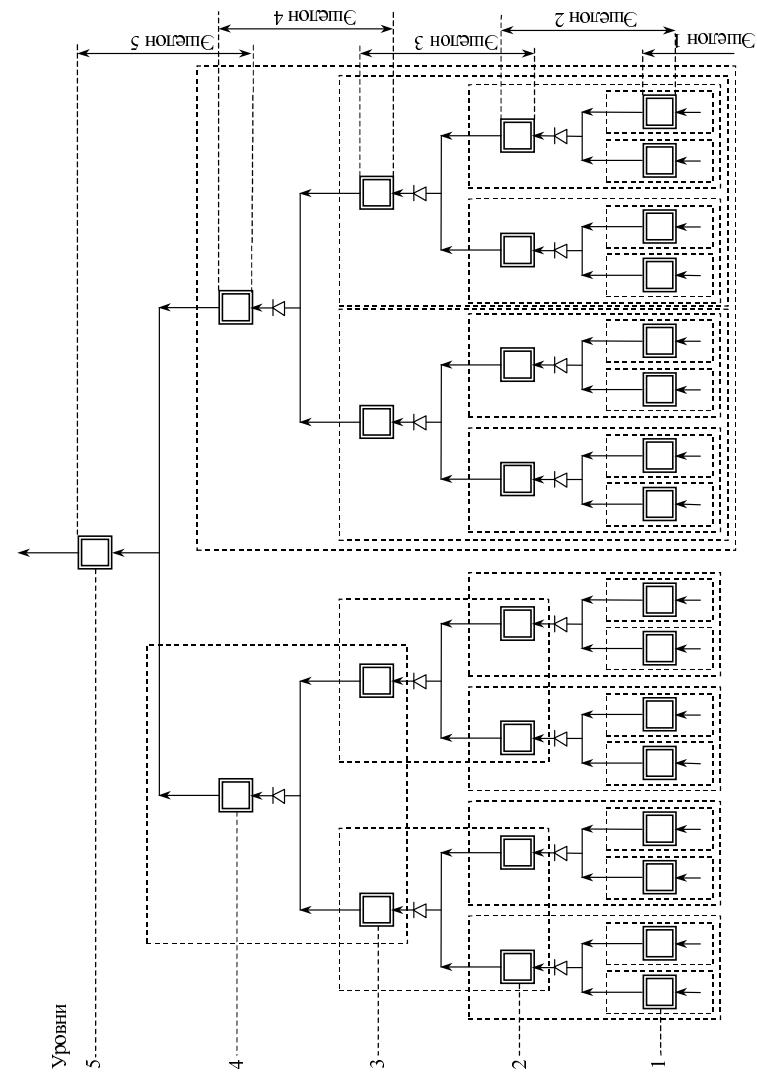


Рис. 10.4. Общая схема модели (обратные связи на рисунке не изображены)

Предложенная модель объективно отражет структуру подсистемы «экономика», где производится и распределяется валовой продукт, см. рис.10.4. Каждый из структурных элементов, как это видно из приведенных выше рассуждений, имеет не только одинаковую конструкцию, но может быть описан однотипной системой уравнений, состоящих из:

1. Уравнения колебательного контура

$$m_g^0 \ddot{x}_g + (g_g^0 + ig_g^0)^0 \dot{x}_g + (k_g^0 + ik_g^0)^0 x_g = f_g^0 = f_g^1 + f_g^2 + f_g^3. \quad (10.20)$$

2. Уравнения элемента, моделирующего образование прибавочной стоимости

$${}^1x_g = (1 + \Delta g)^0 x_g. \quad (10.21)$$

3. Уравнения инерционного элемента, интегрирующего стоимость произведенного продукта и инвестированного капитала

$$T^2 g^2 \ddot{x}_g + {}^2x_g = f_g^1 = c_g^2 x_g^1, \quad (10.22)$$

или

$${}^2T^2 g^2 \ddot{x}_g + {}^2k_g^2 {}^2x_g = {}^1x_g.$$

4. Уравнения распределяющего элемента

$$\sum_{\delta=1}^6 {}^2v^{\delta} {}^2x_g = {}^2x_g. \quad (10.23)$$

5. Уравнения элемента, где формируется составляющая стоимости производимой продукции, реализуемой в среде, через которую осуществляются прямые и обратные связи

$${}^2v_g^{\delta} {}^2x_g = {}^2x_g, \quad \delta \in \{1, 6\}. \quad (10.24)$$

6. Уравнение элемента, накапливающего местный резерв

$${}^2T_g^4 \ddot{x}_g + {}^2k_g^4 {}^2x_g = {}^2x_g. \quad (10.25)$$

Связь между элементами верхнего и нижнего уровней каждого звена осуществляется через вентиль, состоящий из нелинейного элемента и колебательного контура, фильтрующего низкочастотные составляющие периодического процесса, см. рис.10.4, и через обратные свя-

зи, которые на рисунке не изображены. В самом общем случае нелинейный элемент может иметь характеристику, представленную в виде ломаной и отличается тем, что его нелинейные свойства сказываются на динамике колебаний только при выполнении условия – рабочая точка, изображающая начало отсчета колебаний, располагается так, что размах амплитуды процесса выходит за линейный отрезок характеристики.

10.8. Начальная апробация модели

Разработанную модель следует исследовать на адекватность. Основной целью анализа является доказательство возможности автогенерации волн различной частоты. С этой целью модель представляется в виде иерархической системы, состоящей из 31 группы уравнений одинакового типа. Каждая группа описывает отдельное звено и содержит три подгруппы линейных уравнений шестого порядка (уравнения (10.20-10.25)). Модели звеньев связаны друг с другом нелинейным элементом и последовательно с ним включенным колебательным контуром, описываемым линейным уравнением второго порядка. Исключение составляют звенья первого эшелона, содержащие одну группу уравнений шестого порядка.

Иерархическая структура подсистемы «экономика» и наличие вентилей, препятствующих образованию обратных потоков между смежными элементами, позволяет при разомкнутых цепях контуров обратных связей, динамические процессы в отдельных звеньях рассматривать независимо. Поэтому на первом этапе численного эксперимента производится исследование отдельного звена. Целью анализа является определение возможности образования биений и проверка условий устойчивости отдельных звеньев.

Чтобы обосновать возможность предложенного подхода следует ответить на следующие вопросы:

1. Как влияют процессы, возбуждаемые в звеньях нижнего уровня на процессы в звеньях верхних уровней?
2. Проверить допустимость независимого анализа уравнений отдельных звеньев?
3. Каково влияние обратных связей на стационарные и нестационарные процессы в системе?
4. Исследовать возможность имитации различных факторов, определяющих политico-экономическую конъюнктуру в звеньях системы.

Сначала рассмотрим процессы, наблюдаемые в элементах первого эшелона. Как уже отмечалось, они отличаются от остальных тем,

что на их входе действует не пара источников обобщенных сил, а только один. Эта обобщенная сила в общем случае состоит из трех компонентов.

Но при разомкнутых контурах обратных связей на входе элементов первого уровня действуют только составляющие $F^1(t)$ и $f^2(t)$ (см. формулу (10.2)), которые могут быть определены независимо от динамического процесса в остальных элементах системы.

Первая составляющая – тренд $F^1(t)$ – меняется медленно и в течение достаточно короткого промежутка времени может рассматриваться как величина постоянная.

Вторая, – гармоническая составляющая, меняется с частотой смены модификаций. Она генерирует колебания различных частот в верхних эшелонах системы.

Третья составляющая будет определена в процессе численного эксперимента при замкнутых обратных связях.

Как видно из уравнений (10.20-10.25), процесс в верхнем элементе нижнего эшелона описывается линейной системой. Для ее анализа в модели используется пакет программ Personal VisSim Version 1.5e.

Так как на элемент звена действует только одна составляющая, изменяющаяся по гармоническому закону, то никаких биений в таких звеньях не может образоваться. (Биения образуются в звеньях второго-пятого эшелонов).

На рис. 10.3 приведена расчетная схема узлов второго эшелона. Так как здесь на вход верхнего элемента воздействуют две осциллирующие составляющие, имеющие близкие частоты Ω_h и Ω_{cm} , то в узле модели, где происходит наложение этих гармонических процессов, наблюдаются биения.

Биения, образовавшиеся в результате сложения гармонических составляющих, пройдя через нелинейный элемент, поступают на фильтры низкой частоты, моделирующие инерцию рынка, см. рис. 10.5, 10.6.

Процесс, сформированный на выходе вентиля, при надлежащем подборе его параметров и параметров фильтра имеет явно выраженный периодический характер, где частота ведущей гармонической составляющей равна частоте биений (см. рис. 10.6). Поэтому два звена нижнего уровня вместе с вентилем и фильтром можно представить как источник гармонических колебаний, частота которых равна

$$\Omega^3 = \Omega_{nob}^2 - \Omega_{cm}^2 \quad (10.26)$$

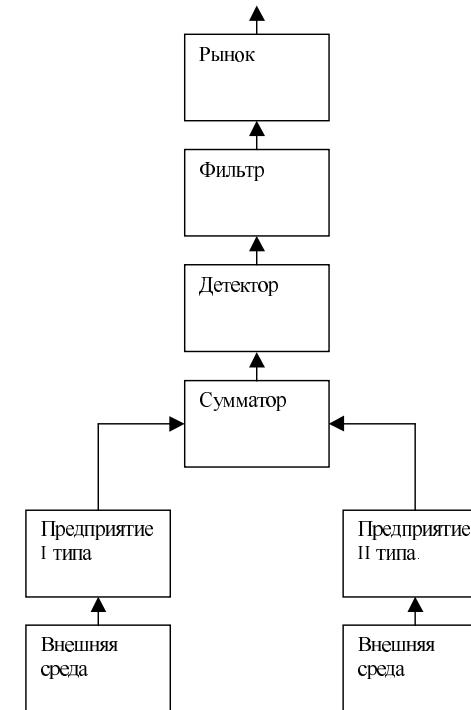


Рис.10.5. Схема образования волн низкой частоты

В состав звеньев третьего уровня в качестве элементов нижнего входит пара верхних элементов звеньев уровня 2. Они через вентиль действуют на единственный элемент уровня 3. Не трудно видеть, что расчетная схема узла третьего эшелона повторяет схему узлов уровня 2.

Отличие заключается в способе формирования обобщенной силы, действующей на входе нижних элементов звеньев.

На выходе из звена третьего эшелона, при надлежащем подборе параметров его элементов, формируются колебания с частотой Ω^3 и ряд других компонентов, которые, однако, подавляются фильтром, представленным в виде колебательного контура.

Повторяя подобные рассуждения для двух узлов четвертого уровня и единственного узла пятого, нетрудно убедиться, что частоты определяющих компонентов, действующих сил на выходе этих звеньев равна:

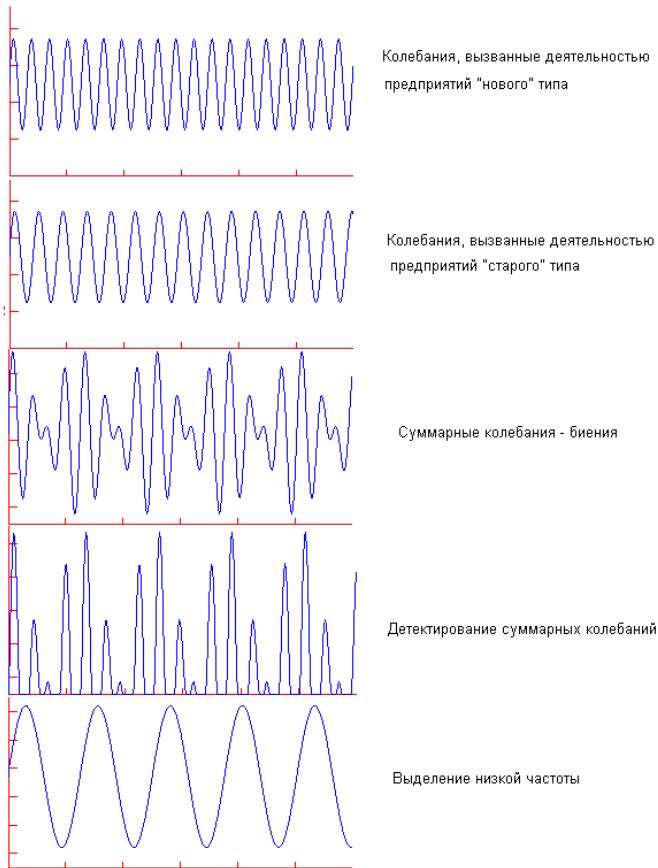


Рис. 10.6. Графики процессов, происходящих в элементах модели

$$\Omega^4 = \Omega_{\text{нов}}^3 - \Omega_{\text{ст}}^3, \quad \Omega^5 = \Omega_{\text{нов}}^4 - \Omega_{\text{ст}}^4 \quad (10.27)$$

Как видно из левой части рис.10.4, обобщенные силы на выходе звеньев второго, третьего, четвертого и пятого эшелонов формируются только во внутренней среде подсистемы «экономика». Но на их образование влияют инцидентные элементы всех нижних уровней (см.

правую половину рис.10.4). Однако, в силу наличия вентилей, содержащих фильтры, настроенные на частоту биений, все остальные гармоники на верхних уровнях подавляются.

Следовательно, при анализе колебательных процессов отдельных звеньев вместо всего множества гармонических составляющих сил, генерируемых в инцидентных узлах, изображенных на правой половине рис.10.4, можно использовать генератор, моделирующий осциллирующую составляющую. Но ее интенсивность (амплитуду) и фазу следует определить из расчетов инцидентных узлов нижних уровней, см. рис.10.4 (правая сторона).

Рекуррентная структура модели позволяет по индукции экстраполировать результаты, полученные при моделировании отдельного звена на все звенья второго – пятого эшелонов.

Все опыты проводились при разомкнутых обратных связях.

Для проверки влияния интенсивности отрицательных обратных связей, поочередно варьировались все эти коэффициенты в пределах от $-\infty$ до 0. Только при достижении значений, близких к нулю, в системе появлялась тенденция, ведущая к потере устойчивости. Во всех прочих случаях обратные связи генерировали на входе малоинтенсивные стабилизирующие колебания, частота которых равнялась частотам выходных сигналов звеньев высших уровней, см. рис.10.4, 10.5, 10.6.

10.9. Возможность анализа экономической конъюнктуры на модели

Предложенная модель позволяет имитировать экономическую конъюнктуру.

В самом деле, различные режимы функционирования подсистемы «экономика» воспроизводятся выбором надлежащего участка характеристики элемента и амплитуды колебательной составляющей, см. рис.10.7, где «рабочие точки», точки начала отсчета колебательных процессов, отмечены крестиком, а точка, изображающая мгновенное состояние процесса «изображающая точка», остается в пределах рабочих участков характеристики, представленных отрезками прямых.

Например:

1. Если изображающая точка не входит за пределы горизонтального участка, на выходе элемента обобщенная координата остается постоянной. В частности при $x_0 = 0$ она равна 0 (рис. 10.7а, рис. 10.7б).

2. Если колебания происходят на линейном участке, входная координата подвергается линейному преобразованию, в результате ко-

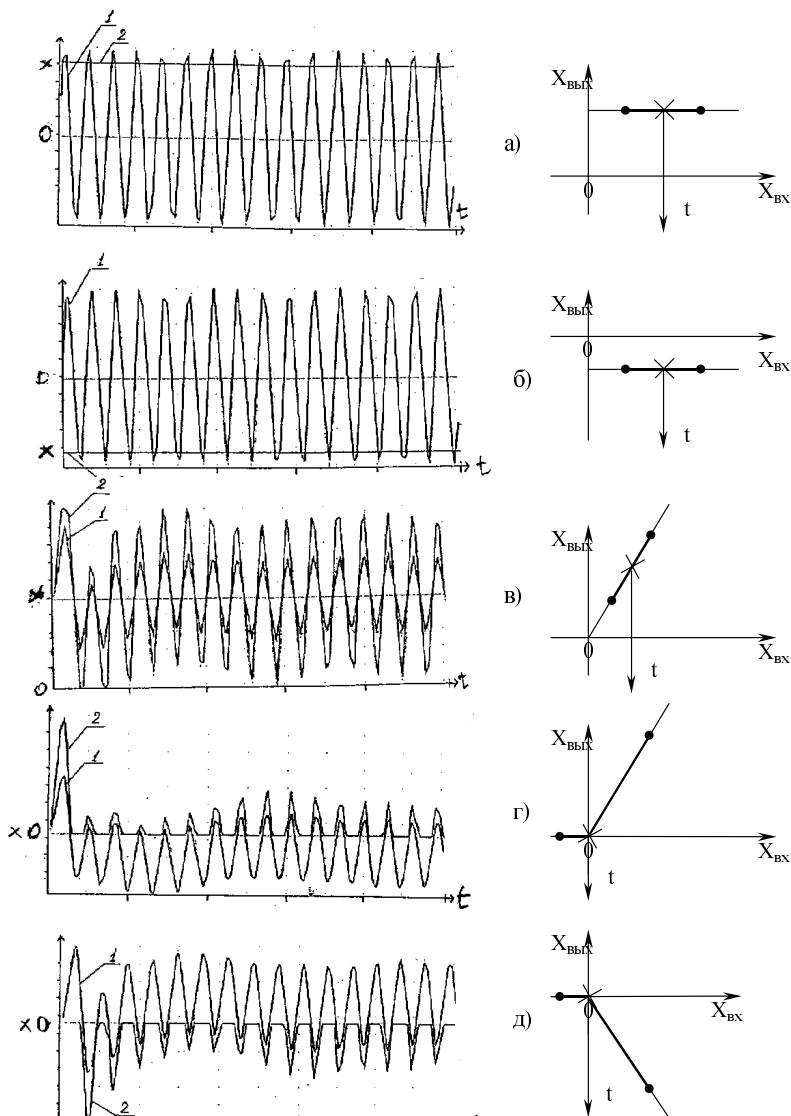


Рис. 10.7. Преобразование сигнала нелинейным элементом,
На всех машинограммах: 1-поступающий смещенный сигнал;
2-преобразованный сигнал

торого она пропорционально изменяется не меняя своего частотного состава (рис. 10.7в).

3. Чтобы в модели могли образовываться новые спектральные составляющие, способные имитировать процессы генерации низкочастотных колебаний, наблюдаемых в реальных системах, необходимо создать режимы, при которых рабочая точка располагается в окрестностях точек, где пересекаются линейные участки характеристики (рис. 10.7г, рис. 10.7д). При этом амплитуды колебаний действующих обобщенных сил должны превосходить величину отклонения рабочих точек от точки пересечения линейных участков характеристики.

Положение рабочих точек на характеристике в модели управляется за счет приложения ко входу нелинейного элемента постоянной обобщенной силы, а мгновенное состояние системы – переменной.

Наличие в составе модели колебательного контура высокой добродорности моделирует инерцию рынков и позволяет из богатого спектра, генерированного в системе, работающей в нелинейном режиме, выделить наиболее интенсивные спектральные составляющие, частота изменения которых равна частоте биений, наблюдаемых в экономике.

Теперь мы имеем возможность интерпретировать реальные процессы. В системе производство-рынок генерация низкочастотных колебательных процессов возможна только при наличии элементов с нелинейными характеристиками. Таким нелинейным элементом в экономической системе является необратимость рыночных операций.

В моделируемой экономической системе смещение рабочей точки вызывается относительным расположением тренда и средним значением текущего производственного или рыночного процесса.

Рассмотрим случай, когда среднее значение поставляемого на рынок продукта в любой момент времени превосходит величину тренда, но так, что размах колебаний на входе не выводит изображающую точку за пределы одного участка характеристики, например, изображенной на рис. 10.7в. В этом случае низкочастотные процессы на верхнем уровне не генерируются. Это означает, что рынок в любой момент времени перенасыщен или имеет место дефицит, величину которого продукция предприятия не может изменить. В таком режиме высокочастотные колебания выражают сиюминутную конъюнктуру, когда на рынке одновременно реализуется продукция старой и новой модификации. Здесь существенную роль играет только инерция рынка, за счет которой происходит изменение интенсивности колебаний различных частот.

Модель позволяет также имитировать другие режимы функционирования звеньев системы. Эти режимы определяются величиной дефицита, который равняется разности тренда $F^1(t)$ и постоянной

составляющей обобщенной силы $f^1(t)$, действующей на входе анализируемого звена.

10.10. Имитационное моделирование типового звена экономической системы с учетом обратных связей

В экономике положительные обратные связи формируются и совершаются в результате научного прогресса, способствующего возрастанию негэнтропии, компенсирующей рост энтропии, сопровождающей развитие. Поэтому, разрабатывая модель развития глобальной экономики, следует остановиться на механизмах, образующих положительные обратные связи, совершенствующиеся под воздействием НТП.

Знак обратной связи в экономике определяется состоянием внутренней и внешней сред, которое является результатом взаимодействия научно-технического прогресса и естественного для любой популяции живых организмов стремления к расширенному самовоспроизведению.

Разрабатывая модель экономики, нужно помнить, что положительная обратная связь делает систему нестационарной. Следовательно, выражение «стабильная и одновременно развивающаяся экономика ...» – нонсенс.

Экономика обладает некоторой особенностью, впрочем, присущей всем развивающимся системам. Речь идет об ограниченности ресурсов, которые она может использовать для своего развития. Ресурсы, располагаемые системой, не безграничны, поэтому с течением времени наступает момент, когда избыток ресурсов в среде, обеспечивающий развитие, исчерпывается, и положительная связь не может реализоваться. Развитие прекращается. Система стабилизируется, а затем, по мере роста дефицита, деградирует и в конечном итоге может погибнуть. Замедление развития и его прекращение ускоряется благодаря еще одной особенности прогрессирующих систем.

В связи с развитием потребности в ресурсах со временем возрастают. Это приводит к увеличению расхода энергии и ускоряет отключение положительных обратных связей. В активных системах, развивающихся в открытой среде с ограниченным запасом ресурсов, под воздействием взаимодействия объекта и среды идет непрерывный поиск источников ресурсов и происходит обострение агрессивного начала.

Одновременно с развитием агрессивности создаются механизмы, способствующие поиску новых ресурсов. Чтобы продолжить свое развитие активная система изыскивает новые источники и стремится их

отобрать у других потребителей. Их открытие и разработка составляет существование научно-технического прогресса и агрессии.

Поиск новых ресурсов сопровождается всемерной актуализацией интеллектуальных способностей, заложенных в геном человека природой.

Менталитет новых поколений формируется под давлением прессы, предопределенного взаимодействием генетической природы субъектов; естественным отбором и целенаправленной селекцией, осуществляющей идеологами противостоящих лагерей. Собственно говоря, их лидеры решают одинаковые стратегические задачи – как наладить положительную обратную связь, способствующую ускоренному развитию своей ресурсной базы и осуществить ее распределение, удовлетворяющее агрессивные вожделения тех слоев общества, выразителями чаяний которых волей или неволей они являются. Так как распределляемый ресурс ограничен, обе стороны вынуждены свои усилия направлять на сокрушение производственных возможностей противостоящей стороны. Так проблема технологического развития деформируется, она перерождается в открытый конфликт.

Перипетии этих процессов рассмотрены в главе 11, но и из предыдущих разделов делается очевидным, что основная борьба разыгрывается на нижнем уровне экономики и как цепная реакция охватывает всю иерархическую систему.

Проектируя имитационную модель, предназначенную для воспроизведения ограниченных ресурсов и скачков в процессе развития, вызванных открытием новых источников с одной стороны, и перипетий борьбы за ресурсы, с другой, необходимо отобразить сложное многообразие производственных, политических и социальных процессов. При этом следует помнить, что противоборствующие стороны не отделены друг от друга непроницаемым барьером. Независимо от желания лидеров разрушаются межпартийные, межгосударственные и всякие прочие границы. В результате происходит смешение идеологий на всех уровнях, что приводит к изменению менталитета лиц, исповедующих различные идеологии. Это тоже должно быть отражено в толерантной модели. Нарастанию и падению экономических и социально-политических волн посвящена глава 11.

Наконец, нужно помнить о неравномерности развития НТП, в результате которой некоторые, некогда отсталые звенья, системы в своем развитии могут опередить ранее преуспевающие элементы, (развитие НТП идет скачками). Детализируя общую модель системы – экономика, необходимо учесть эти особенности ее развития.

Перечисленные свойства экономической системы присущи ее любому звену. Возможность воспроизведения этих процессов потенци-

ально предусмотрена в структуре модели, изображенной на рис.10.8. Но прежде должна быть уточнена функция контуров модели, образующих обратные связи. Их свойства, к сожалению, нельзя отобразить с помощью линейных математических уравнений.

В стационарных моделях звена экономики существенно нелинейными являются: производственные функции; объем располагаемых ресурсов; детектирование; рыночная конъюнктура; научно-технический прогресс. В модели они включены в контуры прямых и обратных связей.

На рис.10.8 изображены две группы элементов, формирующих механизмы внутренней и внешней сред. Кроме моделирующих элементов представлены также связи, обеспечивающие их взаимодействие. Буквами x обозначены обобщенные координаты, каждая из которых отмечена индексами. Верхние правые индексы из $\{1, 2\}$ означают уровни – нижний и верхний. Первый нижний индекс 1–3 означает номер блока, в который включен данный элемент. Второй нижний индекс означает номер элемента. Некоторые переменные отмечены тремя нижними индексами. Третий индекс вводится для учета порядка уравнения, описывающего элемент, если система его дифференциальных уравнений имеет порядок выше первого.

Элементы, включенные в блоки I, II, предназначены для моделирования процессов, наблюдаемых в подсистемах, названных предприятиями «старого» или «нового» типа.

Блок I предназначен для моделирования предприятий «старого» типа в рассматриваемой отрасли одного государства.

Блок II, структура которого полностью воспроизводит структуру блока I (его детали на рисунке не изображены), воспроизводит «новые» предприятия рассматриваемой отрасли.

Блок III содержит элементы, моделирующие центральные структуры отрасли.

Полная система уравнений одного звена. (**Уравнения 10.28**).

Обозначения: $x_{k,q,l}^j$ – переменные, j – номер уровня; k – номер блока I, II, III; q – индивидуальный номер элемента; l – номер переменной в дифференциальном уравнении.

10.28.1. Уравнение модели управления «старых» производств

$$x_{1,1}^1 = f_{1,1}(x_{1,2,4}).$$

Примечание: функция $f_{1,1}^1(x_{1,2,4})$ может быть задана аналитически или синтезироваться оператором в процессе работы с моделью.

10.28.2. Уравнение обмена (деньги – товар) оплаты всех ресурсов, включая трудовые

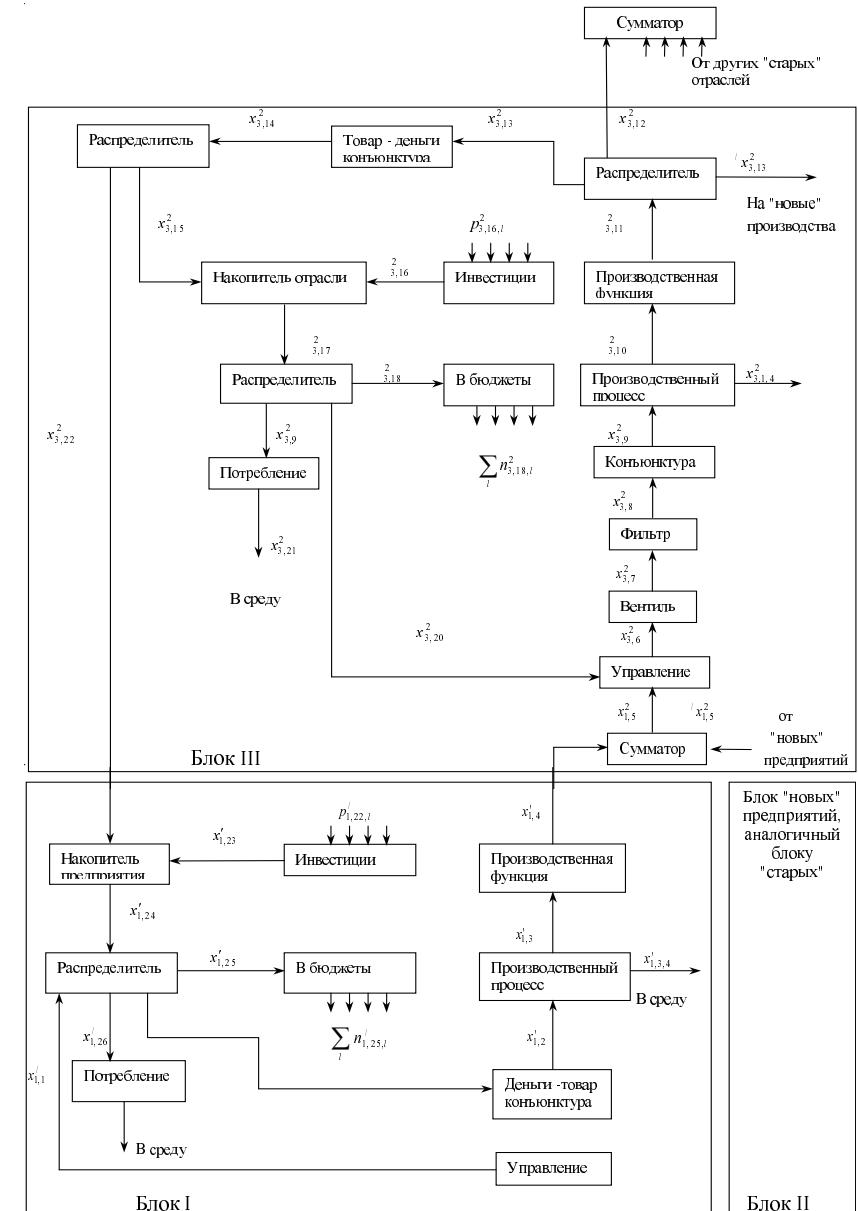


Рис.10.8. Имитационная модель отдельного звена экономической системы

$$x_{1,2}^1 = k_{1,2} x_{1,1}^1.$$

10.28.3. Уравнение производственного процесса «старых» предприятий;

$$\mathfrak{x}_{1,3,1}^1 = x_{1,3,3}^1,$$

$$\mathfrak{x}_{1,3,2}^1 = x_{1,3,4}^1,$$

$$\mathfrak{x}_{1,3,3}^1 = -{}^l c_{1,3}^1 x_{1,3,1} + d_{1,3} x_{1,3,2}^1 - a_{1,3}^1 x_{1,3,3}^1 + b_{1,3}^1 x_{1,3,4}^1 + k_{1,3,3}^1 x_{1,2}^1,$$

$$\mathfrak{x}_{1,3,4}^1 = -d_{1,3}^1 x_{1,3,1}^1 - c_{1,3}^1 x_{1,3,2}^1 - b_{1,3}^1 x_{1,3,3}^1 - a_{1,3}^1 x_{1,3,4}^1.$$

Примечание: $x_{1,3,3}^1$ – вещественная составляющая обобщенной координаты – стоимость продукции, $x_{1,3,4}^1$ – мнимая часть обобщенной координаты. Она моделирует увеличение энтропии (отводится в среду).

$$x_{1,3,4}^1 = i x_{1,3,4}, \quad i \text{ – мнимая единица.}$$

10.28.4. Производственная функция модели «старых» предприятий $x_{1,4}^1 = A_{1,4}^1(x_{1,3,3}^1)$.

10.28.5. Уравнение сумматора продукции «старых» и «новых» предприятий, моделирующее ее поступление на рынок.

$$x_{3,5}^2 = x_{1,4}^1 + x_{2,4}^1.$$

10.28.6. Уравнение управления отраслью

$$x_{1,6}^2 = f_{1,6}(x_{3,5}^2, x_{3,20}^2).$$

Примечание. (См. примечание к 10.28.1).

10.28.7. Уравнение вентиля

$$x_{3,7}^2 = \begin{cases} 0 & \text{при } x_{3,6}^2 < 0 \\ (x_{3,7})_{\text{рабочей точки}} + k_{3,7} x_{3,6}^2, & \text{при } x_{3,6}^2 > (\bar{x}_{3,6})_{\text{рабочей точки}}. \end{cases}$$

10.28.8. Уравнение фильтра

$$\mathfrak{x}_{3,8}^2 + T_{3,8}^2 \mathfrak{x}_{3,8}^2 + k_{3,8} x_{3,7}^2 = x_{3,7}.$$

10.28.9. Уравнение учета конъюнктуры

$$x_{3,8}^2 = (k_{3,8}^2 + \varepsilon_{3,8}^2) x_{3,7}^2.$$

где $\varepsilon_{3,8}^2$ – плотность распределения случайной функции.
10.28.10. Уравнения производственного процесса на рынке.

$$\mathfrak{x}_{3,10,1}^2 = x_{3,10,3}^2,$$

$$\mathfrak{x}_{3,10,2}^2 = x_{3,10,4}^2,$$

$$\mathfrak{x}_{3,10,3}^2 = -c_{3,9}^2 x_{3,10,1}^2 + d_{3,10}^2 x_{3,10,2}^2 - a_{3,10}^2 x_{3,9,3}^2 + b_{3,10}^2 x_{3,10,4}^2 + k_{3,10} x_{3,8}^2,$$

$$\mathfrak{x}_{3,10,4}^2 = -d_{3,9}^2 x_{3,10,1}^2 - c_{3,9}^2 x_{3,10,2}^2 - b_{3,10}^2 x_{3,10,3}^2 - c_{3,10}^2 x_{3,10,4}^2.$$

Примечание: $x_{3,10,3}^2$ – вещественная составляющая обобщенной координаты – рыночное производство (стоимость продукции), $x_{3,10,4}^2$ – мнимая часть координаты – стоимость продукции (отводится в среду),

$$x_{3,10,4}^2 = i w_{3,10,4}.$$

10.28.11. Производственная функция модели «старой» отрасли

$$x_{3,11}^2 = A_{3,11}^2(x_{3,10}^2).$$

10.28.12. Уравнение распределения продукции «старой» отрасли

$$x_{3,12}^2 + x_{3,13}^2 + {}^l x_{3,13}^2 = x_{3,11}^2.$$

В этом равенстве $x_{3,13}^2$ означает оплату продукции, поставляемой на рынок предприятиями «нового» типа.

10.28.13. Уравнение товарооборота (товар «старых» предприятий – деньги)

$$x_{3,14}^2 = k_{3,14}^2 x_{3,13}^2.$$

10.28.14. Уравнение распределения дохода между отраслью и «старыми» предприятиями

$$x_{3,15}^2 + x_{1,22}^2 = x_{3,14}^2.$$

10.28.15. Инвестиции в отрасль из бюджетов верхних уровней

$$x_{3,165}^2 = \sum_{l=3}^{l=3} p_{3,16,l}^2,$$

l – уровни, из которых получены инвестиции.

10.28.16. Уравнение накоплений отрасли

$$T_{3,17}^2 \mathfrak{x}_{3,17}^2 + x_{3,17}^2 = x_{3,15}^2 + x_{3,16}^2$$

10.28.17. Уравнение распределения собственных доходов отрасли

$$x_{3,18}^2 + x_{3,19}^2 + x_{3,20}^2 = x_{3,17}^2.$$

10.28.18. Уравнение отчисления в бюджеты элементов верхних уровней

$$x_{3,18} = \sum_{l=3}^5 n_{3,18,l}^2,$$

l – уровень, куда направлены отчисления.

10.28.19. Уравнение потребления отрасли

$$S_{3,21}^2 = ix_{3,21}^2, \quad (x_{3,21}^2 = x_{3,19}^2).$$

где i – мнимая единица.

10.28.20. Уравнение собственных накоплений «старых» предприятий

$$T_{1,24}^1 + x_{1,24}^1 = x_{3,22}^2 + x_{1,23}^1.$$

10.28.21. Инвестиции в «старые» предприятия

$$x_{1,23}^1 = \sum_{l=2}^5 p_{1,23,l},$$

l - уровень, с которого поступают инвестиции.

10.28.22. Уравнение распределителя доходов «старых» предприятий

$$x_{1,25}^1 + x_{1,1}^1 + x_{1,26}^1 = x_{1,24}^1.$$

10.28.23. Уравнение отчислений в бюджеты элементов верхних уровней

$$x_{1,25}^1 = \sum_{l=2}^5 n_{1,25,l}^1,$$

l - уровень, куда направляются отчисления.

10.28.24. Уравнение потребления «старых» предприятий

$$S_{1,26}^1 = ix_{1,26}^1; \quad (x_{1,26}^1 = x_{1,25}^1).$$

Ненаписанные уравнения элементов блока II («новых» производств) имеют структуру, полностью идентичную уравнениям, напи-

санным для элементов блока I. Переменные, характеризующие процесс во втором блоке, снабжены верхним левым индексом 2.

10.11. Модель элементов, образующих среду

В модели элементы 1, 6 и не изображенные на рисунках элементы блока II предназначены для воспроизведения решений, принимаемых управляющими элементами блоков I, II, III. Эти решения принимаются менеджерами. Основных вариантов управления может быть три. Управления, обеспечивающие развитие, стагнацию и деградацию направляемого процесса.

Первый из основных режимов – возрастание объемов используемых ресурсов, имеет место в случае, когда моделируемый объект располагает средствами, при которых он может развиваться. Второй соответствует стагнации, когда наличные ресурсы и рыночная конъюнктура не позволяют увеличивать производство.

Третий имеет место, когда дефицит средств вызывает свертывание производства из-за недостатка ресурсов.

Более сложные режимы могут быть синтезированы из последовательных участков перечисленных режимов.

Любой из режимов управления определяется не только финансово-выми возможностями элемента, но и состоянием среды, ее способностью поставлять необходимые для развития ресурсы и потреблять произведенную продукцию.

Рассмотрим свойства элементов, составляющих подсистему среды. Она содержит:

- источники ресурсов, доступные для реализации в подсистеме экономика;

- трудовые ресурсы, которые могут быть задействованы в подсистеме экономика;

- способность субъектов, генерирующих оригинальные идеи, обеспечивающие изыскание новых ресурсов, ранее не используемых в подсистеме экономика;

- население, потребляющее блага, производимые в подсистеме экономика.

Рассмотрим свойства и характеристики элементов среды, которые необходимы для завершения составления модели.

Природные ресурсы. Как и многообразие производимых благ, при анализе экономических процессов в модели, мы всю совокупность природных ресурсов будем представлять единым параметром – стоимостью. Но их обнаружение, добыча и транспортировка к месту потреб-

ления осуществляется на предприятиях добывающей, транспортирующей, и реализующей отраслей народного хозяйства. В плане экономики эти предприятия ничем не отличаются от предприятий, производящих любые блага, и поэтому они нами включены в состав предприятий, объединенных в элементы и производственные объекты подсистемы экономика. Следовательно, говоря о ресурсах, образующих среду, необходимо указать способы введения в модель элементов, имеющих те свойства ресурсов, которые определяют их оценку, не содержащую абстрактного труда, затраченного на их добычу, но имеющую ценность вследствие своей необходимости для организации производства и жизнеобеспечения общества. Эта часть стоимости ресурсов определяется тем количеством полезного труда, который потребитель должен затратить для приобретения ресурса (начальная стоимость ресурса кроме полезности определяется его редкостью).

Трудовые ресурсы. Трудовые ресурсы оцениваются тремя составляющими:

- природными способностями субъектов;
- затратами на их профессиональную подготовку;
- издержками, необходимыми для организации и оплаты их труда.

Здесь, как и при оценке природных ресурсов, оценку труда работников следует производить по двум группам параметров. Одной, характеризующей природные свойства человека, их редкость, и другой, оценивающей затраты на его обучение и реализацию его потенциальных возможностей.

Существует еще один аспект оценки человека в экономической системе, без учета которой модель не может быть адекватна реальным процессам. Имеется в виду потребление продукции, произведенной в подсистеме экономика. Ведь все блага, произведенные в этой подсистеме, предназначены для удовлетворения потребности человечества, среди которых стремление к расширенному самовоспроизведению является одной из основных предпосылок существования популяции. Расширенное воспроизведение диктует увеличение потребление продукта производства, рост дефицита ресурсов и уменьшения их доступных запасов в природе. Негативное воздействие расширяющегося воспроизведения на окружающую среду компенсируется открытием новых ресурсов и модернизацией источников уже используемых.

Таким образом, человечество в модели представляется в двух ипостасях. С одной стороны, оно часть подсистемы экономика, где труд человека является основным ресурсом, без которого экономика не может существовать, а с другой – часть среды, генерирующая новые научные идеи и потребляющая валовый продукт.

До сих пор нами не оговорены и факторы, определяющие закономерности развития экономики во времени.

Большинство экономических параметров со временем изменяется скачками. Без учета скачкообразного характера НТП описание процесса образования экономических волн невозможно.

Скачки в развитии научно-технического прогресса инициируются отдельными особо талантливыми членами популяции. Их открытия со временем делаются достоянием широких кругов населения. Они вызывают цепные реакции, которые приводят к бурному росту производственных процессов, создают новые ресурсные базы, без которых дальнейшее развитие экономики невозможно.

Примечание. Значение скачков наглядно иллюстрировано в работе Саркисяна С.А. [10.8]. Позволю привести рассмотренный им пример.

Как видно из рис. 10.9, взятого из работы [10.8], с начала прошлого века и до настоящего времени в развитии наземного и воздушного транспорта имели место шесть скачков, вызвавших коренные изменения развития всей инфраструктуры мировой экономики.

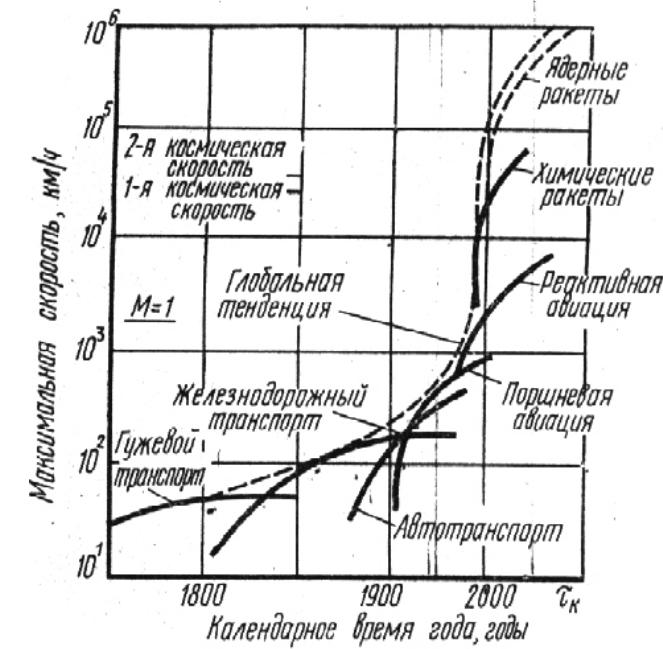


Рис. 10.9. Эволюционные участки развития и скачки в процессе технического прогресса транспортных средств.

Ресурсы после многих переделок, пройдя через подсистему экономика, в конце концов попадают к потребителям в виде готовой продукции и после ее использования по назначению, в виде негодных для дальнейшего использования отходов, возвращаются в среду, увеличивая ее энтропию.

Имитационная модель должна отобразить все перечисленные особенности развития системы во времени.

10.12. Модель развития глобальной экономики

Средой, в которой функционирует подсистема экономика, служит природа. Однако, для составления работоспособных моделей экономической системы, как это делается для любой другой науки, необходимо выделить те свойства природы, которые существенным образом влияют на процессы, протекающие в моделируемом объекте. В экономике важнейшими параметрами, определяющими состояние системы, являются время и совокупность ресурсов, из которых производится полезная продукция. Ресурсы, определяющие технико-экономические процессы, характеризуются интегральным параметром – стоимостью. Последнее утверждение следует объяснить. Стоимость – величина относительная, меняющаяся со временем в зависимости от состояния оцениваемого объекта. Это требует указания промежутка времени, для которого составляется модель, а окончательная полезность ресурса определяется стоимостью – интегральным количеством труда, который должен быть затрачен на добычу ресурса.

В нашей модели необходимо различать следующие состояния ресурсов:

- ресурсы, потенциально существующие в природе, но не используемые в экономике. Для их добычи требуется затратить труд, которым экономика не располагает;

- ресурсы, находящиеся в переделе, обращающиеся под действием приложенного труда в продукцию;

- отходы, образующиеся при осуществлении технологических процессов производства;

- ресурсы, обращаемые в отходы после использования готовой продукции по ее назначению.

Между подсистемами среда и экономика происходит обмен энергии, носителем которой являются ресурсы. Из среды в экономику поступают полноценные ресурсы, а из экономики в среду они возвращаются в отработанном состоянии – засоряют среду.

Количество перерабатываемых ресурсов определяется потребностями в производимых благах, а также производственной мощностью подсистемы экономика. В экономической системе осуществляется процесс преобразования совокупной энергии, заключенной в ресурсах. Поэтому абстрактная модель экономической системы можно представить как преобразователь энергии. В качестве модели используем интегральное звено, у которого постоянная времени приблизительно равна протяженности во времени самых длинных волн, наблюдавшихся в экономике.

Структура модели представлена на рис.10.10, на котором приняты следующие обозначения:

РБ – ресурсная база внешней среды;

О I, О II – ограничители, определяющие необходимые для блоков объемы ресурсов;

С I, С II – «сепараторы», отделяющие отходы от полезных ресурсов. Таким образом моделируется падение производительности при возрастании засорения внешней среды;

Б I, Б II – блоки, которые выполняют преобразование ресурсов в готовую продукцию и отходы;

Р I, Р II – распределители, производящие распределение готовой продукции по следующим направлениям: на верхний уровень, на потребление и на восстановление среды;

С – сумматор;

Д – детектор, отсекающий обратные потоки продукции;

Ф – фильтр, выделяющий огибающую продетектированного потока продукции;

ГР - Б III– глобальный рынок;

Р – распределитель продукции глобального рынка по направлениям: на потребление, на восстановление среды.

На вход модели поступает поток ресурсов U из источников I , управляемых интегральным интеллектом человечества. Источники времени от времени генерируют импульсы. Включение импульсов происходит последовательно по мере развития научно-технического прогресса. Источники в первом приближении моделируются скачками, распределенными по стохастическому закону.

Таким образом, управление последовательностью и мощностью импульсов, хотя оно генерируется внутри подсистемы экономика, вынесено из модели.

Ресурсы из среды поступают в подсистему экономика, где производятся и распределяются все блага, обеспечивающие существование человечества.

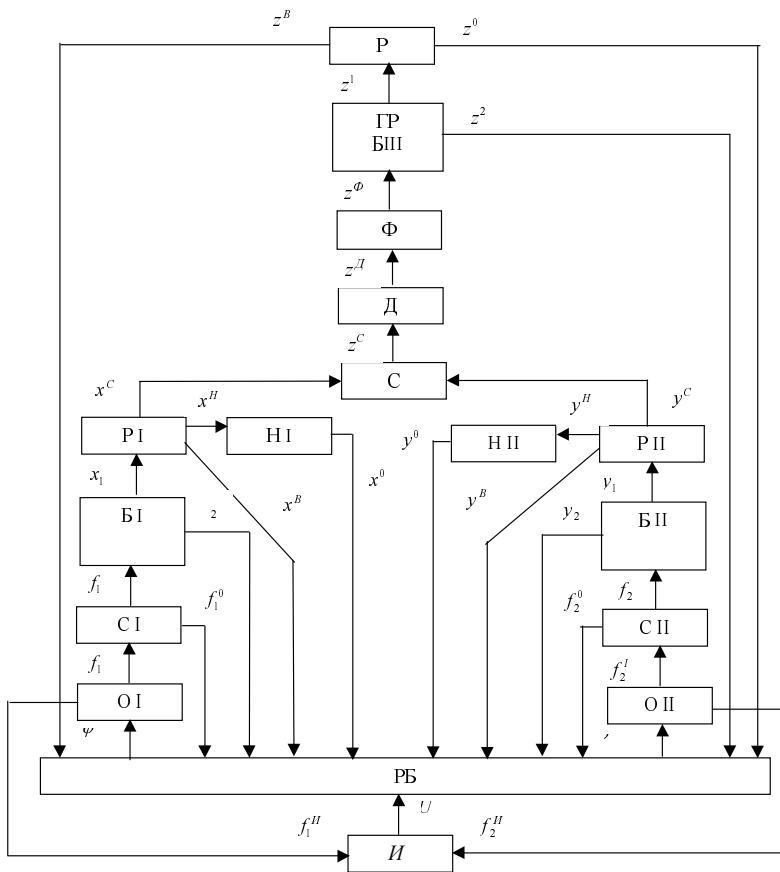


Рис. 10.10. Общая схема модели

В современном мире объекты экономической и социально-политической систем тесно объединены сетью рынков, образующих горизонтальные и вертикальные связи между элементами народного хозяйства.

Вертикальные экономические связи рассматривались нами в предыдущих разделах настоящей главы. Предполагалось, что горизонтальные связи образуются через ресурсную базу и узлы верхних уровней. Чтобы выяснить их функции подробнее рассмотрим предельно упрощенную модель макроэкономической системы, представленной

на рис.10.10, где изображены три блока. Блоки I и II воспроизводят две противостоящие части глобальной экономики, которые в дальнейшем условно будем называть блоком «агрессор» и блоком «альtruист». Третий блок (Б III) предназначен для воспроизведения международных отношений. Блоки I и II конфликтуют. Каждый из них имеет сложную структуру, представленную на рис.10.4 половиной графа. В соответствии с моделью каждый из блоков I и II состоит из трехэлементных звеньев, образующих иерархические подсистемы, состоящие из одного агрессивного и одного альтруистического элементов, формирующих блоки I и II, инцидентные блоку III.

Рассматриваемая трехблочная структура формально совпадает со структурой любого звена модели 10.4, но в отличие от элементарных звеньев обобщенная модель содержит блок РБ, моделирующий среду, из которой экономика черпает ресурсы, куда после их использования по назначению возвращаются отходы.

Более полная модель среды изображена на рис.10.11, где она представлена тремя подблоками. Введение трех подблоков для моделирования среды диктуется тем, что каждый из блоков I и II имеет самостоятельную ресурсную базу, соответственно обозначенную O_I , O_{II} , а O_0 содержит природные ресурсы общего пользования – атмосферу, океан...

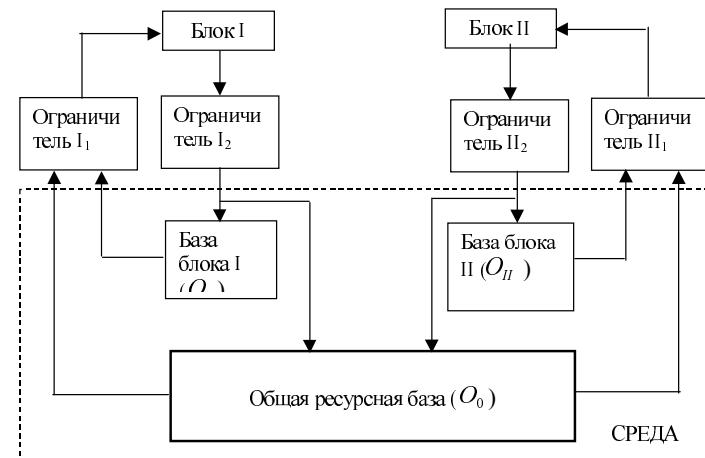


Рис. 10.11. Схема ограничений в среде

Обратимся к иерархической структуре, изображенной на рис.10.4, предназначеннной для качественного описания народного хозяйства планеты. Напомним, что она построена путем последовательной дихотомии всех экономических объектов по признаку старый и новый. Однако эта модель может быть использована и для анализа социально-экономических проблем, если в качестве критерия, по которому производится дихотомия, принять критерий агрессивность, порождающую экономические и социально-политические проблемы в обществе.

Последовательное применение к экономическим объектам дихотомии по признаку агрессивность позволяет организовать граф, аналогичный изображеному на рис.10.4, узлы которого нагружены информацией «более агрессивный» или «менее агрессивный». Аналогия между этим графом с изображенным на рис.10.4. не ограничивается только тем, что он имеет дихотомическую структуру. Их однинаковость определяется органически совпадающими корнями.

Исторический опыт показывает, что более агрессивная сторона в процессе назревания конфликта лучше подготовлена к восприятию новаций, порождаемых развитием НТР, и поэтому ее технологическая база развивается более интенсивно, чем база оппонента, что обеспечивает большую скорость совершенствования техники и технологии. Ранняя скорость развития стимулирует не только назревание конфликта. Она позволяет нам считать, что граф, изображенный на рис.10.4, является аналогом графа, построенного по критерию агрессивность.

Эта модель может быть использована для имитирования некоторых макроэкономических процессов. Например: для определения влияния небаланса ресурсов и технологических возможностей блоков на развитие макроэкономических процессов; выяснения механизма воздействия диссипации энергии (ресурсов) на развитие макроэкономических процессов.

Если ее представить в виде, изображенном на рис.10.11, она может быть использована и для моделирования развития конфликтов между блоками.

10.13. Математическая модель системы (10.10)

10.21.1. Интегральный интеллект

$$A(t_0) = A_0$$

$$A(t) = A(t-1) + (\Pi_H^I \cdot f_1^H + \Pi_H^U \cdot f_2^U) \cdot t$$

$$U = A(t) \cdot e^{-\omega t}.$$

10.29.2. Ресурсная база

$$T\varphi + k\varphi = -k^0 \cdot (f_1^0 + x_2 + x^0 + f_2^0 + y_2 + y^0) + (x^B + y^B + z^B)^{k^B}.$$

10.29.3. Ограничители

$$\bar{f}_1(t) = \bar{f}_1 \cdot t^{\bar{k}_1},$$

$$\bar{f}_2(t) = \bar{f}_2 \cdot t^{\bar{k}_2};$$

$$f_1^I = \begin{cases} \bar{f}_1(t), & \text{если } \varphi \geq \bar{f}_1(t) \\ \varphi, & \text{если } \varphi < \bar{f}_1(t) \end{cases}$$

$$f_2^I = \begin{cases} \bar{f}_2(t), & \text{если } \varphi \geq \bar{f}_2(t) \\ \varphi, & \text{если } \varphi < \bar{f}_2(t) \end{cases}$$

$$f_1^{II} = \begin{cases} 0, & \text{если } \varphi \geq \bar{f}_1(t) \\ 1, & \text{если } \varphi < \bar{f}_1(t) \end{cases}$$

$$f_2^{II} = \begin{cases} 0, & \text{если } \varphi \geq \bar{f}_2(t) \\ 1, & \text{если } \varphi < \bar{f}_2(t). \end{cases}$$

10.29.4. Сепараторы готовой продукции

$$f_1(t) = (1 - O_1) \cdot f_1^I$$

$$f_1^0(t) = O_1 \cdot f_1^I$$

$$f_2(t) = (1 - O_2) \cdot f_2^I$$

$$f_2^0(t) = O_2 \cdot f_2^I.$$

10.29.5. Блоки

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_3 \\ \dot{x}_2 = x_4 \\ \dot{x}_3 = -cx_1 + dx_2 - ax_3 + bx_4 + h_1 f_1 \\ \dot{x}_4 = -dx_1 - cx_2 - bx_3 - ax_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_3 \\ \dot{y}_2 = y_4 \\ \dot{y}_3 = -\gamma y_1 + \delta y_2 - \alpha y_3 + \beta y_4 + h_2 f_2 \\ \dot{y}_4 = -\delta y_1 - \gamma y_2 - \beta y_3 - \alpha y_4 \end{cases}$$

10.29.6. Распределители

$$\begin{array}{lll} x^C = a^C x_1 & y^C = \alpha^C y_1 & z^B = A^B z_1 \\ x^H = a^H x_1 & y^H = \alpha^H y_1 & z^0 = A^0 z_1 \\ x^B = a^B x_1 & y^B = \alpha^B y_1 & A^B + A^0 = 1 \\ a^C + a^H + a^B = 1 & \alpha^C + \alpha^H + \alpha^B = 1 & \end{array}$$

10.29.7. Накопители

$$T_1^H \cdot \dot{x} + k_1^H \cdot x^0 = x^H$$

$$T_2^H \cdot \dot{y} + k_2^H \cdot y^0 = y^H$$

10.29.8. Сумматор

$$z^C = x^C + y^C$$

10.29.9. Детектор

$$z^D = \begin{cases} z^C, & \text{если } z^C \geq 0 \\ 0, & \text{если } z^C < 0. \end{cases}$$

10.29.10. Фильтр

$$\begin{cases} c^\phi = (\omega_C^{BI} - \omega_C^{BII})^2 \\ \dot{z}_1^\phi = z_1^\phi \\ z_1^\phi = -c^\phi z^\phi - a^\phi z_1^\phi. \end{cases}$$

10.29.11. Глобальный рынок

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_3 \\ \dot{z}_2 = z_4 \\ \dot{z}_3 = -Cz_1 + Dz_2 - Az_3 + Bz_4 + Hz^\phi \\ \dot{z}_4 = -Dz_1 - Cz_2 - Bz_3 - Az_4. \end{cases}$$

Резюме

В главе представлена имитационная модель экономической системы производство-рынок, позволяющая иллюстрировать динамические процессы, объясняющая механизм генерации волн низкой частоты.

Показано, что в этой системе, в отличие от общепринятых моделей, могут возникать колебания пяти типов, из которых только один, самый высокочастотный, возбуждается во внешней среде, а остальные генерируются во внутренней.

Принятое большинством авторов предположение о трех типах экономических волн не отражает реалий экономических процессов.

Полученные в настоящей работе волны пяти типов, коррелированных с процессами в пяти эшелонах экономической системы. Они адекватно отражают явления, наблюдаемые в системе и выявляют их происхождение.

В отличие от общепринятых теорий длинных экономических волн, основанных на представлении процессов в виде рядов Фурье, где частоты волн должны быть в целочисленных отношениях, теория разработанная в настоящей работе позволяет моделировать волны, длины которых находятся в дробных отношениях. Это, наряду с пятиуровневым представлением глобальной экономики позволяет объяснить различные оценки периодов длинных волн, на которые обращают внимание многие авторы, например [10.1-10.6].

Показано, что спектр колебаний в различных эшелонах экономической системы, имеющей различные частоты на всех уровнях систем-

мы экономика, имеющей разные частоты на всех уровнях подсистемы экономика инициируются неравномерным развитием НТП на уровне производственных предприятий.

Предложенная модель позволяет объяснить не совпадение собственных частот во всех элементах экономической системы в различных отраслях, государствах, блоках государств и в глобальной экономике.

Предложенная модель позволяет связать производственные процессы в предприятиях, производящих блага с конъюнктурой, наблюдаемой в микро- и макро- объектах глобальной экономики.

Подробно рассматривался частный идеализированный случай стационарных процессов. В действительности экономическая система развивается в среде, где резервы ограничены и изменяются с развитием НТП. Поэтому процессы в развивающейся экономике нестационарны. Для их анализа предложена нестационарная имитационная автоколебательная модель.

Все приведенные выше соображения основаны на рассмотрении стационарных систем, когда параметры, определяющие динамику процессов, постоянны.

Динамика нестационарных процессов, а также проблемы, возникающие в результате учета конкуренции, будут рассмотрены специально.

Цитированные источники

- 10.1. Аукционек С. Б., Беляева Е. В. Современный этап эволюции длинных волн.– М.: Наука, 1986.– 234.
- 10.2. Глазьев С. Ю. Экономическая теория технического развития.– М.: Наука, 1989.– 232с.
- 10.3. Грэнджер К. Спектральный анализ временных рядов в экономике.– М.: Статистика, 1972.– 320с.
- 10.4. Длинные волны: Научно-технический прогресс и социально-экономическое развитие / С. Ю.Глазьев и др.– Новосибирск: Сиб. отд-е. 1991.– 224с.
- 10.5. Кондратьев Н. Д. .Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры, 1925, №1.
- 10.6. Рязанов В. Т. Вопросы о длинных волнах и экономических реформах в России.– С.-П.: Экономика, 1992. Выпуск 2, №12.– С.29–56.
- 10.7. Дабагян А. В. Модель образования волновых процессов в социально-экономических системах // Engineering and automation (Проблемы машиностроения и автоматизации), № 5–6, 1994.– С.3–9.
- 10.8. Саркисян С. А. Теория, прогнозирование и принятие решений.– М.: Высшая школа, 1977.– 350с.