УДК 517.977.1:004.94

СТРУКТУРНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЕЙ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ МАКРОСИСТЕМ

А.А. Ашимов, Ю.В. Боровский, Д.А. Новиков, Р.М. Нижегородцев, Б.Т.Султанов

Проверена структурная устойчивость одной модели экономической системы для различных сочетаний значений экономических параметров, показана эффективность применения теории параметрического регулирования развития рыночной экономики с оценкой мультипликативных эффектов.

Ключевые слова: математическая модель, слабая структурная устойчивость, параметрическое регулирование, мультипликативный эффект.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1, 2] предложен подход параметрического регулирования развития рыночной экономики и показана его эффективность на отдельных примерах [3, 4]. Применение данного подхода для выбора версии экономической политики на базе конкретной математической модели связано с анализом ее структурной устойчивости (без регулирования и с регулированием) и с выработкой рекомендаций по параметрическому регулированию развития рыночной экономики с оценкой мультипликативных эффектов.

В данной работе приводятся результаты исследования структурной устойчивости одной модели экономической системы [5] для различных сочетаний значений экономических параметров. Приведены также результаты применения и оценки мультипликативных эффектов подхода параметрического регулирования на базе указанной модели, которая для одного сочетания значений экономических параметров описывает конъюнктурные колебания типа цикла Кондратьева, а для другого сочетания — поведение экономической системы вблизи гиперболической неподвижной точки.

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Математическая модель цикла Кондратьева [5] представлена следующей системой двух обыкновенных дифференциальных уравнений, содержащей производные по времени (t):

$$\begin{cases} x' = x(x-1)(y_0 n_0 - yn), \\ y' = n(1-n)y^2(x-x_0). \end{cases} \tag{1}$$

Здесь $x(t)$ — эффективность новшеств (отношение нового технологического уровня к среднему технологическому уровню); $y(t)$ — капиталоотдача (отношение ВНП к капиталу); y_0 — капиталоотдача, соответствующая равновесной траектории развития; $n(y)$ — заданная функция нормы накопления от капиталоотдачи (в данной работе она рассматривается в виде степенной функции: $n(y) = Ay^a$); $x_0 = 2 - \dfrac{\mu + l_0}{n_0 y_0}$ — эффективность новшеств, соответствующая равновесной траектории развития, где μ — коэффициент выбытия фондов; n_0 и l_0 — норма накопления и темп роста занятости, соответствующие равновесной траектории развития.

В работе [5] на основе оценки характеристик тренда по статистическим данным семи ведущих развитых стран были получены значения параметров (время t измеряется в годах):

$$n_0 = 18; \quad y_0 = 0{,}45; \quad a = 2{,}5; \quad x_0 = 1{,}5; \quad A = 1{,}32. \tag{2}$$

При этих значениях точка (x_0, y_0) является особой точкой (центром), и в ее окрестности фазовый портрет системы (1) состоит из циклических траекторий вокруг этой точки.

В настоящей работе параметры модели A, a, y_0, n_0, μ, l_0 и начальные условия $(x(0), y(0))$ были получены на основе данных экономики Республики Казахстан за 2000—2005 гг. [6] в результате решения задачи параметрической идентификации путем поиска минимума критерия (суммы квадратов невязок)

$$K = \frac{1}{2N}\sum_{j=1}^{N}\left[\left(\frac{y_j^* - y_j}{y_j^*}\right)^2 + \left(\frac{n_j^* - n_j}{n_j^*}\right)^2\right],$$

где y_j^*, y_j и n_j^*, n_j — соответственно значения капиталоотдачи и нормы накопления, наблюдаемых и модельных (расчетных); $N = 5$ — число наблюдений. Были получены следующие оценки значений неизвестных параметров (время t измерялось в месяцах):

$$A = 0{,}286, \quad a = -0{,}00049419, \quad y_0 = 0{,}0071797,$$
$$n_0 = 0{,}1317432, \quad \mu = 0{,}00143, \qquad (3)$$
$$l_0 = 0{,}0000587, \quad x(0) = 0{,}391.$$

В процессе оценки значений указанных параметров системы мы отказались от требования $n(y_0) = n_0$, которому удовлетворяли оценки значений параметров в работе [5]. В результате относительное среднеквадратическое отклонение расчетных значений переменных от соответствующих наблюдаемых значений составило приблизительно $100\sqrt{K} = 2{,}5$ %.

Для найденных значений параметров (3) фазовые траектории модели представляют собой гиперболы, а единственная особая точка ($\bar{x} = 0{,}4261$, $\bar{y} = 0{,}0033$) системы (1), (3) — является седлом (рис. 1).

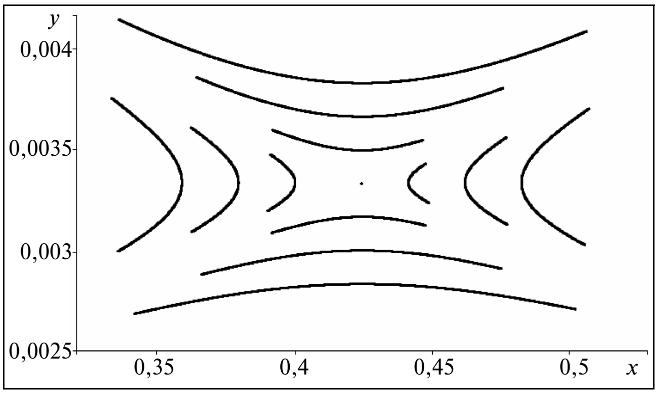

Рис. 1. Фазовый портрет системы (1), (3) в окрестности стационарной точки

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУБОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЕЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Проведем оценку грубости (структурной устойчивости) рассматриваемой модели (1) со значениями параметров (2) и (3) без параметрического регулирования в замкнутой области Ω с границей — простой замкнутой кривой, принадлежащей первому квадранту фазовой плоскости $R_+^2 = \{x > 0, y > 0\}$, опираясь на теорему о необходимых и достаточных условиях грубости [7]. Предварительно докажем следующее утверждение.

Лемма 1. *Для значений параметров* (3) *система* (1) *в области* R_+^2 *имеет единственную особую точку* $\bar{x} = x_0$, $\bar{y} = \left(\frac{y_0 n_0}{A}\right)^{\frac{1}{1+\alpha}}$, *которая является седловой точкой системы* (1).

Доказательство. Приравняв правые части уравнений системы (1) к нулям, получим значения координат особой точки $\bar{x}$, $\bar{y}$. Записав определитель матрицы Якоби для правых частей уравнений (1) в точке $(\bar{x}, \bar{y})$, несложно проверить, что он отрицателен. ♦

Утверждение 1. *Система* (1) *является грубой в замкнутой области* $\Omega \subset R_+^2$, *содержащей внутри себя стационарную точку* $(\bar{x}, \bar{y})$ *для значений параметров* (3). *Система* (1) *не является грубой в замкнутой области* $\Omega \subset R_+^2$, *содержащей внутри себя стационарную точку* $(\bar{x}, \bar{y})$ *для значений параметров* (2). *В обоих случаях система* (1) *является грубой в области* Ω, *если область* Ω *не содержит точку* $(\bar{x}, \bar{y})$. ♦

Доказательство этой теоремы аналогично доказательству соответствующей теоремы из работы [2].

3. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим возможность выработки рекомендаций по осуществлению эффективной экономической политики путем выбора оптимальных законов регулирования на примере экономических параметров: μ — коэффициент выбытия фондов и n_0 — норма накопления, соответствующая равновесной траектории развития.

Макроэкономические системы описываются большим числом параметров (фискальных, монетарных, технологических и др.), на уровне которых возможно регулирование ее развития.

Выбор оптимальных законов параметрического регулирования на уровне одного из параметров μ и n_0 осуществлялся из набора следующих зависимостей:

$$1)\ U_{1j}(t) = \text{const}_j + k_{1,j}\frac{y(t)-y(0)}{y(0)};$$

$$2)\ U_{2j}(t) = \text{const}_j - k_{2,j}\frac{y(t)-y(0)}{y(0)};$$

$$3)\ U_{3j}(t) = \text{const}_j + k_{3,j}\frac{x(t)-x(0)}{x(0)};$$

$$4)\ U_{4j}(t) = \text{const}_j - k_{4,j}\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}. \qquad (4)$$

Здесь $j = 1$ соответствует параметру μ; $j = 2$ — параметру n_0; const_j — базовое значение параметра (полученное в результате решения задачи идентификации), k_{ij} — настраиваемый коэффициент i-го закона регулирования j-го параметра, $k_{ij} \geqslant 0$, $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,2}$. Использование одного из законов (4) означает подстановку соответствующей функции из правой части соответствующего соотношения (4) в уравнение (1) вместо параметра μ или n_0.

Задача выбора оптимального закона параметрического регулирования на уровне параметров μ и n_0 из набора алгоритмов (4) решалась для следующих четырех случаев критерия оптимальности и ограничений (для первых трех случаев период регулирования T составляет 36 мес).

1. Найти на основе математической модели (1), (3) оптимальный закон параметрического регулирования в среде набора алгоритмов (4), т. е. найти оптимальный закон из этого множества алгоритмов и его настраиваемый коэффициент, который обеспечил бы максимум критерия, характеризующего среднее значение нормы капиталоотдачи на отрезке времени $[0,\ T]$:

$$K_1 = \frac{1}{T}\int_0^T y(t)dt \to \max \qquad (5)$$

при ограничениях

$$0 \leqslant \mu(t) \leqslant 1, \quad |x(t) - x^*(t)| \leqslant 0{,}09x^*(t). \qquad (6)$$

Здесь время начала регулирования t_0 соответствует 2001 г., $x^*(t)$ — модельные (расчетные) значения эффективности новшеств без параметрического регулирования.

Сформулированная задача решается в два этапа:

— на первом этапе определяются оптимальные значения коэффициентов k_{ij} для каждого закона (4) путем перебора значений настраиваемых коэффициентов в промежутках вида $[0,\ k_{ij}^m)$, квантованных с достаточно малым шагом, обеспечивающих максимум K_1 при ограничениях (6). Здесь k_{ij}^m — наименьшее значение коэффициента, при котором нарушаются ограничения (6);

— на втором этапе выбирается закон оптимального регулирования параметра (из четырех) на основе результатов первого этапа по максимальному значению критерия K_1.

Результаты численного решения задачи выбора оптимального закона параметрического регулирования экономической системы государства на уровне указанного экономического параметра показывают, что наилучший результат $K_1 = 0{,}07764$ может быть получен при использовании следующего закона регулирования коэффициента выбытия фондов

$$\mu(t) = \mu^* + 0{,}005\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}. \qquad (7)$$

Заметим, что значение критерия (5) без параметрического регулирования $K_1 = 0{,}06775$, приращение значения критерия при указанном параметрическом регулировании по сравнению с базовым вариантом составляет 14,60 %.

2. Найти на основе математической модели (1), (3) оптимальный закон параметрического регулирования в среде набора алгоритмов (4), который обеспечил бы максимум критерия, характеризующего среднее значение эффективности новшеств на отрезке времени $[0,\ T]$:

$$K_2 = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)dt \to \max \qquad (8)$$

при ограничениях

$$0 \leqslant \mu(t) \leqslant 1, \quad |y(t) - y^*(t)| \leqslant 0{,}09y^*(t).$$

Здесь $y^*(t)$ — модельные (расчетные) значения нормы капиталоотдачи без параметрического регулирования.

В результате численного решения задачи выбора оптимального закона параметрического регулирования экономической системы государства на уровне указанного экономического параметра был получен наилучший результат при использовании следующего закона регулирования нормы накопления, соответствующей равновесной траектории развития:

$$\mu(t) = \mu^* + 0{,}0007\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}. \qquad (9)$$

Значение критерия (8) без параметрического регулирования $K_2 = 0{,}45856$, приращение значения критерия при указанном параметрическом регулировании по сравнению с базовым вариантом составляет 0,1 %.

3. Найти на основе математической модели (1), (3) оптимальный закон параметрического регули-

рования в среде набора алгоритмов (4), который обеспечил бы максимум критерия, характеризующего средневзвешенное значение нормы капиталоотдачи и эффективности новшеств на отрезке времени $[0,\ T]$:

$$K_3 = \frac{1}{T}\left(\frac{1}{x(0)}\int_0^T x(t)dt + \frac{1}{y(0)}\int_0^T y(t)dt\right) \to \max \quad (10)$$

при ограничениях $0 \leqslant \mu \leqslant 1$.

В результате численного решения задачи выбора оптимального закона параметрического регулирования экономической системы государства на уровне указанного экономического параметра был получен наилучший результат $K_2 = 2{,}49227$ при использовании следующего закона регулирования нормы накопления, соответствующей равновесной траектории развития

$$\mu(t) = \mu^* + 0{,}008\frac{x(t) - x(0)}{x(0)}. \quad (11)$$

Значение критерия (10) без параметрического регулирования $K_3 = 2{,}17456$, приращение значения критерия при указанном параметрическом регулировании по сравнению с базовым вариантом составляет 14,61 %.

Фазовые траектории системы (1), (3) без параметрического регулирования и с оптимальными законами (7), (9) и (11) изображены на рис. 2.

Выбор конкретной цели в рассмотренных примерах можно оставить за лицом, принимающим решения.

4. Рассмотрим теперь возможность выработки рекомендаций по осуществлению эффективной экономической политики на базе модели (1), (2).

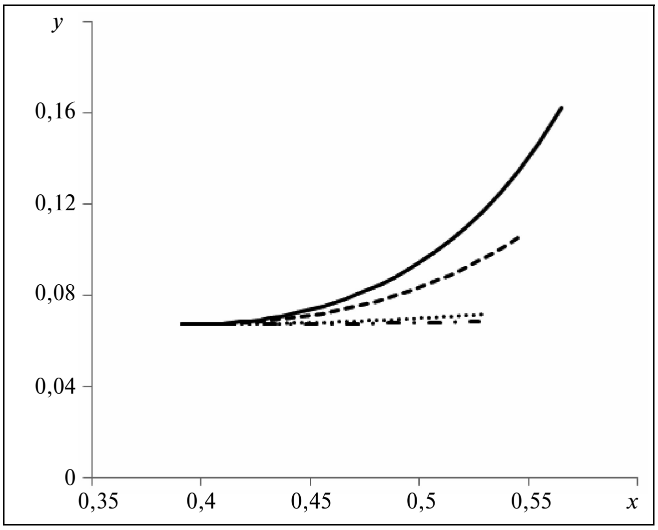

Рис. 2. Фазовые траектории системы (1), (3):
—·—·— без регулирования; кривые ---, ··· и ——— для оптимальных законов регулирования (7), (9) и (11) соответственно

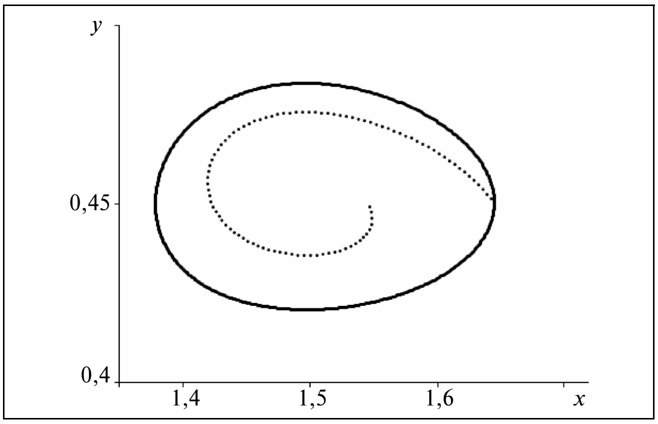

Рис. 3. Фазовые траектории системы (1), (2):
——— — конъюнктурный цикл без параметрического регулирования; кривая · · · · · — фазовая траектория для оптимального закона параметрического регулирования

Цель экономической политики — выведение экономической системы из циклического режима. Решалась следующая задача. Найти на основе математической модели (1), (2) оптимальный закон параметрического регулирования в среде набора алгоритмов (4), который обеспечил бы минимум критерия, характеризующего среднеквадратичное отклонение точек $(x,\ y)$ фазовой траектории системы (1) от стационарной точки (центра $(x_0,\ y_0)$) на отрезке времени $[0,\ T]$, где $T = 52{,}7$ мес — период регулируемой циклической траектории:

$$K_4 = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (x(t) - x_0)^2 + (y(t) - y_0)^2 dt} \to \min \quad (12)$$

при ограничениях $0 \leqslant n_0(t) \leqslant 1$.

В результате численного решения задачи выбора оптимального закона параметрического регулирования экономической системы государства на уровне указанного экономического параметра был получен наилучший результат $K_4 = 0{,}06347$ при использовании следующего закона регулирования нормы накопления, соответствующей равновесной траектории развития:

$$n_0(t) = n_0^* - 0{,}18\frac{x(t) - x(0)}{x(0)}. \quad (13)$$

Значение критерия (12) без параметрического регулирования $K_3 = 0{,}0982$, уменьшение значения критерия при указанном параметрическом регулировании по сравнению с базовым вариантом составляет 35,36 %.

При найденном законе (13) вместо циклической траектории наблюдалась траектория, стремящаяся при $t \to +\infty$ к устойчивой особой точке системы (1) с параметрическим регулированием (рис. 3).

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУБОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Оценим грубость (структурную устойчивость) рассматриваемой модели (1) с полученными выше законами параметрического регулирования в замкнутой области Ω с границей — простой замкнутой кривой, принадлежащей первому квадранту фазовой плоскости R_+^2.

Заметим, что найденные оптимальные законы параметрического регулирования (7), (9) и (11) соответствуют третьей зависимости $\mu(t) = \mu^* + k_{3,1}\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}$, а закон (13) — четвертой зависимости $n_0(t) = n_0^* - k_{4,2}\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}$ из соотношений (4). Несложно проверить, что при использовании закона параметрического регулирования, соответствующего третьей зависимости система (1) имеет единственную стационарную точку

$$\bar{x} = \frac{(2n_0y_0 - \mu^* - l_0 + k_3)x(0)}{x(0)n_0y_0 + k_3}, \quad \bar{y} = \left(\frac{y_0n_0}{A}\right)^{\frac{1}{1+\alpha}},$$

и эта точка является седловой точкой для законов регулирования (7), (9) и (11). В случае использования закона параметрического регулирования (13) система (1) также имеет единственную особую точку, и эта точка является устойчивым полюсом.

Утверждение 2. *Система* (1), (3) *с законами регулирования* (7), (9) *или* (11) *является грубой в замкнутой области* $\Omega \subset R_+^2$, *содержащей внутри себя стационарную точку* $(\bar{x}, \bar{y})$. *Система* (1), (2) *с законом регулирования* (13) *является локально грубой в окрестности точки* $(\bar{x}, \bar{y})$. *Системы* (1), (3) *и* (1), (2) *являются грубыми в замкнутой области* $\Omega \subset R_+^2$ *не содержащей внутри себя стационарную точку* $(\bar{x}, \bar{y})$. ♦

Утверждение 2 доказывается тем же способом, что и утверждение 1.

5. АНАЛИЗ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ

Как видно из работы [2], подход параметрического регулирования предоставляет возможность регулирования параметров, которые входят в уравнения математической модели мультипликативно, и это также видно из рассматриваемой модели (1). Поэтому, естественно представить мультипликативные эффекты параметрического регулирования развития рыночной экономики как результат изменения регулируемых параметров на соответствующие их приращения.

Процесс возникновения мультипликативных эффектов проиллюстрируем на полученных выше результатах выбора оптимальных законов параметрического регулирования на уровне одного параметра n_0 — нормы накопления, соответствующей равновесной траектории развития.

В результате решения задачи выбора оптимального закона параметрического регулирования получены законы вида (7), (9), (11) и (13), которые обеспечили прирост критериев K_1, K_2, K_3 и K_4, соответственно на 14,60, 0,1, 14,61 и −35,36 %. Эти изменения критериев (мультипликативный эффект) имеют место благодаря приращениям регулируемых параметров $\Delta\mu(t) = k_{3,1}\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}$ и $\Delta n_0(t) = -k_{4,2}\frac{x(t)-x(0)}{x(0)}$ с различными значениями настраиваемых коэффициентов — результатам применения подхода параметрического регулирования.

В кризисной экономике, так же, как и в растущей, действует инвестиционный мультипликатор, только с обратным знаком. Подобно тому, как в здоровой, растущей экономике имеет место мультипликатор инвестиций, точно так же в кризисной экономике включается мультипликатор неплатежей. Например, в России в середине 1990-х гг. 1 руб. внутреннего государственного долга (своевременно не выплаченные из бюджета зарплата и социальные трансферты) оборачивался потерей 5—6 руб. в совокупном объеме ВВП, тогда как в растущей российской экономике середины 2000-х гг. 1 руб. госрасходов приносил чуть более двух рублей краткосрочного прироста ВВП [8].

Заметим, что в период кризиса, когда падает уровень жизни, возрастает предельная склонность к потреблению, а следовательно, растет значение инвестиционного мультипликатора. Таким образом, значение мультипликатора максимально именно в тот период, когда воздействие мультипликационного эффекта на экономику наиболее разрушительно [9]. В этой «несимметричности» мультипликационных эффектов заключается одна из решающих причин того, что спад физических объемов производства всегда происходит быстрее, чем послекризисное восстановление макроэкономической системы.

Отмеченный эффект гистерезиса объясняется и моделируется на основе сочетания прямых и обратных связей в макроэкономических системах. Предельная склонность к сбережениям прирастает тем быстрее, чем выше совокупная эффективность инвестиций, но эта эффективность растет тем медленнее, чем выше предельная склонность к сбережениям. В результате возникает хорошо известная модель «хищник — жертва», описываемая системой дифференциальных уравнений типа Лотки—Вольтерра. Решением этой системы уравнений являются периодические или (в зависимости от условий) почти периодические функции, динамика которых позволяет без труда объяснить циклические колебания предельной склонности к сбережениям, а, следовательно, и отмеченные выше «пульсации» инвестиционного мультипликатора.

Моделирование цикличности экономической динамики, не учитывающее этих естественно возникающих пульсаций мультипликатора, обычно требует введения дополнительных (и иногда довольно искусственных и сложных) предположений, связанных с наличием индуцированных запаздывающих по времени инвестиций, т. е. с неким «расщеплением» мультипликационного эффекта, позволяющим объяснить продолжительную фазу экономического подъема и короткую фазу спада [10].

Разумеется, исследуя (и стимулируя) любые мультипликационные эффекты, необходимо помнить о том, что они действуют с определенными лагами и на определенных временных горизонтах. Кроме того, нельзя упускать из виду, что мультипликационные эффекты сопровождаются изменениями общего уровня цен и процентной ставки. Стимулирование совокупного спроса при помощи «кейнсианских» мер поднимает общий уровень цен, и это обстоятельство решающим образом влияет на проблему «сложения» (взаимного наложения) мультипликационных эффектов.

В частности, в этом заключается основная причина так называемого эффекта вытеснения. Рост госрасходов влечет за собой стимулирование совокупного спроса, что увеличивает процентную ставку и тем самым сужает поле для приложения частных инвестиций. Таким образом, объем частных инвестиций может снижаться вследствие роста государственных расходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, представленные в данной статье, заключаются в следующем,

— исследована структурная устойчивость рассматриваемой математической модели для компактных множеств фазового пространства без параметрического регулирования и с параметрическим регулированием;

— найдены оптимальные законы параметрического регулирования развития рыночной экономики на уровне одного экономического параметра для различных классов задач;

— определены фазовые траектории рассматриваемой математической модели циклической динамики без параметрического регулирования и с параметрическим регулированием;

— оценены мультипликативные эффекты параметрического регулирования развития рыночной экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *On the* market economy development parametrical regulation theory / A.A. Ashimov, K.A. Sagadiyev, Yu.V. Borovskiy, et al. // Kybernetes, The international journal of cybernetics, systems and management sciences. — 2008. — Vol. 37, N 5. — P. 623—636.
2. *Элементы* теории параметрического регулирования эволюции экономической системы страны / А.А. Ашимов, Ю.В. Боровский, Н.А. Искаков и др. — М.: Физматлит, 2009. — 96 с.
3. *О выборе* эффективных законов параметрического регулирования механизмов рыночной экономики / А.А. Ашимов, Ю.В. Боровский, О.П. Волобуева, Ас.А. Ашимов // Автоматика и телемеханика. — 2005. — № 2. — С. 105—112.
4. *Развитие* и применение теории параметрического регулирования эволюции экономической системы на базе одной неоклассической модели оптимального роста / А.А. Ашимов, К.А. Сагадиев. Ю.В. Боровский и др. // Автоматика и телемеханика. — 2008. — № 8. — С. 113—119.
5. *Дубовский С.В.* Объект моделирования — цикл Кондратьева // Математическое моделирование. — 1995. — Т. 7. — № 6. — С. 65—74.
6. *Статистический* ежегодник Казахстана / Под ред. К.С. Абдиева. — Алматы: Агентство Республики Казахстан по статистике, 2004. — 598 с.
7. *Баутин Н.Н.*, *Леонтович Е.А.* Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. — М.: Наука, 1990. — 488 с.
8. *Нижегородцев Р.М.* Сценарии неравновесной динамики и ключевые альтернативы макроэкономической политики России // Экономика и управление собственностью: Научно-практический журнал. — 2008. — Спец. вып. — С. 32—39.
9. *Нижегородцев Р.М.* Мировой экономический кризис и перспективы глобальной экономики // Мировой экономический кризис: теория, методология, практика / Под ред. А.А. Абишева, Т.И. Мухамбетова. — Алматы: Экономика, 2009. — С. 737—770.
10. *Акаев А.А.* Вывод общего уравнения экономической динамики с нелинейным акселератором и анализ его решений // Тр. семинара «Время, хаос и математические проблемы»: Вып. 4 / Сост. А.И. Козко, А.С. Печенцов. — М.: КДУ, 2009. — С. 183—202.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

Ашимов Абдыкаппар Ашимович — академик НАН Казахстана, д-р техн. наук, зав. лабораторией, Институт проблем информатики и управления, г. Алматы, Казахстан, ✉ Ashimov@ipic.kz,

Боровский Юрий Вячеславович — д-р экон. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем информатики и управления, г. Алматы, Казахстан,

Новиков Дмитрий Александрович — д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, зам. директора, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-93-31, ✉ novikov@ipu.ru,

Нижегородцев Роберт Михайлович — д-р экон. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 335-60-37, ✉ bell44@rambler.ru,

Султанов Бахыт Турлыханович — гл. науч. сотрудник, Институт проблем информатики и управления, г. Алматы, Казахстан.