

## **Эколого-экономический подход к моделированию циклических колебаний в экономике**

*Статья посвящена проблемам регулирования экономических циклов. В основу положено развитие синергетико-экологической модели «хищник-жертва» с учетом аннигиляции жертв, позволяющей моделировать и прогнозировать экономические циклы. Рассмотрено влияние регулирующих параметров, включая доступность и стоимость ресурсов на долгосрочное развитие экономических систем.*

### **Введение**

Вот уже несколько десятков лет большое внимание ученые всего мира уделяют междисциплинарному направлению «синергетика». На современном этапе это направление представляет собой самую современную теорию эволюции очень больших и сложных открытых систем [1].

В состоянии стабильного равновесия экономические системы, как известно, вообще не могут находиться, а их нормальное состояние – динамическое равновесие. Это положение весьма характерно для трансформационной экономики Украины, которая находится в состоянии «устойчивого неравновесия», а ее динамика соответственно, рассматривается как движение от одного неравновесного состояния к другому. Таким образом, теория неравновесных процессов для экономики Украины обретает особую онтологическую и научную значимость.

История развития цикличности свидетельствует, что причиной первых длительных циклов (порядка 8 лет) стал переход от ручного к машинному труду. Еще в 20-х гг. XIX в. наукой были зафиксированы колебательные процессы периодичностью 7-11 лет, в основе которых лежит устойчивая повторяемость кризисов. Эти колебания получили название «торгово-промышленные циклы» (или «циклы Жуглара», по имени их первооткрывателя). В середине XIX в. эти циклы стали рассматриваться в связи с самой природой капиталистического общества как имманентная характеристика его развития. Тогда же возникло предположение о наличии более долговременных колебаний в экономике. Эмпирически это зафиксировал Х. Кларк, а К. Маркс вписал гипотезу в более широкий контекст теории колебательного процесса капиталистического воспроизводства. Им были исследованы короткие циклы капитализма, завершающиеся периодическими кризисами перепроизводства. Это истина, которую Маркс вывел за несколько десятков лет до того, как она, благодаря Кейнсу, получила право гражданства в буржуазной политической экономии.

И все же мировая наука связывает теорию длинных волн (с периодом 48-55 лет) с именем советского экономиста-статистика Н.Д. Кондратьева, исследовавшего в 20-е

---

*Ильяшенко Максим Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, преподаватель кафедры электроэнергетики Сумского государственного университета; Маценко Александр Михайлович, аспирант кафедры экономики Сумского государственного университета.*

годы фактический материал о рыночной конъюнктуре за два столетия. Именно в его работах теория длинных волн обрела черты целостного учения.

#### *Постановка проблемы*

Предложенная статья посвящена развитию простейшей синергетической модели типа «хищник-жертва», в основе которой наблюдение, свидетельствующее о том, что получение доходов и осуществление расходов не совпадают во времени. Нелинейная цикличность вызвана простейшими психологическими мотивами поведения людей, которые заключаются в принятии управленческих решений под влиянием внешних факторов, и управлением существующим состоянием системы.

С одной стороны, разработанная модель носит обобщенный характер и не учитывает многих тонкостей ввиду феноменологического описания, но с другой – она отличается своей универсальностью и в той или иной степени применима для разнообразных нелинейных процессов, которые вынуждают людей манипулировать простейшими приемами для формирования оптимального алгоритма поведения. К ее недостаткам можно отнести сложность определения коэффициентов, которые динамически меняются на протяжении циклов, что означает ее полукачественное описание. Вместе с тем эта модель позволяет правильно оценить основные закономерности поведения экономики.

#### *Описание модели*

В основу разработанной модели положена популяционная экологическая модель «хищник-жертва» с учетом аннигиляции жертв [2].

В нашем случае использовались такие переменные и параметры:

$x$  – удельные доходы (далее уд. доходы) на единицу капитала;

$y$  – удельные расходы (далее уд. расходы) на единицу капитала;

$\gamma_1$  – коэффициент «монопольности». Чем выгоднее положение подсистемы, тем больше  $\gamma_1$ ;

$\gamma_2$  – коэффициент отвлечения ресурсов на дополнительные расходы;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий ограниченность ресурсов;

$\beta$  – коэффициент, пропорциональный убыли уд. расходов, необеспеченных доходами;

$\gamma_3$  – коэффициент прироста уд. расходов, обеспеченных доходами.

Таким образом, приходим к системе двух нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \gamma_1 x - \gamma_2 xy - \alpha x^2 \\ \frac{dy}{dt} = -\beta y + \gamma_3 xy \end{cases}, \quad (1)$$

Ее решение можно получить численными методами (рис. 1). Полагая коэффициенты  $\gamma_1=0,9$ ;  $\gamma_2=1$ ;  $\alpha=0,2$ ;  $\beta=0,8$ ;  $\gamma_3=1$ , получим решение, приведенное на рис. 1.

Предложенная модель проста и основывается на элементарных психологических реакциях людей. В итоге мы получаем циклические колебания, состоящие из 4 фаз (рис. 2).

**Фаза оживления.** На начальном этапе данной фазы начинают расти удельные доходы и продолжают падать удельные расходы. Пик фазы характеризуется резким

ростом уд. доходов и относительным постоянством уд. расходов. Фаза сопровождается подъемом экономической активности, ростом рыночной конъюнктуры, возрастанием выпуска после его падения.

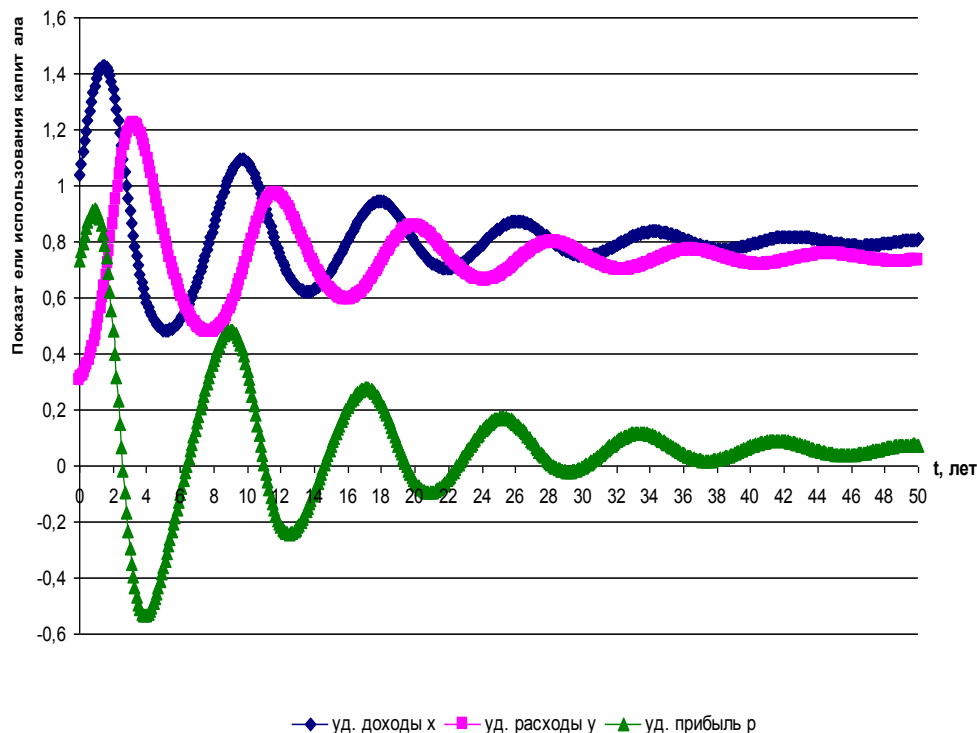


Рисунок 1 – Результат решения системы уравнений (1) при следующих коэффициентах  $\gamma_1=0,9$ ;  $\gamma_2=1$ ;  $\alpha=0,2$ ;  $\beta=0,8$ ;  $\gamma_3=1$

**Фаза экспансии.** Из рис. 2 можно видеть, что уд. доходы продолжают расти, при этом уровень уд. расходов также начинает повышаться. Массово внедряются изобретения, сделанные в фазе падения и депрессии. Активно развиваются молодые отрасли. Производства развиваются экстенсивно, за счет новых рынков. Поощряется конкуренция, растет международная торговля. Кредиты ликвидны, предложение кредита превышает спрос. Финансовая ситуация стабильна, рецессии немногочисленны и коротки. В центре внимания экономистов, политиков и избирателей – вопросы долговременного экономического роста [3]. Повышаются уровень цен, ставка заработной платы и ставка процента. Неизбежным следствием такого развития событий является переход от роста к спаду [4].

**Фаза рецессии.** Данная фаза характеризуется падением уд. доходов и резким ростом уд. расходов, которые к концу фазы выходят на максимум.

В предыдущих фазах банки расширяли кредит, это сопровождалось ростом цен и искусственным увеличением емкости рынка сбыта. У банков возник разрыв между величиной обязательств, подлежащих оплате по предъявлению, и ликвидными

## ЧАСТИНА 2 НАУКОВІ ПОВІДОМЛЕННЯ

запасами. Чтобы устранить разрыв, банки ограничивают кредит и повышают ставку процента [5]. Происходит снижение деловой активности, падение производства, уровня занятости и доходов. На этой стадии производство сокращается (темпы прироста становятся отрицательными), растет безработица и снижается совокупный спрос [4].

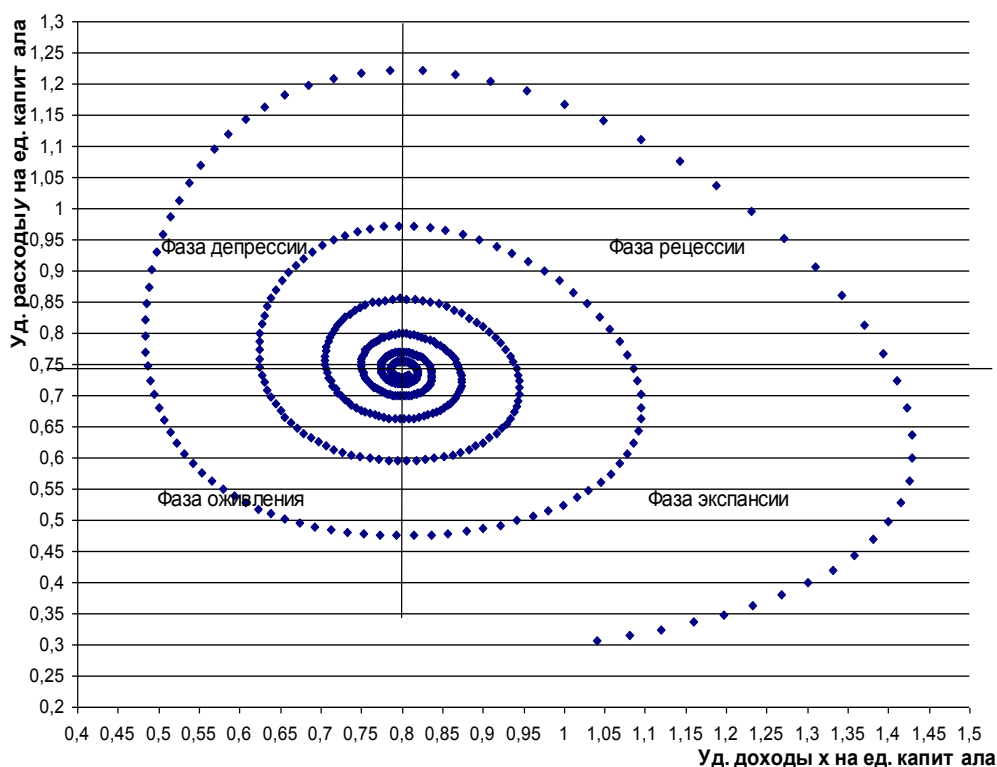


Рисунок 2 – Фазовый портрет развития экономических циклов  
( $\gamma_1=0,9$ ;  $\gamma_2=1$ ;  $\alpha=0,2$ ;  $\beta=0,8$ ;  $\gamma_3=1$ )

**Фаза депрессии.** Уд. доходы продолжают снижаться, одновременно начинают падать и уд. расходы. Происходит снижение процентных ставок. Наблюдается потеря интереса общества к политике в пользу экономики. Низкая инфляция, почти нулевые процентные ставки и кредит ни давать, ни брать никто не хочет. Очень низкий спрос, перепроизводство в устаревших отраслях экономики. Национальный доход продолжает снижаться, но темпы падения замедляются.

Причинами цикла могут быть как слабые, так и сильные воздействия на систему, выводящие ее из равновесия. При слабом воздействии возникает «равновесный» цикл, при сильном – «неравновесный». Под «неравновесным» циклом будем понимать цикл с большим отклонением параметров системы от равновесного состояния, соответственно «равновесному» циклу будут соответствовать небольшие отклонения параметров с более равномерными по времени фазами. Предложенная модель описывает оба вида. Рис. 1 свидетельствует о плавном переходе «неравновесного» цикла в «равновесный».

Для «неравновесных» циклов характерны большие амплитуды прибыльности, уд. доходов и расходов, резкие смены фаз (игольчатость), фазы колебаний разной длительности.

#### *Анализ разработанной модели*

1) Рассмотрим нашу модель.

Анализируя «неравновесные» и «равновесные» циклы из рисунков 1 и 2, можно сделать очевидный вывод, что у «равновесных» циклов длительность фаз является более однородной во времени.

Для системы уравнений (1) найдем равновесные значения уд. доходов и уд. расходов:

$$x_{равн} = \frac{\beta}{\gamma_3}, \quad y_{равн} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} - \frac{\alpha \cdot \beta}{\gamma_2 \cdot \gamma_3} \quad (2)$$

Тогда коэффициент равновесной уд. прибыли составит

$$p_{равн} = x_{равн} - y_{равн} = \frac{\beta}{\gamma_3} \left( 1 + \frac{\alpha}{\gamma_2} \right) - \frac{\gamma_1}{\gamma_2}. \quad (3)$$

2) Рассмотрим также, как влияет изменение предложенных коэффициентов на конечные результаты (табл. 1):

-  $\gamma_1$  показывает, насколько остро растет уд. прибыль в первой фазе (табл. 1 п. 1).

С ростом коэффициента «монопольности»  $\gamma_1$  растут амплитуда и скорость изменения показателей уд. дохода и уд. расхода в «неравновесных» циклах. Но в перспективе оказывается, что  $\gamma_1$  не влияет на уровень равновесных уд. доходов (2), но зато с увеличением рассматриваемого коэффициента прямо пропорционально увеличивается уровень уд. расходов  $y$  и обратно пропорционально уменьшается уровень равновесной уд. прибыли  $p$  (табл. 1 п. 1).

Результат оказывается парадоксальным. Его можно пояснить на примере сырьевых обществ, которые ориентируются на «быстрые» результаты и получают доходы от продажи на мировых рынках основных видов сырья: нефти, газа, металла, руды и т.д.

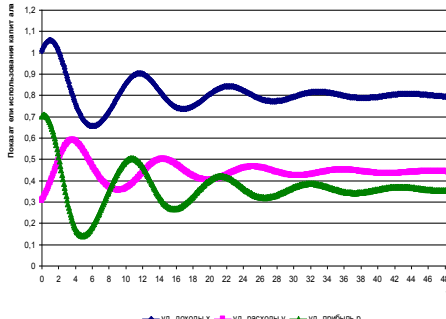
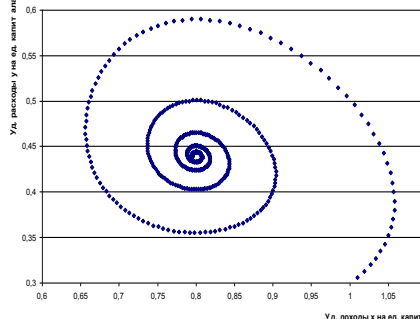
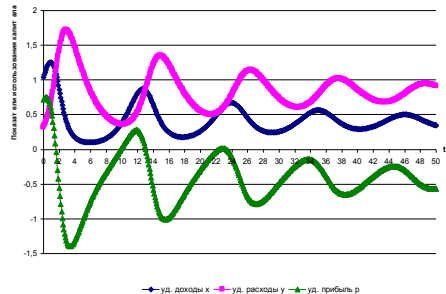
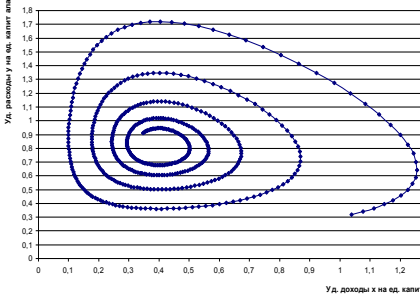
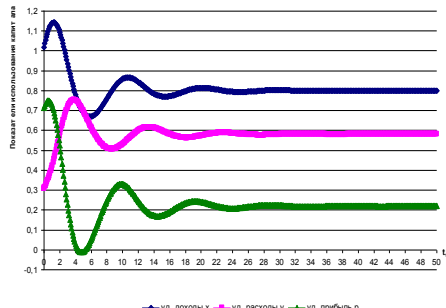
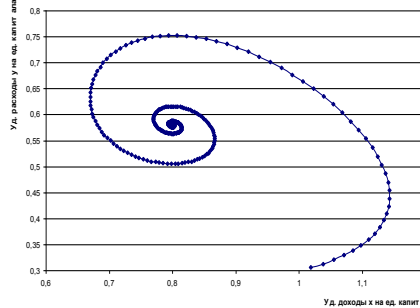
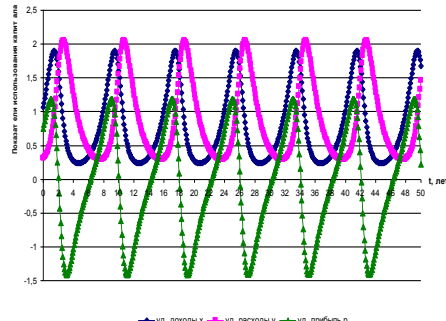
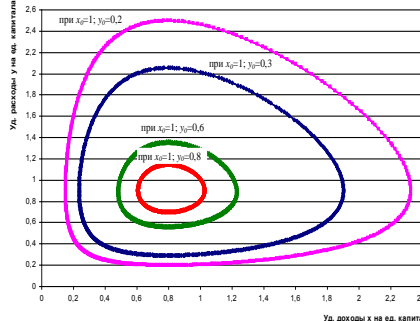
Оказывается, что при ориентировании экономики на продажу сырьевых ресурсов сильно начинают отставать в развитии другие отрасли, такие, как информационная, предоставления услуг и т.д. Вперед выходят страны, владеющие технологиями, с помощью которых возможно эффективно использовать природное сырье. Таким образом, технологии являются одним из основных звеньев при использовании естественных ресурсов [6];

- коэффициент  $\beta$  показывает, как быстро уменьшаются расходы, которые не связаны с получением доходов (проанализируем п. 2. табл. 1).

Чем больше  $\beta$ , тем больше равновесный уровень уд. доходов и тем меньше становится равновесный уровень уд. расходов. То есть  $\beta$  прямопропорционально увеличивает равновесную уд. прибыль. Это ожидаемый результат, поскольку производительность системы будет тем выше, чем раньше мы сможем отказаться от непроизводительных затрат.

На практике изменение  $\beta$  зависит от доли постоянных расходов. Чем больше уровень постоянных расходов, тем неустойчивее система, поскольку смена их уровня затруднительна.

Таблиця 1 – Влияние коэффициентов на поведение модели

№ п/п	Поведение показателей во времени	Фазовый портрет развития циклов	Параметры
1			$\gamma_1=0,6;$ $\gamma_2=1;$ $\alpha=0,2;$ $\beta=0,8;$ $\gamma_3=1$
2			$\gamma_1=0,9;$ $\gamma_2=1;$ $\alpha=0,2;$ $\beta=0,4;$ $\gamma_3=1$
3			$\gamma_1=0,$ $9;$ $\gamma_2=1;$ $\alpha=0,$ $4;$ $\beta=0,$ $8;$ $\gamma_3=1$
4			$\alpha=0;$ $\gamma_1=0,$ $9;$ $\gamma_2=1;$ $\alpha=0;$ $\beta=0,$ $8;$ $\gamma_3=1.$

Выясним, каким образом отражается на поведении модели изменение коэффициента конкуренции за ресурсы  $\alpha$ . Для этого рассмотрим и проанализируем п. 3. табл. 1.

Анализ свидетельствует, что чем больше  $\alpha$ , тем меньше амплитуда уд. прибыли в фазе оживления и экспансии, однако в долгосрочном плане  $\alpha$  совершенно не влияет на равновесный уровень уд. доходов, но зато равновесный уровень уд. расходов зависит от  $\alpha$  обратно пропорционально, а, значит, равновесная уд. прибыль зависит от  $\alpha$  прямо пропорционально. Т.е. с ростом  $\alpha$  растет равновесный уровень уд. прибыли.

С увеличением коэффициента  $\alpha$  происходит уменьшение длительности всех фаз во времени, т.е. возрастает скорость затухания циклов, более того, если  $\alpha=0$ , то *циклы вообще не затухают* (табл. 1 п. 4). В случае, когда  $\alpha=0$ , фазовые траектории являются стабильными за неучетом стохастических перебросов. Верно и более сильное утверждение: в случае положительного  $\alpha$  *система становится неустойчивой*.

Если ресурсы неограниченные, но дорогие (большое  $\alpha$ ), то хотя это ограничивает скорость роста экономики в фазах оживления и экспансии, но приводит к росту равновесной уд. прибыли, что способствует быстрому развитию экономики. Также очень важно, что дорогие ресурсы приводят к быстрому подавлению колебаний (с ростом  $\alpha$ ). Примером этому являются страны, которые лишены полезных ископаемых, продуктивных земельных ресурсов и поэтому вынуждены разрабатывать высокие технологии и ориентироваться на долгосрочные периоды стабилизации экономики.

Таким образом, важно для долгосрочных перспектив развития экономики развивать энерго- и ресурсосберегающие технологии, что возможно лишь при высокой стоимости ресурсов. Также очевидно, что экономическая модель с высокой стоимостью трудовых ресурсов более предпочтительна.

### **Выводы**

Рассмотренная модель универсальна, с одной стороны, но с другой – она многое не учитывает. Это обусловлено прежде всего тем, что поведение людей невероятно сложно предсказать. Здесь можно давать только вероятностные оценки. Экономисты могут и не подозревать о существовании разработанных дифференциальных уравнений, хотя их управленческие решения будут хорошо укладываться в тенденции развития системы.

На самом деле равновесное состояние постоянно «мигрирует» и говорить можно о квазиравновесии на отдельных временных промежутках, тем не менее при сравнительно стабильных коэффициентах модель может быть применима на макроэкономическом уровне.

Необходимо отметить, что психологическая составляющая приводит к существенному *отличию реального поведения от прогнозируемого*. Тем не менее численное моделирование предоставляет возможность моделировать циклы с учетом основных психологических особенностей. Данный подход будет развит в дальнейших исследованиях.

Разработанная модель позволяет:

- сгенерировать экономический цикл;
- учесть влияние ограниченности ресурсов, что приводит к затуханию колебаний, уменьшению удельных расходов и росту прибыльности;
- показать, каким образом влияют рассматриваемые коэффициенты на длительность цикла, на коэффициенты уд. прибыльности, расходов и т.д.;
- смоделировать системы как на макро-, так и микроуровнях;
- увидеть движение капитала во времени;

## ЧАСТИНА 2 НАУКОВІ ПОВІДОМЛЕННЯ

---

- спрогнозировать величину затрат и получение прибыли;
  - принять правильные решения путем влияния на предложенные коэффициенты в неравновесных состояниях системы;
  - смоделировать разнообразные циклы, независимо от причин их возникновения;
  - оценить время на возвращение системы в состояние равновесия;
  - рассмотреть все фазы цикла во времени.
1. Баранцев Р.Г. Синергетика в современном естествознании. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 144 с.
  2. Томпсон Дж. М. Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 254 с.
  3. <http://offline.computerra.ru/2002/474/22642/> - И к нам вернется Кондратьев...
  4. [http://www.finec.ru/rus/parts/macroeconomics/chap9/9\\_1/9\\_1.html](http://www.finec.ru/rus/parts/macroeconomics/chap9/9_1/9_1.html) – Понятие экономического цикла.
  5. [http://www.dvgups.ru/METDOC/EKMEN/ETEOR/EK\\_TEOR/METOD/O\\_EK\\_TEOR/Krav3.htm](http://www.dvgups.ru/METDOC/EKMEN/ETEOR/EK_TEOR/METOD/O_EK_TEOR/Krav3.htm) – Причины экономических циклов.
  6. Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / Под ред. В.Л. Иноземцева. – М.: Academia, 1999. – 640 с.

*Получено 05.12.2006 г.*

***М.В. Ілляшенко, О.М. Маценко***

***Еколого-економічний підхід до моделювання циклічних коливань в економіці***

*Стаття присвячена проблемам регулювання економічних циклів. В основу покладений розвиток синергетико-екологічної моделі «хижак-жертва» з урахуванням анігіляції жертв, що дозволяє моделювати і прогнозувати економічні цикли. Розглянуто вплив регулюючих параметрів, включаючи доступність і вартість ресурсів на довгостроковий розвиток економічних систем.*