
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Синергетический подход к макроэкономическим исследованиям

© 2021 г. В.А. Кармалита

В.А. Кармалита,

Частный консультант, Канада; e-mail: karmalita@videotron.ca

Поступила в редакцию 12.05.2021

Аннотация. Данная работа подтверждает принципиальную возможность применения принципов синергетики в макроэкономических исследованиях. В ней показано, что наличие в экономических системах типологием всех наук приводит к необходимости обращаться при их изучении также к дисциплинам естественных и технических наук в макроэкономических исследованиях. Игнорирование этого факта тормозит развитие фундаментальных экономических знаний и, как следствие, обуславливает использование метафизических понятий в моделях изучаемых систем. Поскольку отмеченная междисциплинарность свойственна синергетике, то исследована возможность ее применения в макроэкономике. На примере моделирования экономических систем показано, что их сущность (нелинейная пространственно-временная структура) соответствует основным положениям синергетики. Это позволяет использовать ее инструментарий в задачах макроэкономического анализа. На основе синергетического подхода предложена стохастическая модель экономических циклов, объясняющая их феномен и обеспечивающая количественное (параметрическое) описание циклов. Новизна модели, описывающей циклы в виде случайных колебаний, связана с вероятностным описанием инвестиционной функции и восприятием экономической системы как материального объекта с определенными свойствами. Согласно предложенной модели колебания совокупного дохода вызваны как экзогенной (флуктуации инвестиций), так и эндогенной (эластичность экономической системы) причинами. Значения отклонений доходной функции относительно ее долговременного тренда определяются интенсивностью инвестиционных флуктуаций и эффективностью экономической системы. Продолжительность циклов связана с совокупным богатством системы и ее динамическим коэффициентом, характеризующим способность системы не только противостоять колебаниям инвестиций, но и устранять их последствия. Показана возможность практического применения предложенной модели для управления экономическим циклом.

Ключевые слова: объект науки, предмет науки, синергетика, экономическая система, инвестиционная функция, совокупный доход, экономические циклы, случайные колебания.

Классификация JEL: A12, C33, E32.

DOI: 10.31857/S042473880017525-6

ВВЕДЕНИЕ

Тип научной деятельности определяется объектами исследований, в соответствии с которыми принято (Денисова, 2012, с. 61) деление наук на естественные, технические и социальные (общественные). Естественные науки изучают объекты материального мира, а также связанные с ними явления. В технических науках исследуются результаты человеческой деятельности в виде искусственно созданных объектов со всеми их связями и происходящими в них процессами. Наконец, в социальных науках объектами исследований являются общество и его особенности, а также отношения между людьми и их группами.

Экономическая наука отнесена (Самуэльсон, Нордхаус, 2005, с. 16) к социальным, хотя в действительности она включает объекты всех видов наук:

- естественных — население, натуральные ресурсы, природные явления;
- технических — искусственные объекты, производящие товары и оказывающие услуги;
- социальных — связи (отношения) между людьми в процессах производства товаров/услуг, их распределения и обмена.

Следует отметить, что объекты науки — объективно существующая реальность, подвергающаяся исследованиям. В результате их исследований возникают предметы науки в виде абстрактных (математических) моделей свойств объекта (Жуланов, 2013, с. 18). Вследствие вышеуказанных междисциплинарных свойств экономических объектов их исследования требуют обращения также и к естественным и техническим наукам. Игнорирование этого факта неизбежно замедляет развитие фундаментальных знаний в экономической науке. В результате применяемые в ней модели (Кузнецов, 2011) включают *метафизические понятия*, компенсирующие недостаток знаний о свойствах исследуемых объектов. В качестве примера таких понятий могут служить в неоклассической теории — принцип рыночного клиринга, а в кейнсианской — предположение о росте сбережений индивидуума с увеличением его дохода. Метафизические принципы характеризует невозможность их количественной верификации. Как известно, Макс Планк допускал включение в физику только того, что подлежит измерениям (Квон, 2020). Действительно, какой показатель может быть мерой равенства спроса и предложения в данный момент времени? Как можно количественно оценить здравый смысл индивидуума, обосновывающий фундаментальный психологический закон Кейнса?

Использование метафизических понятий присуще естественному развитию наук и может быть весьма продуктивным. В 1618 г. Ренэ Декарт ввел понятие «светоносный эфир», использовавшееся в физике вплоть до появления теории относительности в начале XX в. Но поскольку модели с метафизическими понятиями согласуются только с известными фактами, они постоянно модифицируются (улучшаются) по мере появления новых знаний и наблюдений. Улучшение происходит в соответствии с эвристикой: больше знаний об объекте исследований — меньше метафизики в его моделях. По мере исключения метафизических понятий дальнейшее углубленное изучение свойств объекта позволяет уточнять модель для достижения необходимой точности их количественного описания.

С точки зрения системного анализа присутствие в объекте экономических исследований предметов разнообразных наук позволяет представить его в виде совокупности разнотипных подсистем. Такой подход характерен для постнеклассического этапа (вторая половина XX — начало XXI в.) развития науки, которому присуща *парадигма синергетики* (Денисова, 2012, с. 64). Термин «синергетика», введенный Германом Хакеном в 1969 г., обозначает учение об общих закономерностях, действующих в системе, состоящей из подсистем, взаимодействие которых может приводить к самоупорядочиванию ее поведения. В силу возможной разнотипности подсистем нахождение общих принципов возникновения некоторой макроструктуры требует кооперирования различных дисциплин (Хакен, 1980), т.е. использования предметов разнообразных наук.

Базируясь на сходстве математических моделей, синергетика позволяет отвлечься от природы (типа) рассматриваемых систем и, по мнению Хакена, может обнаружить общие принципы, применимые в том числе и к общественным наукам (экономике, социологии, психологии). Его утверждение подтверждено многолетней практикой применения принципов синергетики в экономической науке. Более того, сегодня термин «экономическая синергетика» (Занг, 1999) является общеупотребительным.

Следует отметить, что синергетическая парадигма присутствует в основном как методологическая практика экономической науки (Очерки по экономической синергетике, 2017). Примеров использования инструментария синергетики в конкретных экономических исследованиях явно недостаточно. Этот факт мотивировал автора рассмотреть принципиальную возможность применения положений синергетики к задачам макроэкономического анализа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сущность синергетики определяют следующие базовые положения (Синергетике 30 лет, 2000):

- взаимодействие подсистем приводит к возникновению пространственно-временных структур;
- рассматриваемые системы подвергаются внешним и внутренним колебаниям;
- системы являются нелинейными и открытыми;
- во многих случаях система имеет математическое описание.

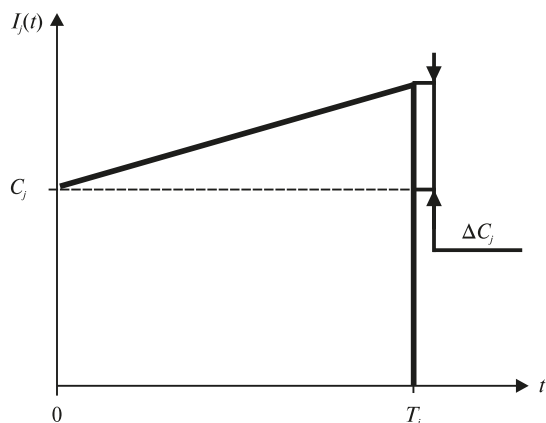


Рис. 1. Инвестиционный цикл во временной области

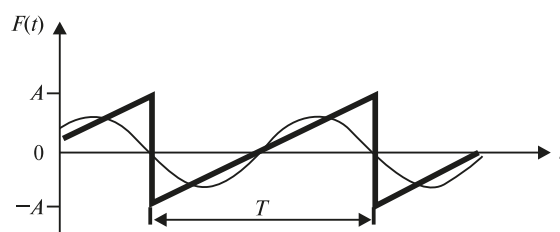


Рис. 2. Фрагмент пилообразной функции

Обратимся к макроэкономической задаче разработки моделей разнообразных систем (региональных, национальных, глобальной). Как материальный объект экономическая система представляет собой географически распределенную (в двух координатах) многомерную (несколько входов/выходов) систему. Иначе говоря, ее выход $X(t)$ и вход $Y(t)$ являются векторами с размерностями k и m соответственно.

Рассмотрим один из входов экономической системы в виде инвестиционной функции, которую обозначим как $I(t)$. Ее значение представляет собой результат действий N агентов, каждый из которых порождает инвестиционный цикл $I_j(t)$, характеризуемый начальным капиталом C_j , длительностью периода T_j и возвратом инвестиций (доходностью) ΔC_j . При этом полагаем, что изменение возврата инвестиций во времени происходит линейным образом (рис. 1). Переменные значения инвестиционного цикла соответствуют периоду так называемой пилообразной функции $F(t)$, представленной на рис. 2.

Эта периодическая функция может быть представлена бесконечным рядом Фурье:

$$F(t) = \frac{2A}{\pi} \sum_{p=1}^{\infty} \frac{1}{p} \sin(2\pi p t / T).$$

На рис. 2 показана первая ($p = 1$) гармоника $\sin(2\pi f t)$ с частотой $f = 1/T$. Отсюда следует правомерность утверждения о подверженности экономических систем внешним колебаниям.

Рассмотрим в качестве одного из выходов экономической системы функцию дохода $X(t)$, значения которой являются монетарной оценкой в момент времени t произведенных продуктов и предоставленных услуг. Обычно она представляется оценкой в виде валового внутреннего продукта, который является интегральным значением $X(t)$ за некоторый период времени. В качестве примера на рис. 3 показаны темпы изменения мирового валового продукта во времени (Korotaev, Tsirel, 2010, p. 7).

Очевидно, что наблюдаемые на рисунке флуктуации мирового валового продукта имеют явно нерегулярный, т.е. случайный, характер. Спектральный анализ этих флуктуаций (ibid, p. 9) показывает

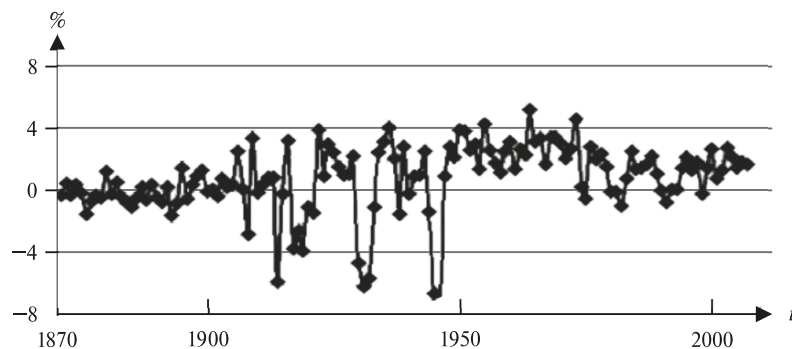


Рис. 3. Темпы изменения мирового валового продукта

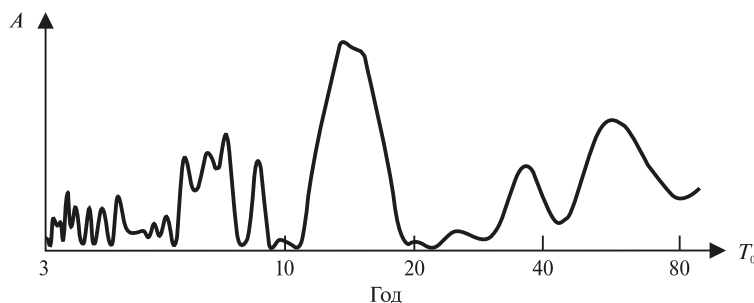


Рис. 4. Амплитудный спектр флуктуаций мирового валового продукта

их многокомпонентность, т.е. наличие нескольких циклов (рис. 4, T_0 — период цикла). Таким образом, представленные примеры подтверждают, что в экономических системах присутствуют как внешние (вход), так и внутренние (выход) колебания.

Напомним, что синергетика имеет отношение только к нелинейным системам. Анализ взаимосвязи циклов, представленных на рис. 4, показал (Korotaev, Tsirel, 2010, р. 29), что цикл (ритм) Кузнецова является третьей гармоникой волны Кондратьева ($T_0 \approx 52-53$ года). Этот факт и известная тригонометрическая формула $\sin^3 2\pi ft = 0,75 \sin 2\pi ft - 0,25 \sin 6\pi ft$ допускают кубическую нелинейность рассматриваемой системы.

Экономические системы взаимодействуют с внешней средой (рынок) в форме материи и информации, т.е. их можно классифицировать как открытые. Поскольку при этом взаимодействии происходит поставка (потеря) продукции (материи), то экономические системы являются диссипативными (Willems, 1972, р. 321–352). Как известно (Ashby, 1962, р. 255–278), в распределенных диссипативных системах вследствие присущих им механизмов самоорганизации могут возникать (исчезать) локализованные и взаимосвязанные объекты. В случае экономических систем такими объектами являются хозяйствующие субъекты, а элементами самоорганизации — их создание (учреждение), банкротство, слияние, поглощение, реструктуризация и пр.

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что экономические системы представляют собой нелинейную пространственно-временную структуру, которая со времен Ньютона математически описывается в виде уравнений в частных производных (УЧП): $\Lambda X(t) = Y(t)$. Математический оператор Λ (система дифференциальных уравнений) связывает вход $Y(t)$ с состоянием системы $X(t)$ при заданных граничных (взаимодействие с рынком) условиях. Поскольку наивысшей характеристикой экономической динамики является «ускоренное развитие», то оператор Λ содержит УЧП второго порядка. Другими словами, УЧП будут содержать первую (скорость) и вторую (ускорение) частные производные выхода $X(t)$ по времени.

Продemonстрированное соответствие сущности экономических систем базовым положениям синергетики обосновывает возможность применения ее инструментария в задачах макроэкономики. В качестве примера рассмотрим синергетический подход к задаче моделирования одномерной модели экономических циклов.

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

Если вход и выход распределенной системы проинтегрировать (суммировать) внутри установленной области (регион, страна, мир), то она будет иметь сосредоточенные параметры, которые зависят только от времени и не зависят от координат. В случае когда рассматриваются только один вход и один выход экономической системы, ее модель будет одномерной. Рассмотрим экономическую модель «инвестиции → доход», которую можно математически записать в виде следующего нелинейного дифференциального уравнения $F(t, I, X, \dot{X}, \ddot{X}) = 0$. Вход этой модели — инвестиционная функция $I(t)$, выход $X(t)$ — совокупный доход.

Значения инвестиционной функции $I(t)$, как указывалось ранее, являются результатом независимых действий N агентов. Это допускает случайное начало каждого инвестиционного цикла j , т.е. момент времени t_j будет иметь случайную и равновероятную позицию в пределах длительности цикла T_j (рис. 5). Здесь ξ_{ji} — значение случайной величины $Z_j(t)$ в момент времени t_j , т.е. $\xi_{ji} = Z_j(t_j)$. Величина Z_j имеет равномерное распределение вследствие линейности функции $I_j(t)$. Ее функция плотности вероятности ($\Phi П В$) $f(\xi_j)$ представлена на рис. 6.

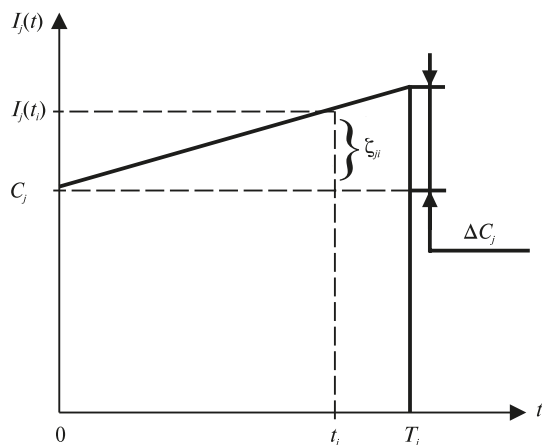
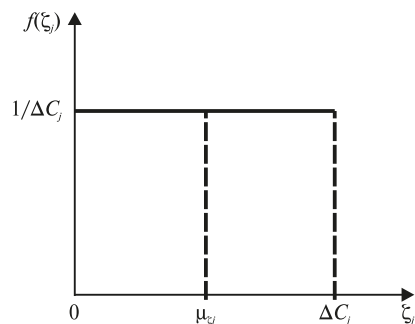


Рис. 5. Вероятностное описание инвестиций


 Рис. 6. ФПВ случайной величины Z_j

Характеристиками ФПВ являются математическое ожидание $\mu_{\xi_j} = 0,5\Delta C_j$ и дисперсия $D_{\xi_j} = \Delta C_j^2 / 12$. В принципе инвестиции могут завершаться и убытками, т.е. математическое ожидание μ_{ξ_j} может быть как положительной, так и отрицательной величиной.

Таким образом, инвестиционный цикл j может быть записан в виде $I_j(t) = C_j + Z_j(t) = M_j + E_j(t)$, где $M_j = C_j + \mu_{\xi_j}$, $E_j(t) = Z_j(t) - \mu_{\xi_j}$. При этом случайная величина $E_j(t)$ имеет нулевое математическое ожидание и дисперсию $D_{E_j} = D_{\xi_j}$.

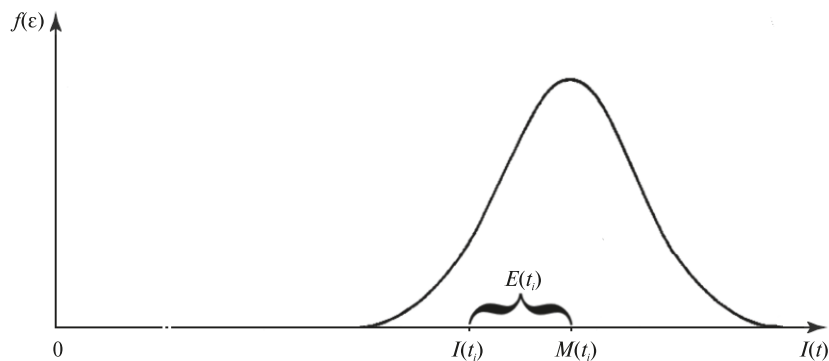
Представление входа экономической системы в виде суммы всех ($N < \infty$) существующих инвестиционных циклов позволяет записать $I(t)$ в виде суммы детерминированной $M(t)$ и случайной $E(t)$ составляющих:

$$I(t) = \sum_{j=1}^N I_j(t) = \sum_{j=1}^N M_j + \sum_{j=1}^N E_j(t) = M(t) + E(t). \quad (1)$$

Детерминированная компонента $M(t)$ определяет долгосрочный тренд инвестиций, а случайная $E(t)$ — флуктуацию их значений вокруг тренда.

Вследствие суммирования большого числа независимых случайных величин $E_j(t)$, имеющих равновероятное распределение, ФПВ процесса $E(t)$ стремится к Гауссовскому распределению с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $D_E = \sigma_E^2 = \sum_{j=1}^N (\Delta C_j^2 / 12)$. Значение D_E всегда ограничено ввиду конечности ΔC_j и числа агентов N . Вид ФПВ $f(\epsilon)$ представлен на рис. 7.

Инвестиционные циклы отличаются своей продолжительностью: у одних она составляет дни, у других — годы или даже десятилетия. Это означает, что флуктуации $E(t)$ представляют собой широкополосный случайный процесс с независимыми и конечными значениями. Математической моделью такого процесса может быть гауссовский белый шум.


 Рис. 7. ФПВ процесса $E(t)$ в момент времени t_i

Аналогично тому, как инвестиции были представлены детерминистической и случайной составляющими, совокупный доход $X(t)$ можно представить суммой тренда и флуктуаций его значений. Из графика на рис. 3 следует, что амплитуды флуктуаций на порядок меньше значений доходной функции, т.е. циклы представляются как ее малые отклонения. Поэтому для описания случайной составляющей $\Xi(t)$, соответствующей конкретному циклу с периодом T_0 , можно линеаризовать уравнение (1), сведя его к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка:

$$\ddot{\Xi}(t) + 2h\dot{\Xi}(t) + (2\pi f_0)^2 \Xi(t) = E(t). \quad (2)$$

Описание малых отклонений линейными уравнениями соответствует практике моделирования нелинейных динамических систем (Боголюбов, Митропольский, 1974).

Уравнение (2) описывает динамику упругой системы с собственной частотой f_0 и коэффициентом демпфирования (затухания) h (Болотин, 1979). Напомним, что если в момент времени t_0 упругая система кратковременно выводится из равновесного состояния внешним воздействием, то затем она колеблется относительно состояния равновесия с периодом $T_0 = 1/f_0$ в течение некоторого времени. Амплитуда этих колебаний затухает экспоненциально $A(t) = A(t_0)e^{-h(t-t_0)} \cos 2\pi f_0(t-t_0)$. Подобное поведение называется собственными (свободными) колебаниями упругой системы. В случае когда ее входом является белый шум $E(t)$, выход системы представляет собой случайные колебания (Болотин, 1979), частоты которых сосредоточены в окрестностях значения f_0 .

Для параметрического описания случайных процессов используется понятие «*динамическая формирующая система*». Оно позволяет рассматривать наблюдаемый процесс как выход некоторой гипотетической системы, входом которой является белый шум. Параметры этой системы используются для описания (характеристики) наблюдаемого процесса. Таким образом, случайные колебания (рассматриваемый цикл) описываются параметрами соответствующей упругой системы: собственной частотой $f_0 = 1/T_0$ и коэффициентом демпфирования h .

Уравнение (2) успешно применялось (Кармалита, 2018) для моделирования колебательных процессов в объектах как естественных (турбулентное горение), так и технических (вибрации турбомашин) наук. Подтвержденный на практике изоморфизм рассматриваемой модели случайных колебаний допускает ее применение и для исследований циклических процессов в экономических системах. Параметры этой модели должны иметь интерпретацию, соответствующую концептуальным основам экономики.

Рассмотрим коэффициент демпфирования h , который характеризует, например в механических системах, потери энергии. В случае экономической системы его можно интерпретировать как описание ее издержек. Иначе говоря, чем меньше значение h , тем меньше потери при производстве товаров или оказании услуг. Однако подобная интерпретация пока не подкреплена каким-либо количественным соотношением значений h и издержек экономических систем. Поэтому в случае экономических циклов предлагается другой показатель эффективности системы — ее среднеквадратический коэффициент усиления в виде $K_\sigma = \sigma_\xi / \sigma_\varepsilon$. Здесь σ_ξ и σ_ε — среднеквадратические отклонения колебаний доходной и инвестиционной функций соответственно. Чем больше K_σ , тем выше эффективность системы. Другими словами, при одном и том же уровне инвестиций система с большим коэффициентом усиления приносит больший доход.

Что касается собственной частоты упругой системы f_0 , она является *модой* случайных колебаний. Ее величина, как правило, связана с колеблющейся массой. Последняя является одной из характеристик материальных объектов, например их способности сохранять движение в отсутствие внешних воздействий. Это свойство именуется инерцией объекта. Чем больше масса, тем медленнее изменяется движение объекта, а в случае его колебаний — тем меньше собственная частота колебаний.

Аналогом массы в экономической системе может выступать ее включенное (совокупное) богатство W_I , определяемое как монетарное выражение всех ее активов (производство, рабочая сила, материальные запасы и финансы). Чем больше совокупное богатство системы, тем дольше она может функционировать при отсутствии инвестиций (нулевом входе).

Возможность использовать совокупное богатство системы в качестве меры ее инерционных свойств подтверждает и следующее определение W_I : «Совокупное богатство — мера, предназначенная для определения того, находится ли общество на траектории устойчивого развития» (Polansky et al., 2015). Эта формулировка вызывает прямую ассоциацию экономического термина «*устойчивая траектория*» с физическим термином «*инерционное движение*». Поэтому представляется уместным полагать, что инерционные свойства (способность сохранять текущее состояние) экономической системы могут характеризоваться

ее совокупным богатством. Логичным представляется и обратно пропорциональное влияние значения W_I на собственную частоту системы, т.е. чем больше совокупное богатство, тем меньше f_0 .

Следует отметить существование определенного соотношения между компонентами совокупного богатства конкретной системы, устанавливаемое механизмом ее самоорганизации. Другими словами, каждая экономическая система имеет четко определенную структуру своего совокупного богатства, которая может деформироваться под воздействием инвестиционных колебаний. Свойство противостоять такому изменению структуры W_I и восстанавливать ее после устранения внешнего воздействия определяет жесткость (эластичность) системы. Примем в качестве характеристики *эластичности* экономической системы ее динамический коэффициент w_s .

Принимая во внимание все вышесказанное, можно постулировать следующий вид взаимосвязи собственной частоты экономической системы с ее совокупным богатством $f_0 = 1/T_0 = \sqrt{w_s/W_I} / 2\pi$. Если размерность w_s представляет собой монетарную единицу, деленную на квадрат единицы времени (руб./год²), то f_0 будет измеряться числом циклов в год, а ее период — годами. Динамический коэффициент w_s можно интерпретировать как ускорение, с которым перераспределяется совокупное богатство между его активами при изменении структуры W_I .

Потенциальные возможности использования стохастической модели (2) в макроэкономических исследованиях можно проиллюстрировать следующим образом. Как известно, одним из инструментов денежно-кредитной политики является основная (базовая) процентная ставка. В соответствии со стохастической моделью циклов изменение процентной ставки приводит к изменению интенсивности колебаний инвестиций $E(t)$. Напомним, что их дисперсия определяется числом существующих *инвестиционных циклов* N и их *доходностью* ΔC_j : $D_\varepsilon = \sum_{j=1}^N (\Delta C_j^2) / 12$.

Изменение процентной ставки влияет и на интенсивность колебаний доходов $\Xi(t)$, поскольку $\sigma_\Xi = K_\sigma \sigma_\varepsilon$. Иначе говоря, манипулирование процентной ставкой позволяет влиять на амплитуду экономического цикла.

Однако изменение процентной ставки влияет и на значения инвестиционного тренда $M(t)$, который также включает доходность инвестиций ΔC_j : $M(t) = \sum_{j=1}^N (C_j + 0,5\Delta C_j)$. Поэтому изменение процентной ставки будет приводить к однонаправленному изменению как интенсивности цикла, так и долгосрочного тренда доходной функции. Другими словами, действия, направленные, например, на уменьшение интенсивности (амплитуды) цикла, приведут и к уменьшению значений долговременного тренда доходов.

В отличие от этого предложенная модель (2) позволяет избирательно воздействовать на цикл изменением процентной ставки только инвестиций с длительностями, коррелированными с его периодом T_0 (Karmalita, 2020). Рассмотрим свойства линейной упругой системы в частотной области, которые представляются ее амплитудной $A(f)$ и фазовой $\Phi(f)$ частотными характеристиками (рис. 8). $A(f)$ определяет

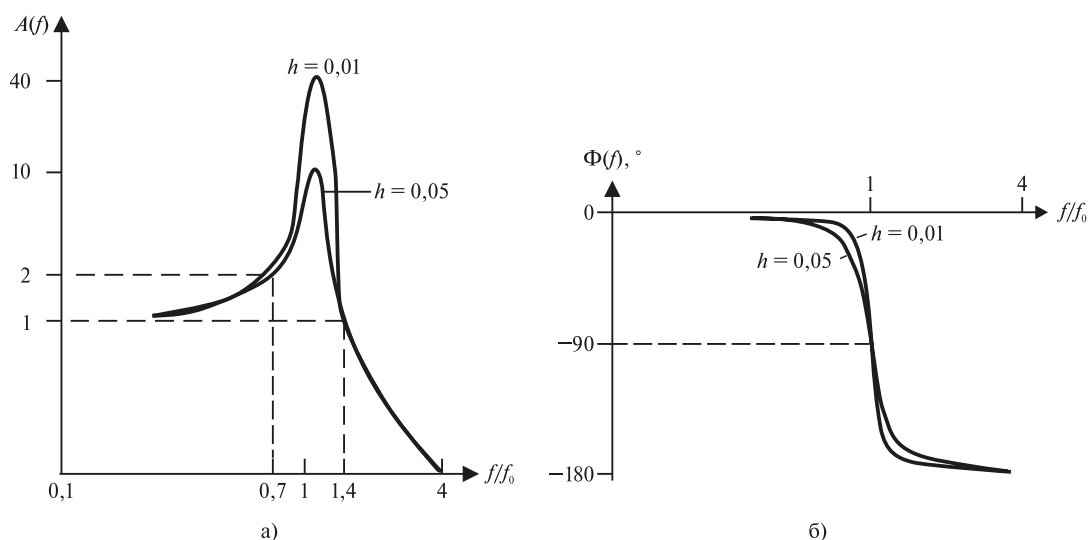


Рис. 8. Амплитудная (а) и фазовая (б) частотные характеристики упругой системы

соотношение амплитуд гармоник входного и выходного процессов упругой системы, а $\Phi(f)$ — разность их фаз, что эквивалентно запаздыванию во времени выходного процесса по отношению ко входному.

На рис. 8а показано, что основная часть энергии (амплитуды) случайных колебаний концентрируется в диапазоне частот $0,7 \leq f/f_0 \leq 1,4$. Этот факт позволяет адресно воздействовать на цикл путем изменения процентной ставки инвестиций с длительностями в следующем интервале времени $1/(1,4f_0) \leq T_j \leq 1/(0,7f_0)$.

На рис. 8б видно, что ощутимые результаты этого действия проявятся с временной задержкой в четверть периода цикла ($T_0/4$). Поэтому сдерживание вышеуказанных инвестиций обеспечивает уменьшение эффекта последующего падения значений $\Xi(t)$.

Более того, при приближении экономического цикла к своему пику стимулирование инвестиций с длительностями $T_j < 1/(1,4f_0)$ и $T_j > 1/(0,7f_0)$ приведет к росту значений долговременного тренда доходов. Это позволит компенсировать последующий циклический спад доходной функции.

Естественно, изложенный подход к управлению циклом требует разработки соответствующих инструментов монетарной и фискальной политик для стимулирования (сдерживания) инвестиций с определенной длительностью.

ВЫВОДЫ

Присутствие в экономических системах типологием естественных, технических и социальных наук требует использования их дисциплин при исследовании экономических объектов. Игнорирование этого факта замедляет развитие фундаментальных экономических знаний и приводит к необходимости использовать метафизические понятия в моделях экономических систем.

Показано, что сущность экономических систем соответствует базовым положениям синергетики, что позволяет применять ее принципы в задачах макроэкономического анализа. На основе синергетического подхода предложена стохастическая модель экономических циклов, объясняющая их феномен и обеспечивающая количественное (параметрическое) описание циклов. Предлагаемый нами подход базируется только на одном допущении, а именно на постулировании линейного изменения во времени значения инвестиционной функции. Как правило, доходность инвестиций на порядок меньше их значений, а возможные отличия реальной доходности относительно линейного тренда можно трактовать как малые отклонения. Они представляют собой величины, которые на один-два порядка меньше значений инвестиционной функции, что обосновывает правомерность использования линейного изменения доходности инвестиций.

Согласно предложенной нами стохастической модели экономические циклы вызваны как экзогенной (колебания инвестиций), так и эндогенной (эластичность системы) причинами. Амплитуда отклонений функции доходов определяется интенсивностью инвестиционных колебаний и коэффициентом усиления (эффективностью) экономической системы. Продолжительность циклов зависит от совокупного богатства системы и ее динамического коэффициента, характеризующего способность системы противостоять внешним воздействиям и устранять их последствия. Все вышеизложенное позволяет интерпретировать циклы как «естественный шум», сопровождающий функционирование рыночной экономики вследствие случайного характера осуществляемых инвестиций.

Продемонстрирована возможность практического применения стохастической модели циклов в задачах макроэкономического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А.** (1974). Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука. 504 с. [**Bogolubov N.N., Mitropol'skii Yu.A.** (1974). *Asymptotic methods in theory of nonlinear oscillations*. Moscow: Nauka. 504 p. (in Russian).]
- Болотин В.В.** (1979). Случайные колебания упругих систем. М.: Наука. 336 с. [**Bolotin V.V.** (2010). *Random vibrations of elastic systems*. Berlin: Springer Verlag. 468 p. Translated from the Russian. (Originally published by Moscow: Nauka, 1979).]
- Денисова Л.Б.** (2012). Систематика знаний и модели классификации наук // *Научный вестник Омской академии МВД России*. Вып. 1 (44). С. 60–64. [**Denisova L.B.** (2012). Systematics of knowledge and classification

- models of sciences. *Scientific Bulletin of the Omsk Academy of the Internal Affairs Ministry of Russia*, 1 (44), 60–64 (in Russian).]
- Жуланов А.Л.** (2013). К вопросу о соотношении понятий объекта и предмета науки в классическом и неклассическом естествознании // *Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета (ПГПУ). Серия № 3. Гуманитарные и общественные науки*. Вып. 1. С. 17–26. [**Zhulanov A.L.** (2013). Towards the relationship between the concepts of the object and the subject of science in classical and non-classical natural science. *Bulletin of Perm State Humanitarian Pedagogical University (PSHPU). Series 3. Humanities and Social Sciences*, 1, 17–26 (in Russian).]
- Занг В.-Б.** (1999). Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. Пер. с англ. М.: Мир. 335 с. [**Zhang W.-B.** (1999). *Synergetic economics: Time and change in nonlinear economics*. Translated from the English by Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. 361 p. (in Russian).]
- Кармалита В.А.** (2018). Цифровая обработка случайных колебаний. 2-е изд. М.: Инновационное машиностроение. 88 с. [**Karmalita V.** (2019). *Digital processing of random oscillations*. Berlin, Boston: De Gruyter. 95 p.]
- Квон Д.Х.** (2020). Постоянная номер один всей Природы // *Независимая газета*. № 269. [**Kvon D.Kh.** (2020). The constant number one of all Nature. *Nezavisimaya Gazeta*, 269 (in Russian).]
- Кузнецов Ю.А.** (2011). Математическое моделирование экономических циклов: факты, концепции, результаты // *Экономический анализ: теория и практика*. № 18 (225). С. 42–56. [**Kuznetsov Yu. A.** (2011). Mathematical modeling of economic cycles: Facts, concepts, results. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 8 (225), 42–56 (in Russian).]
- Очерки по экономической синергетике (2017). Под ред. В.И. Маевского, С.Г. Кирдиной-Чэндлер, М.А. Дерябиной. М.: ИЭ РАН. 182 с. [*Essays on economic synergetics* (2017). V.I. Mayevsky, S.G. Kirdina-Chandler, M.A. Deryabina (Eds.). Moscow: Institute of Economics, Russian Academy of Sciences. 182 p. (in Russian).]
- Самуэльсон П.Э., Нордхаус В.Д.** (2005). Экономика. Пер. с англ. М.: Вильямс. 680 с. [**Samuelson P., Nordhaus W.** (2005). *Economics*. Moscow: Vil'jams. Translated from the English (Originally published by McGraw-Hill: Irwin, 18th ed., 2004. 800 p.) (in Russian).]
- Синергетике 30 лет (2000). Интервью с профессором Г.Хакеном // *Вопросы философии*. № 3. С. 53–61. [*30 Years of synergetics* (2000). Interview with Professor Hermann Haken. *Voprosy Filosofii*, 3, 53–61 (in Russian).]
- Хакен Г.** (1980). Синергетика. Пер. с англ. М.: Мир. 404 с. [**Haken H.** (1980). *Synergetics*. Translated from the English. Moscow: Mir. 404 p. (in Russian).]
- Ashby W.R.** (1962). Principles of the self-organizing system. In: H. Foerster von, G. Zopf (Eds.). *Principles of Self-Organization*. London: Pergamon Press, 255–278.
- Karmalita V.** (2020). *Stochastic dynamics of economic cycles*. Berlin, Boston: De Gruyter, 106 p.
- Korotaev A.V., Tsirel S.V.** (2010). Spectral analysis of world GDP dynamics: Kondratieff waves, Kuznets swings, Juglar, and Kitchin cycles in global economic development, and the 2008–2009 economic crisis. *Structure and Dynamics*, 4 (1), 1–56.
- Polansky S., Bryant B., Hawthorne P., Johnson J., Keeler B., Pennington D.** (2015). Inclusive wealth as a metric of sustainable development. *Ann. Rev. of Environment and Resource*, 40, 445–466.
- Willems J.C.** (1972). Dissipative dynamic systems. Part I: General theory. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 45, 321–352.

Synergetic approach to macroeconomic studies

© 2021 V.A. Karmalita

V.A. Karmalita,*Private consultant, Canada; e-mail: karmalita@videotron.ca*

Received 12.05.2021

Abstract. This paper confirms the principal possibility of using synergetics in macroeconomic studies. It noted that the presence in economic systems of all science typologies requires using the subjects of natural and engineering sciences for the study of economic objects as well. Ignoring this fact hinders the development of fundamental economic knowledge and, as consequence, conditions of the use of metaphysical concepts in developed models. Since the above interdisciplinarity is inherent in synergetics, its applicability in macroeconomics is considered. On the example of modeling economic systems, it is demonstrated that their essence (nonlinear space-time structure) corresponds to the basic provisions of synergetics. Therefore, its tools are eligible in the tasks of macroeconomic analysis. As an example, this paper proposes the stochastic model of economic cycles explaining their phenomenon as well as providing the quantitative (parametric) description of cycles. Novelty of the model describing the cycles as random oscillations is tied to the probabilistic description of the investment function and the perception of the economic system as a material object with certain inherent properties. According to a proposed model, the income oscillations are induced by both exogenous (investment fluctuations) and endogenous (economic system elasticity) causes. The values of fluctuations of the income function around its long-term trend relate to the value of intensity of investment fluctuations as well as the gain (efficiency) of the economic system. The duration of the cycle is related to the inclusive wealth of the system and its dynamic factor, which characterizes the system's ability to withstand investment fluctuations as well as to eliminate their consequences. Prospects of practical applications of the considered model were demonstrated on the example of cycle management.

Keywords: object of science, subject of science, synergetics, economic system, investment function, income function, economic cycles, random oscillations.

JEL Classification: A12, C33, E32.

DOI: 10.31857/S042473880017525-6