

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

О. С. Виноградова¹

МГУ имени М. В. Ломоносова, экономический факультет
(Москва, Россия)

А. С. Крупкина²

Банк России (Москва, Россия)

К. А. Пирпойнт³

Институт общей физики имени А. М. Прохорова РАН
(Москва, Россия)

Д. В. Кокосинский⁴

МГУ имени М. В. Ломоносова,
факультет вычислительной математики и кибернетики
(Москва, Россия)

УДК: 336.711

ВЫЯВЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ДИНАМИКЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Статья представляет современный междисциплинарный подход к выявлению циклических процессов в динамике реального ВВП Российской Федерации и его детерминант с целью идентификации стадий экономического цикла и поиска возможных индикаторов раннего предупреждения спадов и кризисов.

В динамике реального ВВП после применения алгоритмов фильтрации к трендовой составляющей методом спектрального анализа выявлены многокомпонентные нелинейные циклические колебания. Свойства этих колебаний исследованы путем преобразования временных рядов базового показателя цикла (реального ВВП) и его ключевых макроэкономических детерминант из временной развертки в частотную методом Фурье. Авторами выявлено наличие циклических гармоник со средней про-

¹ Виноградова Ольга Сергеевна — старший преподаватель экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова; e-mail: o.s.gluhova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9575-9794.

² Крупкина Анна Сергеевна — заведующая сектором департамента денежно-кредитной политики, Банк России; e-mail: krupkinaas@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5745-1262.

³ Пирпойнт Ксения Александровна — научный сотрудник Института общей физики имени А. М. Прохорова РАН; e-mail: pierpoint@lst.gpi.ru, ORCID: 0000-0002-9686-2101.

⁴ Кокосинский Денис Владиславович — магистр факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М. В. Ломоносова; e-mail: deniskokoss@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5642-8725.

должительностью 3,13 года и асинхронность циклических колебаний других макроэкономических показателей по отношению к базовому циклу, связанная с относительной автономностью представляемых этими показателями секторов экономики, обуславливающей разную силу и скорость реакции субъектов этих секторов на внешние и внутренние шоки. Взаимосвязь динамик реального ВВП и его детерминант, представляющих ключевые сектора экономики, оценена на основании сдвига фаз их гармоник и определения взаимного спектра (кросс-спектра) для каждой пары «ВВП — один из детерминантов», что обнаружило и позволило оценить количественно фазы смещения их временных рядов. Полученные результаты выявляют многокомпонентность циклической составляющей реального ВВП, а период смещения во временной области циклических колебаний динамики рассматриваемых макроэкономических показателей по отношению к динамике реального ВВП может быть использован для оценки глубины и скорости проникновения внешних и внутренних шоков в реальный сектор из других секторов экономики, а также для определения периода восстановления экономики после воздействия этих шоков.

Ключевые слова: циклические колебания ВВП и его компонентов, метод Фурье, спектральный анализ, кросс-спектр, временной лаг динамики проциклических макроэкономических показателей.

Цитировать статью: Виноградова, О. С., Крупкина, А. С., Пирпойнт, К. А., & Кокосинский, Д. В. (2021). Выявление циклических закономерностей в динамике макроэкономических показателей Российской Федерации на основе спектрального анализа. *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, (5), 3–28. <https://doi.org/10.38050/01300105202151>.

O. S. Vinogradova

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Economics
(Moscow, Russia)

A. S. Krupkina

Bank of Russia (Moscow, Russia)

K. A. Pierpoint

Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences
(Moscow, Russia)

D. V. Kokosinskii

Lomonosov Moscow State University, Faculty
of Computational Mathematics and Cybernetics
(Moscow, Russia)

JEL: G28

CYCLIC DYNAMIC PATTERNS OF RUSSIAN MACROECONOMIC INDICATORS FOUND BY SPECTRAL ANALYSIS

The paper proposes a contemporary interdisciplinary method to identify consistent patterns within cyclical dynamics of GDP and its macroeconomics determinants in the

Russian Federation. This method may contribute to better recognition of the stages of economic cycle and of potential early predictors to recessions and crises. We first identify the trend component of Russian GDP and then apply the spectral data analysis to its cyclical component which reveals its multi-frequency, and non-linear vibrations. These vibrations are then further investigated by transforming time series data on GDP and its determinants into a frequency spectrum series via Fourier transform techniques. Wavelength scanning of selected macroeconomic indicators shows the basic economic cycle of real GDP with duration time of approx. 3.13 years. Other procyclical indicators nevertheless discover asynchronous behavior towards GDP due to the relative autonomy of the sectors standing behind these indicators. Their autonomy lies behind differences in reaction forces (shifts) and periods (lags) to both internal and external shocks. We estimate differentials between the dynamics of GDP and its determinants by evaluating phase deviations of their pairwise harmonic components, mutual pairwise phase shifts, and by comparison of their pairwise cross-spectrum. The one of output is the quantification of time lags between GDP and key macroeconomic indicators of individual economic sectors. This result reveals the complexity of GDP dynamics that sends an aliased rather than a unit signal to economic agents. Our decomposition of this signal into signals from key economic sectors and quantification of phase discrepancies between sectoral signals may contribute to findings in early crisis predictors. We also estimate the depth and velocity of shocks penetrations into both economy as a whole and its particular sectors.

Keywords: cyclical fluctuations of GDP, Fourier transform technique, spectral analysis, cross-spectrum, time lag, pro-cyclical macroeconomic indicators.

To cite this document: Vinogradova, O. S., Krupkina, A. S., Pierpoint, K. A., & Kokosinskiy, D. V. (2021). Cyclic dynamic patterns of Russian macroeconomic indicators found by spectral analysis. *Moscow University Economic Bulletin*, (5), 3–28. <https://doi.org/10.38050/01300105202151>.

Введение

При разработке макропруденциальной и контрциклической политики идентификация стадий экономического цикла и поиск индикаторов раннего предупреждения спадов и кризисов остаются важной и до конца не решенной ни теоретически, ни практически задачей. Вклад данной статьи в решение этой задачи заключается в разработке и апробации метода выделения циклических компонент в экономических процессах с целью разделения долгосрочных и краткосрочных трендов развития.

В академической литературе, невзирая на множественность научных школ, прослеживается единство мнений относительно разделения трендовой и циклической составляющих экономической динамики (Lucas, Robert, 1977; Long, Plosser, 1983; Mankiw, Romer, 1991). Трендовая компонента ассоциируется с динамикой потенциального ВВП, т.е. с максимальным выпуском, которого экономика может устойчиво достичь в долгосрочной перспективе. Циклическая составляющая отслеживается по динамике фактического (наблюдаемого) ВВП и определяется отклонением реального ВВП от потенциального, т.е. колебанием фактического объема

совокупного выпуска относительно долгосрочного тренда. Именно циклическая компонента отображает экономические спады и кризисы, поэтому представляет для авторов данной статьи интерес к изучению.

Актуальность проблемы выявления циклической компоненты реального ВВП для идентификации стадий экономического цикла и поиска возможных индикаторов раннего предупреждения спадов, обусловленных краткосрочным понижательным движением конъюнктуры, возрастает в условиях текущего российского кризиса, когда страновые шоки предложения наложились на события в мировой экономике, имеющей общую тенденцию к замедлению темпов роста, а время, скорость и методы выхода из кризиса остаются предметом дискуссии. В этих условиях значительный научный и практический потенциал находится в междисциплинарном подходе.

Теория колебаний в физике и экономике

Концептуально экономические исследования, посвященные определению цикличности экономических процессов, подразделяются на два направления — *детерминистский* и *стохастический* подходы.

Положение о *детерминированности циклической динамики* экономических процессов основано на достаточно давней, относящейся еще ко временам маржиналистов, тенденции к применению достижений естественных наук для анализа экономики путем установления аналогий между общественной и физической системами¹.

Исследование цикличности в физике имеет длительную и прочную традицию. Еще И. Ньютоном был сформулирован принцип, положенный в основу классической механики, определяющий наличие обратной динамики в физических процессах (действию всегда есть равное и противоположное противодействие). В дальнейшем на основе этого принципа в классической механике для систем, совершающих колебания относительно точки равновесия, была введена физическая модель, получившая название «гармонический осциллятор». Это теоретическая модель, описывающая процесс, который возникает в системе в ответ на первоначальный импульс (в механике, например, таким импульсом является толчок маятника), соответствующий идеальным гармоническим колебаниям. Однако идеальные гармонические колебания (симметричные во временной развертке силе первоначального воздействия) на практике встречаются достаточно редко. Зачастую гармонические колебания являются сложными (многочастотными). Многочастотные колебания могут не соот-

¹ Еще Л. Вальрас писал, что «чистая экономическая теория — это наука, которая во всех отношениях схожа с физико-математическими науками». Walras L. *Elements of Pure Economics*. Homewood (Ill): Irwin, 1954, p. 71.

ветствовать простым синусоидальному или косинусоидальному законам, но, так как они получаются в результате комплексного взаимодействия одночастотных колебаний и определяются их наложением, то становятся сложными гармоническими (полигармоническими).

По аналогии с принципом циклических колебаний в классической механике (модель простого, или консервативного, гармонического осциллятора) в рамках детерминистского подхода к экономической цикличности рассматриваются простые гармонические колебания, возникшие в результате действия одной «силы». В разных концепциях этой «силой» назывались различные факторы, инициирующие начало колебательных движений экономической конъюнктуры. Например, К. Маркс связывал возникновение циклических колебаний с инвестиционной активностью (Маркс и Энгельс, 1956). К. Жугляр описал среднесрочные экономические циклы, которые возникают из-за перепроизводства и неравномерного распределения инвестиций (Schumpeter, 2008). Дж. Китчин объяснял существование циклов изменениями в объемах мировых запасов золота (Kitchin, 1923).

Концепция детерминированности экономических циклов неоднократно подвергалась критике за ее категоричность в определении причин и профиля циклических колебаний. Д. Опарин еще в 1928 г. опубликовал исследование, в котором указывал на то, что в динамике экономических показателей, характеризующих хозяйственную деятельность, не существует простых колебаний гармонического типа (Опарин, 1928). А. Бернс и У. Митчелл, проведя эмпирическое исследование динамики показателей, характеризующих производственную деятельность в США, не выявили в ней наличия простых гармонических колебаний (Mitchell, Burns, 1938). Аналогичные результаты, подтверждающие отсутствие таких колебаний в динамике реального ВВП, также были получены, например, в исследованиях Т. Сарджента (Sargent, 1978), Р. Кинга и С. Ребело (King, Rebelo, 1999). Поэтому экономическая наука вынуждена была обратиться к методам, способным выявлять колебания, имеющие более сложную динамику.

Развитие естественно-научных подходов к исследованию цикличности в физических процессах шло по пути определения все более сложных закономерностей динамических систем и поиска инструментария, способного описать эти закономерности. Так, например, нобелевский лауреат М. Планк, один из основателей квантовой механики, выявил наличие энтропии (необратимости процессов) квантовых систем, что в применении к системам осцилляторов формализовало более сложный вид динамики, описывающей функционирование таких систем, — «релаксационные колебания» (Klein, Planck, 1963), представляющие собой многочастотные колебания, образующие в совокупности как сложную циклическую, так зачастую и нециклическую динамику.

В изучении экономических процессов, так же как и физических, если рассматривать их эволюцию, наблюдается усложнение концептуальных подходов к выявлению причин и закономерностей циклических колебаний. Проблема цикличности в работах современных исследователей-экономистов изучается с позиции выявления недетерминированных закономерностей в развитии экономических процессов — так называемый *стохастический подход* (Diebolt, Doliger, 2006; Jones, 2014; Картвелишвили и др., 2018), что согласуется с естественно-научными представлениями о составных, сложных, взаимозависимых колебаниях многокомпонентных систем. В физике данному явлению посвящен отдельный блок исследований о взаимной синхронизации цепочки связанных периодических и квазипериодических осцилляторов — теория синхронизации (Battelino, 1988; Kuznetsov, Roman, 2009).

Стохастический подход к анализу цикличности макроэкономической динамики, родоначальниками которого считаются Е. Слуцкий и Р. Фриш, является альтернативой детерминистскому подходу. Несмотря на то что стохастический подход, так же как и детерминистский, различает в динамике макроэкономических показателей трендовую и циклическую компоненты, принципиальное отличие этих подходов заключается в определении закономерностей, присущих динамике циклической составляющей. В основе стохастического подхода лежит предположение о недетерминированности циклических колебаний (Slutzky, 1937), т.е. о невозможности точного прогнозирования момента начала и окончания цикла, а также однозначного определения причин, инициирующих циклические колебания. Но последователи данного научного течения не отрицают, что изменения циклической компоненты макроэкономических показателей все же происходят в соответствии с определенной закономерностью, заключающейся в том, что направление этих изменений имеет повторяющуюся динамику на каждой фазе цикла (Burda, Wyplosz, 2013), что согласуется с теорией синхронизации в физике.

Начало цикла в соответствии со стохастической теорией (в этом общность с детерминистским подходом) инициируется шоком (Frisch, 1933), при адаптации к которому макроэкономические агенты осуществляют стабилизационные контрмеры. Чем больше амплитуда отклонения циклической компоненты от линии тренда, тем сильнее очередной кризис и глубже его дно. В исследовании Д. Сорнетта и А. Джохансена (Sornette, Johansen, 2001) выявлено, что колебания циклической компоненты могут усиливаться в связи с возникновением и развитием дополнительных негативных макроэкономических шоков, способных приводить систему к кризису. Следовательно, кризис — это результат действия и взаимодействия множества различных внешних и внутренних факторов, определяющих состояние экономической системы в конкретный момент времени (Тинберген, 2007), и динамика макроэкономических

показателей в условиях кризиса определяется совокупностью многочастотных колебаний.

Обобщая исследования теории колебаний как в области физических процессов, так и экономических, авторы данной статьи определили собственный подход, предполагающий, что циклическая компонента реального ВВП представлена сложными многочастотными колебаниями, возникающими путем одновременного наложения колебаний его детерминант.

Методы анализа цикличности экономических процессов

Большинство методов изучения цикличности базируются на предположении о стремлении экономической системы к достижению динамического стохастического общего экономического равновесия, что определяет наличие циклической и трендовой компонент в динамике макроэкономических показателей и предполагает применение раздельного инструментария анализа этих компонент.

Наиболее часто встречающимся инструментом разделения долгосрочного тренда и среднесрочного цикла является фильтр Ходрика—Прескотта (Baxter, King, 1999; Claessens et al., 2012; Апокин и др., 2014; Zubarev, Trunin, 2017; Hiebert et al., 2018). Однако данный метод имеет общеизвестную проблему «конечной точки» (end-point bias problem), которая связана с высокой чувствительностью фильтра к добавлению новых наблюдений и приводит к смещению оценок значений тренда в последних точках выборки. Кроме того, при выборе параметра фильтра, определяющего степень гладкости тренда, отсутствует строгое фундаментальное обоснование, в результате чего результаты оценки при фильтрации обладают высокой волатильностью (Nelson, Kang, 1981; Harvey, Jaeger, 1993; Cogley, Nason, 1995), что, в свою очередь, влияет на точность оценки циклической компоненты и поэтому не отвечает задаче нашего исследования.

Поскольку циклические процессы отражаются в динамике нескольких макроэкономических показателей, различные инструменты многомерного анализа экономических циклов получили широкое распространение в теоретической и эмпирической литературе. В первую очередь это модели ненаблюдаемых компонент (модели в пространстве состояний, state space form), которые позволяют при помощи фильтра Калмана выделить ненаблюдаемую (трендовую) составляющую (ассоциирующуюся с изменением потенциального ВВП) из ряда наблюдаемых (фактических) значений ВВП (Kalman, 1960; Koopman, Lucas, 2005; Дубовский и др., 2015; Орлова, Егиев, 2015). Фильтр Калмана позволяет убрать компоненты квазишумовой динамики и экстремальные единичные отклонения на основании соответствия предсказанного состояния динамической системы и известных параметров управляющего на нее воздействия.

Но следует учесть, что применение фильтра Калмана без ввода априорной информации (например, функциональных зависимостей управляющего воздействия динамики проциклических макроэкономических индикаторов) определяет высокую вероятность ошибки измерения. Однако динамика проциклических макроэкономических индикаторов редко может быть описана простыми функциональными зависимостями, и этот факт побудил исследователей к поиску иных методов выявления циклической компоненты колебаний реального ВВП.

Усложнение инструментальных методов, способных выявлять циклическую компоненту в динамике макроэкономических показателей, происходило в двух направлениях. Во-первых, в направлении формализации сложных систем функциональных зависимостей нелинейной динамики макроэкономических индикаторов. Например, Д. Сорнетт для выявления циклической компоненты разработал систему формул (Sornette, Johansen, 2001), которые описывают линейные и нелинейные логопериодические колебания динамики макроэкономических показателей. Второе направление развития инструментальных методов анализа цикличности базируется на выявлении аналогий между физическими и экономическими процессами и, следовательно, определяет возможность применения инструментария естественных наук. Например, для анализа динамических изменений и выявления длинных циклов (циклов Кондратьева) в динамике реального ВВП Т. Кучински (Kuczynski, 1978), Р. Мец (Metz, 1992), А. В. Коротаев и С. В. Цирель (Коротаев, Цирель, 2010), применяют метод спектрального анализа. В работах К. Гренджера и М. Хатанака (Гренджер, Хатанака, 1972), К. Диболт и К. Долигера (Diebolt, Doliger, 2006) для выявления среднесрочных циклических колебаний (циклов Кузнецца) в динамике реального ВВП стран мира также применяется метод спектрального анализа.

Авторам данного исследования наиболее близок метод спектрального анализа для выявления циклической компоненты в динамике реального ВВП Российской Федерации, поскольку этот метод дает возможность учесть многочастотность колебаний. Спектральный анализ позволяет выявить закономерности в движении макроэкономических показателей как со строгой периодичностью, так и без строгой периодичности. В естественных науках данный метод широко применяется, например, для обработки сложнопериодического звукового сигнала, его фильтрации и удаления шума (Tkachenko, Lukin, 2010). П. Соренсен и Х. Витта-Джейкобсоном поддерживается аналогичная нашей концепция о сложной периодичности макроэкономической динамики (Sorensen, Whitta-Jacobsen, 2010), возникающей вследствие наложений циклической динамики нескольких макроэкономических показателей.

Метод спектрального анализа для выявления циклической компоненты в динамике реального ВВП России использовался, например, А. Н. Кле-

пачем и Г. О. Курановым (Клепач, Куранов, 2013). В статье авторы одновременно применяют историко-экономический и спектральный методы анализа временных рядов макроэкономических показателей за период с 1861 по 2012 г., что позволило выделить волнообразный характер происходивших в экономике процессов. Совокупность наложенных друг на друга циклов (долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных) может образовывать многочастотные колебания, соответствующие как гармоническому закону, так и хаотичному движению. Концептуальный подход А. Н. Клепача и Г. О. Куранова частично согласуется с подходом авторов данной статьи в определении характера колебаний макроэкономических индикаторов (полигармонические колебания), но А. Н. Клепач и Г. О. Куранов идентифицируют взаимное влияние друг на друга циклов разной длительности, а авторы данного исследования сосредоточиваются на выявлении сугубо краткосрочных циклических колебаний.

Применение метода спектрального анализа для выделения циклической компоненты реального ВВП Российской Федерации анонсировалось и в работе А. В. Полбина и А. А. Скроботова (Полбин, Скроботов, 2017). Авторы оперируют предложенной К. Гренджером в 1981 г. концепцией коинтегрированности временных рядов для анализа взаимосвязи реального ВВП и цен на нефть. Фактически коинтеграция означает, что одновременные колебания переменных подчинены некоей закономерности, а ее отсутствие определяет скорее всего наличие случайных выбросов в динамике рассматриваемых переменных, которые могут быть исключены методом сглаживания выбросов относительно долгосрочного тренда. А. В. Полбин и А. А. Скроботов для проверки полученных результатов оценки коинтегрирующей регрессии в своей работе применяют еще несколько методических приемов, например, для выявления трендовой составляющей — фильтр Ходрика—Прескотта (Hodrick, Prescott, 1997), а для выделения циклической компоненты — фильтр Кристиано—Фицджеральда (Christiano, Fitzgerald, 2003)¹. Но полученные авторами результаты при применении модели коинтегрирующей регрессии и фильтров выявили наличие в динамике реального ВВП трендовой составляющей и некоего стохастического процесса без явной периодичности.

Возможности метода спектрального анализа для выявления циклической компоненты в динамике реального ВВП России, а также в динамике его детерминант и редкость таких исследований в отечественной литературе свидетельствуют в пользу выбранного нами метода, который позволяет разложить сложную периодичность на определенном задачами нашего исследования временном интервале в ряд более простых ортого-

¹ Фильтр Кристиано—Фицджеральда математически представляет собой инструмент выявления высокочастотных колебаний, которые можно интерпретировать как нерегулярные стохастические колебания, но наличие в них цикличности совершенно не обязательно.

нальных функций, характеризующих уровень и интенсивность колебаний различных детерминант ВВП на разных частотах.

Асинхронность и автономность экономических процессов

Согласно господствующему в современной экономической науке представлению, возникновение циклических колебаний инициируется влиянием внешних и внутренних шоков на деятельность экономических агентов. Однако макроэкономические показатели под влиянием шоков меняются асинхронно, т.е. реакция одних индикаторов может проявляться с опережением по отношению к ключевой прокси-переменной (реальному ВВП), а других — с запозданием, что, например, показано в работе П. Кроули и К. Тромбли (Crowley, Trombley, 2014). Асинхронность реакции секторов экономической системы можно интерпретировать как сдвиг во времени динамических рядов макроэкономических показателей относительно динамического ряда ключевой прокси-переменной экономического цикла (реального ВВП).

Асинхронность динамики временных рядов макроэкономических показателей вызвана определенной автономностью соответствующих секторов (например, реального и банковского секторов, фондового и валютного рынков, государственных институтов) по отношению к экономической системе в целом.

Для прояснения понятия автономности субъектов экономической системы обратимся к *теории сигналов*, которая является подразделом использованной нами выше теории колебаний и поможет в данном случае объяснить, каким образом происходит асинхронное проникновение и распространение внешних и внутренних шоков на разных уровнях экономической системы. Первоначально теория сигналов была разработана для описания физических процессов передачи импульса от передатчика к приемнику. Генерируемые передатчиком импульсы инициируют возникновение изменений (например, в радиотехнике, механике и т.д.), когда система на приемном конце канала передачи сигнала на основании логических алгоритмов распознает сигнал как базовый. Для этого определяется критерий распознавания системой базового импульса, основанный на превышении уровня полезного сигнала в допустимом диапазоне частот над пороговым уровнем шума, рассчитанного для данной системы. При эмпирических проверках теории сигналов выявлено, что сигнал может генерироваться передатчиком, но приемник может его не принять или принять с искажениями. В связи с периодически возникающими ошибками такого рода сформулированы базовые принципы передачи, прохождения и приема сигналов.

Теория сигналов получила приложение и в экономической науке. Например, в работах нобелевских лауреатов М. Спенса (Спенс, 2002),

Дж. Акерлофа (Akerlof, 1970) и Дж. Стиглица (Stiglitz, 1979) рассмотрены способности экономических агентов к приему и обработке получаемых извне сигналов. Сущность теории сигналов применительно к экономическим проблемам заключается в том, что одна сторона (принципал) передает некоторую информацию другой стороне (агенту). Как отмечалось ранее, субъектам разных секторов экономики присуща некоторая автономность, что влияет на их способность принятия и обработки сигнала и на скорость реакции на сигнал. Концептуальное развитие данной теории получила в работах Л. Вебер и К. Мейер, которые отметили необходимость учета при принятии рациональных решений проблем искаженного восприятия макроэкономических сигналов (Weber, Meyer, 2014).

Рассматривая приложение теории сигналов в макроэкономическом контексте с целью определения циклических составляющих в динамике макроэкономических показателей, отметим, что существуют два способа представления сигнала в зависимости от области их определения:

- *временная область* показывает, как сигнал распределен во времени;
- *частотная область* представляет мощность сигнала в пределах каждой заданной частотной полосы в допустимом диапазоне частот.

Представление сигнала во временной области осуществляется при помощи двумерной проекции сигнала в координатах его физических параметров и времени, а представление сигнала в частотной области — в координатах мощности и частоты. При переводе сигналов из временной в частотную область их проекция раскладывается в виде суммы базовых гармонических колебаний, которые образуют *частотный спектр сигнала*. Преобразование сигнала (в частности, методом Фурье) применяется с целью разделить многочастотные колебания на частотные составляющие¹.

Применяя теорию сигналов для выявления циклической компоненты динамики реального ВВП и других макроэкономических показателей, отметим, что источником сигнала могут являться внешние и внутренние шоки экономики, которые инициируют отклики экономических субъектов разных секторов (Хасянова, 2018; Татузов, 2021), в агрегированном виде генерирующие колебания показателей деятельности в данных секторах. Таким образом, реакция субъектов может быть уподоблена реакции приемников на сигналы передатчика, передаваемые по многим каналам, причем реакция может проявляться с разной скоростью в различных секторах экономики (асинхронность реакции) вследствие определенной автономности принимающих сигнал секторов. Следовательно, с помощью преобразования динамических временных рядов макроэкономических показателей из временной в частотную область появляется возможность выявить многочастотные циклические динамические со-

¹ Если среди базовых сигналов преобладают негармонические (стохастические) колебания, то при их наложении друг на друга получится шум, что позволяет выявить ациклические макроэкономические показатели.

ставляющие, возникающие в ответ на принятый сигнал, в отдельных относительно автономных секторах.

Выявление циклической компоненты макроэкономической динамики с помощью спектрального анализа

Переход в частотную область позволяет идентифицировать неочевидную во временной области периодичность в динамике макроэкономических показателей: циклические колебания, амплитуды этих колебаний, а также периоды опережения или запаздывания макроэкономических индикаторов по отношению друг к другу.

Переход в частотную область в рамках данного исследования осуществлен методом быстрого прямого преобразования Фурье (Cooley et al., 1969; Бат, 1980):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n * \left[\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - i * \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right], \quad (1)$$

где N — количество дискретных значений сигнала во временной области, а также количество компонент разложения в частотной области, X_n — измеренные значения сигнала в дискретных временных точках (входные данные), X_k — комплексное значение исходного сигнала (выходные данные), k — индекс частоты сигнала, $w_k = k/T$ — частота сигнала, а T — период времени, в течение которого брались входные данные.

Прямое преобразование Фурье позволяет представить дискретную периодическую функцию в виде амплитуд гармонических составляющих сигнала¹. Совокупность распределенных в координатах частоты амплитуд всех гармоник называют амплитудным спектром, который демонстрирует мощность циклических колебаний реального ВВП и изучаемых макроэкономических показателей.

Для определения амплитуды колебаний макроэкономических показателей использована следующая формула:

$$A[X_k] = \sqrt{\left(\frac{1}{N \sum_{n=0}^{N-1} \cos\left(\frac{2\pi k n}{N}\right)} \right)^2 + \left(\frac{1}{N \sum_{n=0}^{N-1} \sin\left(\frac{2\pi k n}{N}\right)} \right)^2}, \quad (2)$$

где $A[X_k]$ — амплитуда колебаний выходных значений, N — количество дискретных значений сигнала во временной области, а также количество

¹ Амплитуда сигнала — это смещение мощности сигнала от линейной компоненты при колебательном или волновом движении.

компонент разложения в частотной области, X_k — комплексное значение исходного сигнала (выходные данные, полученные от преобразования методом Фурье по формуле (1), k — индекс частоты сигнала (выходные данные, полученные от преобразования методом Фурье по формуле (1)).

Как отмечалось ранее, динамика реального ВВП является многочастотной, т.е. получается путем наложения друг на друга спектров динамических изменений, происходящих в различных секторах экономики, и, следовательно, аппроксимирует совокупное влияние внешних и внутренних шоков. Вследствие асинхронности и автономности реакции субъектов различных секторов экономики на шоки частотные спектры их изменений смещены друг относительно друга. При преобразовании методом Фурье по формуле (1) временных рядов макроэкономических показателей появляется возможность выявить опережение или запаздывания спектров макроэкономических показателей по отношению к базовой прокси-переменной цикла — реальному ВВП. Определение опережающей динамики изменений циклических компонент макроэкономических индикаторов по отношению к реальному ВВП позволяет обнаружить показатели, способные упреждающим образом сигнализировать о наступлении неблагоприятной экономической конъюнктуры в краткосрочной перспективе.

С целью поиска упреждающих индикаторов нами составлены пары временных рядов «ключевой показатель цикла (реальный ВВП) — ключевой макроэкономический показатель, определяющий циклическую динамику определенного сектора экономики». Для каждой пары выполнено преобразование показателей из временного в частотный спектр методом Фурье и определен взаимный спектр (кросс-спектр), который характеризует взаимосвязь гармоник соответствующих временных рядов (Howell, 2001), и далее произведена оценка тесноты этой связи на основании коэффициента кросс-корреляции. Корреляция откликов на шок отдельных секторов экономики с откликом реального ВВП в целом определяется с учетом асинхронности (запаздывания или опережения относительно друг друга) с диапазоном смещения ± 4 квартала. Диапазон смещения, равный одному году, взят в соответствии с прогностическим «окном», используемым в теории сигналов, применяемым для анализа экономических показателей (Kaminsky, Reinhart, 1999; Ong, Pazarbasioglu, 2014; Caprio et al., 2014).

Для выявления циклических составляющих в динамике макроэкономических показателей реального ВВП Российской Федерации нужно было выбрать и обосновать индикаторы отклика различных секторов экономики на внешние и внутренние шоки. Поэтому мы воспользовались теорией сигналов в ее прикладном применении для выявления вероятностных изменений в экономике. В работах Р. Кинга и Р. Левина (King, Levine, 1993), Б. Эйхенгрин и А. Поуз (Eichengreen, Rose, 1998), Г. Камински и К. Рейнхард (Kaminsky, Reinhart, 1999), Р. Раджана и Л. Зингалеца

(Rajan, Zingales, 2000), С. Дробышевского и П. Трунина (Дробышевский и др., 2008), Г. Каприо, В. Дапис, Г. Ферри и Г. Пуополо (Caprio et al., 2014) определены наборы фундаментальных макроэкономических показателей, способных своевременно идентифицировать проявление макроэкономических шоков в отдельных секторах (подсистемах) экономики. Выбор из них индикаторов отклика для данной работы производился с учетом изложенных выше предпосылок теории сигналов, т.е. рассматривались только те индикаторы, которые свидетельствуют о способности экономических субъектов воспринимать базовый сигнал, что предопределило высокую вероятность выявления гармонических колебаний в динамике секторов, где действуют данные экономические субъекты.

Отобранные показатели можно разделить на несколько групп, в зависимости от секторов экономики, которые они характеризуют:

- реальный сектор: инвестиции в основные средства, отток капитала, денежная масса в широком определении;
- государственные финансы: государственный долг, сокращение валютных резервов;
- банковский сектор: ликвидность банковской системы, емкость рынка межбанковского кредитования;
- фондовый рынок: цена на нефть, индекс фондового рынка;
- валютный рынок: курс рубля.

Для исследуемых индикаторов собраны ежеквартальные статистические данные за период с 1996 по 2020 г. Так как показатели реального сектора (ВВП, инвестиции в основные средства, отток капитала, денежная масса в широком определении) отличаются сезонностью, произведена сезонная корректировка данных методом X-12-ARIMA.

Для осуществления расчетов по выбранным временным рядам использован язык программирования Python3 ввиду его гибкости и наличия в открытом доступе библиотек, позволяющих реализовать следующий алгоритм¹:

1. Произвести сезонную корректировку показателей отобранных секторов экономики;
2. Осуществить прямое преобразование Фурье временных рядов отобранных макроэкономических показателей в частотное (спектральное) представление;
3. Определить амплитудные колебания каждого показателя в отдельности и взаимные кросс-амплитуды по отношению к реальному ВВП;

¹ Используемые нами при расчетах библиотеки pandas Pandas и numpy Numpy широко распространены для обработки табличных данных. Библиотека statsmodels Statsmodels содержит реализацию алгоритма X-12-ARIMA для предобработки временных рядов. Модуль signal библиотеки scipy Scipy содержит алгоритмы быстрого преобразования Фурье и кросс-спектрального анализа.

4. Выявить смещение частотных спектров динамических рядов рассматриваемых макроэкономических индикаторов по отношению к реальному ВВП.

После применения к анализируемым временным рядам указанного алгоритма определены частотные спектры, характеризующие динамику рассматриваемых макроэкономических показателей, и построены спектрограммы¹ (рис. 1). Спектрограмма визуализирует полученные результаты преобразования временного ряда в частотный в координатах масштабированной частоты² и мощности спектра.

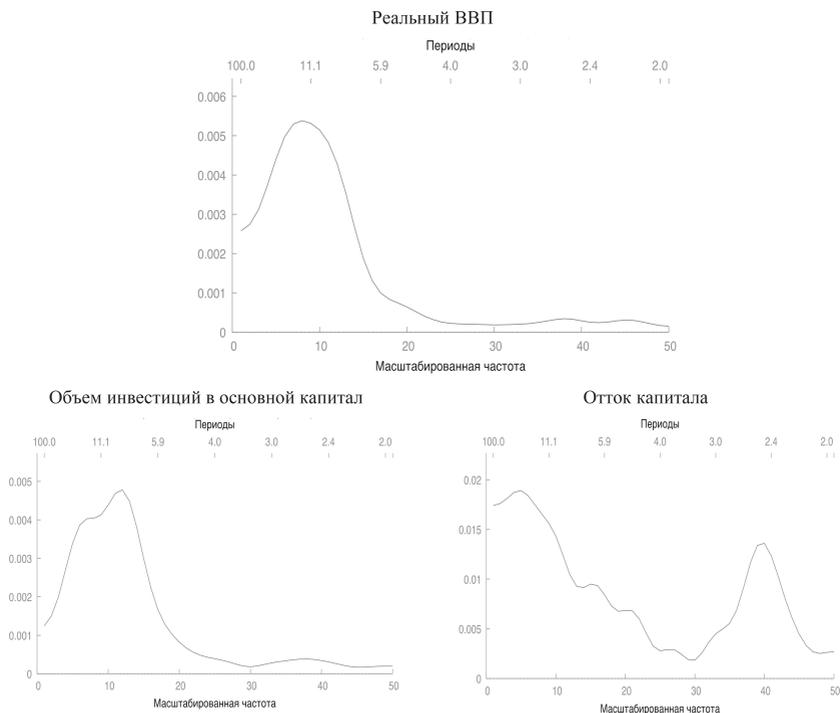


Рис. 1. Спектральное представление динамики реального ВВП и макроэкономических индикаторов ключевых секторов экономики России

Источник: составлено авторами.

¹ Проекция временного ряда в координатах масштабированной частоты и мощности спектра.

² Дискретное преобразование Фурье раскладывает дискретизированный сигнал из N отсчетов на $N/2$ элементов выборки, которые воспроизводят положительную частотную область Фурье-образа, и $N/2$ элементов, соответствующих отрицательным частотам. Однако при работе с дискретными функциями удобнее получать выборку с обычным расположением элементов, для чего выполняется циклическое смещение элементов на $N/2$.

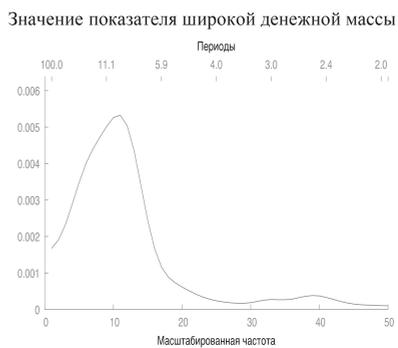
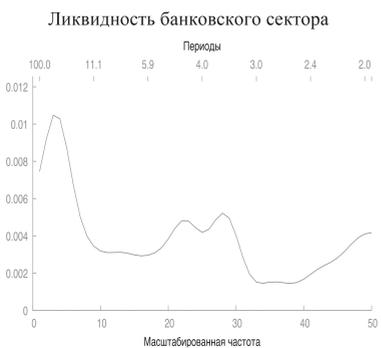
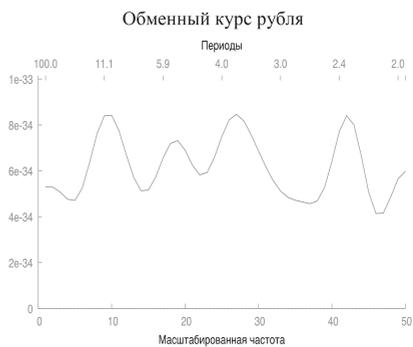
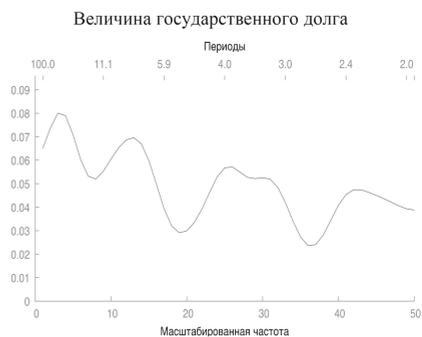


Рис. 1. Продолжение

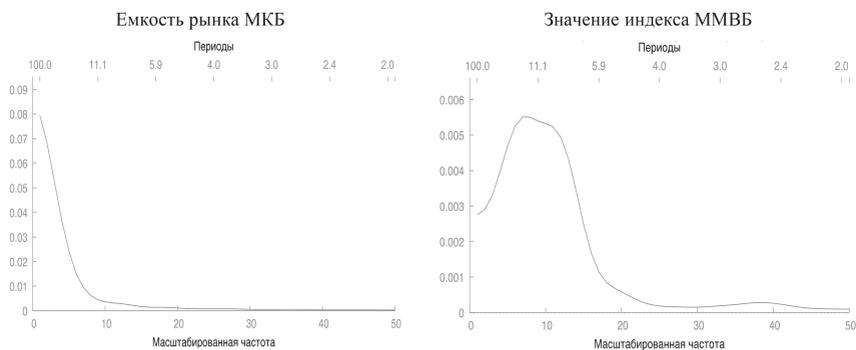


Рис. 1. Окончание

Частотное распределение мощности спектра макроэкономических показателей демонстрирует наличие явно выраженных и слабо выраженных циклических компонент, а также их отсутствие. Циклические процессы в динамике анализируемых индикаторов определяются типом спектрального представления, для которого характерно наличие главной частоты (частоты с преобладающей спектральной мощностью), а длительность цикла может быть рассчитана в соответствии с масштабируемой частотой наиболее сильного по мощности подъема. В данном исследовании преобладающий по мощности подъем в области более высоких частот характеризует наличие краткосрочных циклов, а в области более низких частот — среднесрочных циклов¹. Отсутствие явно преобладающей по мощности частоты в спектральном представлении рядов макроэкономических показателей выявляет сложноциклическую или, для ряда показателей, ациклическую динамику (например, характерную для различных типов недетерминированных процессов, аналогичных шумам в теории сигналов).

Анализируя полученные результаты (рис. 1), отметим, что спектральная развертка временных рядов реального ВВП, инвестиций в основной капитал, показателя широкой денежной массы и индекса ММВБ обладает выраженной циклическостью с единичной преобладающей частотой в частотном представлении. Спектральные представления уровня ликвидности банковского сектора, оттока капитала и объема валютных резервов помимо преобладающего по мощности пика в более низких частотах, что характерно для циклических индикаторов, имеют несколько менее сильных по мощности подъемов в области высоких частот, что может быть интерпретировано как «ложные периодичности» (Schuster, 1898). Также в спектрах этих показателей присутствуют

¹ Так как частота обратно пропорциональна периоду колебаний.

гармоники частот более низких порядков по сравнению с гармониками временных рядов реального ВВП, инвестиций в основной капитал, показателя широкой денежной массы и индекса ММВБ, что ассоциируется с более длительными циклами колебаний этих показателей по сравнению с циклом колебаний базового показателя реального ВВП. Спектральная развертка временных рядов величины государственного долга, цен на нефть, емкости рынка МКБ и обменного курса рубля характеризуется невыраженной цикличностью, поэтому данные индикаторы не могут служить достоверными предикторами для оценки поворотных точек бизнес-циклов, так как их динамика не демонстрировала выраженных откликов на шоки, вызвавшие циклические колебания экономики в целом¹.

На основе выполненных преобразований временных рядов в частотные методом Фурье выделены спектральные параметры ключевых макроэкономических показателей Российской Федерации по выборке с 1996 по 2020 г. (табл. 1).

Таблица 1

Спектральные параметры показателей

Показатель	Масштаб. частота ($N/2$)	Периоды в кварталах	Спектрал. частота: пик (угловой K)	Длина волны в годах
ВВП	8	12,5	0,0056938	3,13 года
Объем инвестиций в основной капитал	12	8,33	0,0044901	2,08 года
Величина государственного долга	3	33,33	0,080036	Не имеет выраженной цикличности
Цены на нефть	43	2,33	0,0094999	Не имеет выраженной цикличности
Отток капитала	5	20,00	0,018916	5 лет
Ликвидность банковского сектора	3	33,33	0,010467	8,33 года

¹ Сопоставляя полученные в данной работе результаты с результатами, например, А. В. Полбина и А. А. Скроботова (Полбин, Скроботов, 2017), можно сделать вывод относительно причин, почему А. В. Полбин и А. А. Скроботов не выявили цикличности в колебаниях цены нефти: динамика данной цены в спектральном представлении наиболее близка к шуму, а следовательно, не имеет выраженной циклической компоненты. Это еще раз подтверждает работоспособность метода спектрального анализа для исследования циклической компоненты динамики макроэкономических показателей.

Показатель	Масштаб. частота ($N/2$)	Периоды в кварталах	Спектрал. частота: пик (угловой K)	Длина волны в годах
Объем валютных резервов	3	33,33	0,0081614	8,33 года
Показатель широкой денежной массы	11	9,09	0,0053253	2,48 года
Обменный курса рубля	43	2,33	0,0094790	Не имеет выраженной цикличности
Емкость рынка МКБ	1	100,00	0,080190	Не имеет выраженной цикличности
Значение индекса ММВБ	7	14,29	0,0051974	3,57 года

Источник: составлено авторами.

Длительность развития краткосрочной циклической компоненты реального ВВП составляет 3,13 года. Длительности циклов показателей денежной массы и индекса ММВБ близки к длительности циклической компоненты реального ВВП и равны 2,48 и 3,57 года соответственно. Показатели ликвидности банковского сектора и величины валютных резервов имеют длительность циклических компонент, равную 8,33 года. Для индикаторов оттока капитала и объема инвестиций в основной капитал длины циклических компонент определены по наиболее мощному импульсу и равны 5 лет и 2,08 года соответственно. В динамике изменения цен на нефть, величины государственного долга, емкости рынка МКБ и обменного курса рубля не выявлено цикличности, поэтому применение данных индикаторов в качестве контрольных переменных или предикторов разворота (от роста к спаду) динамики циклической компоненты базового цикла, отождествляемого с динамикой реального ВВП, нецелесообразно.

Для уточнения способности показателей денежной массы, индекса ММВБ, ликвидности банковского сектора, величины валютных резервов, оттока капитала и объема инвестиций выступать в качестве предвестников понижательной динамики циклической компоненты базового цикла рассчитаны взаимные корреляции фаз их гармоник с гармониками реального ВВП. Оценка периода опережения/запаздывания макроэкономических показателей по отношению к ВВП проведена методом кросс-спектрального анализа по индикаторам, демонстрирующим наличие циклической компоненты в их динамике. Теснота связи временных рядов

оценена на основании сдвига фаз гармоник через расчет коэффициентов кросс-корреляции с использованием функции `scipy.signal.correlate(x, y)` (табл. 2).

Таблица 2

**Значения кросс-корреляций
преобразованных методом Фурье временных рядов
ключевых макроэкономических показателей РФ¹**

Показатели квартал	ВВП и Инвестиции	ВВП и Отток капитала	ВВП и Ликвидность	ВВП и Резервы	ВВП и М2Х	ВВП и ММВБ
–4	–0,2014	0,1711	0,0567	0,1914	–0,1812	0,2157
–3	–0,1657	0,1496	0,0688	0,2947	–0,2734	0,2022
–2	–0,0407	0,1557	0,0890	0,3468	–0,193	0,1694
–1	0,1328	0,1728	0,1830	0,325	–0,0519	0,0065
0	0,4083	0,2280	0,2091	0,3405	0,3249	0,0686
1	0,4704	0,2666	0,3407	0,3691	0,5992	0,2071
2	0,4575	0,1671	0,3735	0,2661	0,6135	0,2933
3	0,2562	0,0492	0,2257	0,1548	0,5475	0,1843
4	–0,0393	–0,1592	0,0981	–0,0053	0,2411	0,0605

Источник: составлено авторами.

Все рассматриваемые индикаторы демонстрируют связь с динамикой реального ВВП с учетом сдвига фаз гармоник. Учитывая силу связи в зависимости от временного лага и длительности циклов макроэкономических показателей, можно полагать, что индикаторы объема инвестиций в основной капитал и широкой денежной массы применимы в качестве предикторов понижательной динамики циклической компоненты базового цикла реального ВВП.

Анализируя прогностическую способность выявленных индикаторов, отметим, что они дают устойчивый результат на основании показателя кросс-корреляции с разным временным лагом. За один квартал выявляет понижательную динамику реального ВВП показатель прироста инвестиций в основной капитал, а за два квартала — динамики широкой денежной массы, поэтому эти индикаторы способны заблаговременно

¹ Выделенные в табл. 2 локальные максимумы (по модулю) из диапазона смещений от –4 до + 4 кварталов являются также глобальными (по модулю) максимумами из диапазона смещений от –100 до 100 кварталов для рассматриваемых макроэкономических переменных: «инвестиции», «отток капитала», «ликвидность», «резервы», «М2Х», «ММВБ».

сигнализировать о возможности возникновения циклических колебаний в экономике и использоваться при разработке контрциклической политики.

Заключение

Ослабление силы краткосрочных циклических колебаний макроэкономических показателей является одной из ключевых задач контрциклической государственной политики. В данной статье представлена эмпирическая методика выявления многочастотных циклических компонент в динамике реального ВВП как индикатора состояния экономики на основе метода спектрального анализа. Длительность краткосрочных циклов реального ВВП установлена равной 3,13 года, что с практической точки зрения может быть использовано при разработке контрциклической политики. Также определена длительность циклов показателей инвестиций в основной капитал, ликвидности банковского сектора, величины валютных резервов, оттока капитала, широкой денежной массы и индекса ММВБ. В динамике цен на нефть, величины государственного долга, емкости рынка МКБ и обменного курса рубля не выявлено циклическости, что свидетельствует об ациклическом характере этих переменных.

Для уточнения перспектив практического использования показателей, характеризующихся наличием циклических компонент, рассчитаны значения кросс-корреляции фаз их гармоник с гармониками реального ВВП. Выявлено, что наибольшей корреляцией с реальным ВВП обладают показатели объема инвестиций в основной капитал и широкой денежной массы. Из наших расчетов следует, что индивидуальные циклы указанных индикаторов вносят вклад в формирование многочастотной циклической компоненты реального ВВП и потому могут быть использованы в качестве предикторов понижательной динамики базового цикла. Длительности циклов показателей объема инвестиций в основной капитал и широкой денежной массы равны 2,1 года и 2,5 года соответственно (при длительности цикла реального ВВП в 3,13 года).

В рамках реализации государственной контрциклической политики применение полученных в данном исследовании результатов относительно длительности циклов и наличия временного лага в динамике макроэкономических индикаторов по отношению к ВВП может помочь ослабить резонансное воздействие проциклических переменных на амплитуду отклонений от долгосрочного тренда в базовом цикле колебаний реального ВВП. Так как амплитуда колебаний базовой прокси-переменной экономического цикла увеличивается при совпадении частот колебаний определяющих ее компонент вследствие возникающего между ними резонанса, то меры контрциклической политики целесо-

образно направить на поддержание асинхронности колебаний проциклических компонент ВВП. Мы выявили, что проциклические переменные объема инвестиций в основной капитал и широкой денежной массы имеют фазовые смещения относительно цикла базовой прокси-переменной. Для индикатора инвестиций в основной капитал при временном лаге в 0,25 года фазовый сдвиг равен 1,3 года, а для показателя широкой денежной массы при временном лаге в 0,5 года фазовый сдвиг соответствует 1,2 года¹. В настоящий момент наличие фазовых сдвигов не учитывается при построении моделей опережающих индикаторов, притом что подобные сдвиги могут в значительной мере влиять на силу отклонения циклической компоненты от тренда и ухудшать прогностические способности подобных моделей. На этом основании полученные в данной работе расчеты фазовых сдвигов могут быть использованы для корректировки существующих оценок предикторов спада и подъема в экономике.

Список литературы

Апокин, А., Белоусов, Д., Голощапова, И., Ипатова, И., & Солнцев, О. (2014). О фундаментальных недостатках современной денежно-кредитной политики. *Вопросы экономики*, 12, 80–100.

Бат, М. (1980). *Спектральный анализ в геофизике*. М.: Недра. Перевод с английского Лисина В. Н., Кузнецова В. М., 535.

Гренджер, К., & Хатанака, М. (1972) *Спектральный анализ временных рядов в экономике*. М.: Статистика, 34–44.

Дробышевский, С. М., Трунин, П. В., & Каменских, М. В. (2008). Анализ трансмиссионных механизмов кредитно-денежной политики в российской экономике. *Институт экономики переходного периода. Научные труды*, 116, 85.

Дубовский, Д. Л., Кофанов, Д. А., & Сосунов, К. А. (2015). Датировка российского бизнес-цикла. *Экономический журнал ВШЭ*, Т. 19, 4, 554–575.

Картвелишвили, В. М., Мазуров, М. Е., & Петров, Л. Ф. (2018). *Прикладные системно-динамические модели. Теория и практика*. М.: Изд-во РЭУ им. Плеханова, 5–8.

Клепач, А. Н., & Куранов, Г. О. (2013). О циклических волнах в развитии экономики США И России (вопросы методологии и анализа). *Вопросы экономики*, (11), 4–33.

Коротаев, А. В., & Цирель, С. В. (2010). *Кондратьевские волны в мировой экономической динамике. Системный мониторинг. Глобальное и региональное развитие*. М.: Либроком, 189–229.

Маркс, К., & Энгельс, Ф. (1956). *Из ранних произведений*. М.: Политиздат, 15–18.

¹ Фазовый сдвиг — разность между начальными фазами двух циклических компонент. Для экономических процессов начальной фазой цикла чаще всего считается нижняя точка спада. То есть фазовый сдвиг определяет разность во времени между началом понижательной динамики циклической компоненты макроэкономического индикатора и реального ВВП. Временной лаг определяет сдвиг во времени циклов относительно друг друга.

- Опарин, Д. И. (1928). *Конъюнктура и рынки: опыт построения схематической экономики обмена*. М.: Техника управления, 390.
- Орлова, Н., & Егиев, С. (2015). Структурные факторы замедления роста российской экономики. *Вопросы экономики*, 12, 69–84.
- Полбин, А. В., & Скрябин, А. А. (2017). *Спектральная оценка компоненты бизнес-цикла ВВП России с учетом высокой зависимости от условий торговли*. MPRA Paper 78667, University Library of Munich, Germany.
- Спенс, М. (2002). Сигнализация в ретроспективе и информационная структура рынков. *Американский экономический обзор*, 92 (3), 434–459.
- Татузов, В. Ю. (2021). Прямые иностранные инвестиции и западноевропейская интеграция: некоторые циклические факторы. *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 3, 3–19.
- Тинберген, Я. (2007). О методе статистического исследования делового цикла. Ответ Дж. М. Кейнсу. *Вопросы экономики*, 4, 46–59.
- Хасянова, С. Ю. (2018). Контрциклический буфер капитала банков: есть ли основания для применения в России? *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 3, 97–116.
- Akerlof, G. A. (1970). The Market for «Lemons»: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488–500.
- Battellino, P. M. (1988). Persistence of three-frequency quasiperiodicity under large perturbations. *Phys. Rev. A*, vol. 38, 1495–1502.
- Baxter, M., & King, R. G. (1999). Measuring business cycles: Approximate bandpass filters for economic time series. *Review of Economics and Statistics*, 81 (4), 575–593.
- Burda, M., & Wyplosz, C. (2013). *Macroeconomics: a European text*. Oxford University Press, 413.
- Caprio, G., D'Apice, V., Ferri, G., & Puopolo, G. (2014) Macro-financial determinants of the great financial crisis: Implications for financial regulation. *Journal of Banking & Finance* 44, 114–129.
- Claessens, S., Kose, M. A., & Terrones, M. E. (2012). How do business and financial cycles interact? *Journal of International Economics*, 87(1), 178–190.
- Cogley, T., & Nason, J. M., (1995). Effects of the Hodrick-Prescott filter on trend and difference stationary time series: Implications for business cycle research. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 19 (1-2), 253–278.
- Cooley, J., Lewis, P., & Welch, P. (1969). The finite Fourier transforms. *Transactions on Audio and Electroacoustics*, 17 (2), 77–85.
- Christiano, L. J., & Fitzgerald, T. J. (2003). The band pass filter. *International Economic Review*, 44 (2), 435–465.
- Crowley, P., & Trombley, C. (2014). Synchronicity Assessment Using a Non-parametric Dynamic Dissimilarity Measure. *Translational Recurrences*, 187–210.
- Diebolt, C., & Doliger, C. (2006). Economic Cycles Under Test: A Spectral Analysis. *Kondratieff Waves, Warfare and World Security*. IOS Press, 39–47.
- Eichengreen, B., & Rose, A. K. (1998). Staying Afloat When the Wind Shifts: External Factors and Emerging-Market Banking Crises. *NBER Working Papers* 6370.
- Frisch, R. (1933). Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics. *Economic Essays in Honor of Gustav Cassell*.
- Jones, C. (2014). *Macroeconomics*. W. W. Norton & Company.
- Harvey, A. C., & Jaeger, A. (1993). Detrending, stylized facts and the business cycle. *Journal of Applied Econometrics*, 8 (3), 231–247.

- Hiebert, P., Jaccard, I., & Schüller, Y. (2018). Contrasting financial and business cycles: Stylized facts and candidate explanations. *Journal of Financial Stability*, 38, 72–80.
- Hodrick R., & Prescott E. (1997). Post-War US Business Cycles: An Empirical Investigation. *Journal of Money Banking and Credit*, 29, 1–16.
- Howell, K. B. (2001). Principles of Fourier Analysis. *CRC Press*.
- Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering* 82 (1), 35–45.
- Kaminsky, G., & Reinhart, C. (1999). The Twin Crises: The Causes of Banking and Balance-of Payments Problems. *American Economic Review*, 89 (6), 473–500.
- King, R., Levine, R. (1993). Finance and Growth: Schumpeter Might Be Right. *Quarterly Journal of Economics*, 108(3), 717–737.
- King, R. G., & Rebelo, S. T. (1999). Resuscitating real business cycles. *Handbook of macroeconomics*. Vol. 1, 927–1007.
- Kitchin, J. (1923). Cycles and Trends in Economic Factors. *Review of Economics and Statistics*, 5(1), 10–16.
- Klein, M., & Planck, J. (1963). Entropy and Quanta, 1901–1906. *The Natural Philosopher*, 1, 83–108.
- Koopman, S. J., & Lucas, A. (2005). Business and default cycles for credit risk. *Journal of applied econometrics*. *Special Issue: Recent Developments in Business Cycle Analysis*. Vol. 20, No. 2, 311–323. <https://doi.org/10.1002/jae.833>
- Kuczynski, Th. (1978). Spectral analysis and cluster analysis as mathematical methods for the periodization of historical processes... Kondratieff cycles — appearance or reality? *Seventh International Economic History Congress*, Vol. 2, 79–86.
- Kuznetsov, A. P., & Roman, J. P. (2009). Properties of synchronization in the systems of non-identical coupled van der Pol and van der Pol-Duffing oscillators: Broadband synchronization. *Phys. D*, vol. 238, no. 16, 1499–1506.
- Long, J. B., & Plosser, C. (1983). Real Business Cycles. *Journal of Political Economy*, 91(1), 39–69. <http://doi.org/10.1086/261128>
- Lucas, J., & Robert, E. (1977). Understanding Business Cycles. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 5, 7–29.
- Mankiw, N. G., & Romer, B. (1991). *New Keynesian Economics*. The MIT Press. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5_2401-1
- Metz, R. (1992). *Re-examination of long waves in aggregate production series*. *New findings in long wave research*. NY: St. Martin's, 80–119.
- Mitchell, W. C., & Burns A. F. (1938). *Statistical indicators of cyclical revivals*, NBER, 1–12.
- Nelson, C. R., & Kang, H., (1981). Spurious periodicity in inappropriately detrended time series. *Econometrica*, 49 (3), 741–751.
- Ong, L. L., & Pazarbasioglu, C. (2014). Credibility and Crisis Stress Testing. *Int. J. Financial Stud.*, 2, 15–81.
- Rajan, R., & Zingales, L. (2000). The great reversals: the politics of financial development in the 20th century. *OECD, economics department working papers no. 265*, 5–50.
- Sargent, T. J. (1978). Estimation of dynamic labor demand schedules under rational expectations. *Journal of Political Economy*. Vol. 86. No. 6, 1009–1044.
- Schumpeter, J. A. (2008). *The Theory of Economic Development. An inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. New Brunswick: Transaction Publishers. <https://doi.org/10.4324/9781315135564>

Schuster, A. (1898). On the investigation of hidden periodicities with application to a supposed 26-day period of meteorological phenomena. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 3, 13–41.

Slutzky, E. (1937). The Summation of Random Causes as the Source of Cyclic Processes. *Econometrica*, 5(2), 105–146.

Sorensen, P. B., & Whitta-Jacobsen, H. J. (2010). *Introducing advanced macroeconomics: Growth and business cycles*. McGraw-Hill Education.

Sornette, D., & Johansen, A. (2001). Significance of log-periodic precursors to financial crashes. *Quantitative Finance*, 1(4), 452–471.

Stiglitz, J. E. (1979). Equilibrium in Product Markets with Imperfect Information. *The American Economic Review*, 69(2), 339–345.

Tkachenko, M. S., & Lukin, A. S. (2010). A multiresolution spectral subtraction algorithm for noise suppression in audio signals. *Proceedings of 12-th International Conference and Exhibition «Digital Signal Processing and its Applications» (DSPA'2010)*, 1, 226.

Weber, L., & Meyer, K. (2010). Expanding the Concept of Bounded Rationality in TCE: Implications of Perceptual Uncertainty for Hybrid Governance. *Atlanta Competitive Advantage Conference 2010 Paper*, 1–35.

Zubarev, A. V., & Trunin, P. V. (2017). The analysis of the dynamics of the Russian economy using the output gap indicator. *Studies on Russian Economic Development*, 28(2), 126–132.

References

Apokin, A., Belousov, D., Goloshchapova, I., Ipatova, I., & Solntsev, O. (2014). On the fundamental shortcomings of modern monetary policy. *Economic Issues*, no. 12, 80–100.

Bath, M. (1980). *Spectral analysis in geophysics*. M.: Nedra. Translated from English by Lisin V. N., Kuznetsov V. M., 535.

Granger, K., & Hatanaka, M. (1972). *Spectral analysis of time series in economics*. M.: Statistics, 34–44.

Drobyshevsky, S. M., Trunin, P. V., & Kamenskikh, M. V. (2008). Analysis of transmission mechanisms of monetary policy in the Russian economy. *Institute for the Economy in Transition. Scientific papers*, 116, 85.

Dubovsky, D. L., Kofanov, D. A., & Sosunov, K. A. (2015). Dating the Russian business cycle. *HSE Economic Journal*, Vol. 19, No. 4, 554–575.

Kartvelishvili, V. M., Mazurov, M. E., & Petrov, L. F. (2018). *Applied system dynamic models. Theory and practice*. M.: Publishing house of the REU them. Plekhanov, 5–8.

Klepach, A. N. & Kuranov, G. O. (2013). On cyclical waves in the development of the US and Russian economies (questions of methodology and analysis). *Economic Issues*, no. 11, 4–33.

Korotaev, A. V., & Tsirel, S. V. (2010). *Kondratieff Waves in World Economic Dynamics. System monitoring. Global and regional development*. M.: Librokom, 189–229.

Marks, K., & Engels, F. (1956). *From early works*. M.: Politizdat, 15–18.

Oparin, D. I. (1928). *Conjuncture and markets: experience in constructing schematic exchange economies*. M.: Management technology, 390.

Orlova, N., & Egiev, S. (2015). Structural factors of the slowdown in the growth of the Russian economy. *Economic Issues*, No. 12, 69–84.

Polbin A. V., & Skrobotov A. A. (2017). Spectral assessment of the business cycle component of Russia's GDP, taking into account the high dependence on the terms of trade. *MPRA Paper 78667, University Library of Munich, Germany*.

Spence, M. (2002). Signaling in retrospect and information structure of markets. *American Economic Review*, 92 (3), 434–459.

Tatuzov, V. Y. (2021). Foreign direct investment and western European integration: some cyclical factors. *Moscow University press, Journal of Moscow University. Series 6. Economics*, 3, 3–19.

Tinbergen, J. (2007). On the method of statistical research of the business cycle. Answer to J. M. Keynes. *Economic Issues*, 4, 46–59.

Khasyanova, S. Yu. (2018). Banks' countercyclical capital buffer: is there a reason to be applied in Russia? *Moscow University press, Journal of Moscow University. Series 6. Economics*, 3, 97–116.