

АКТУАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ТЕОРИИ

ДИНАМИКА ВВП
КАК СУПЕРПОЗИЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЛН
Н.Д. КОНДРАТЬЕВА

П. Ф. Андрукович

DOI: 10.33293/1609-1442-2020-2(89)-7-22

Обзор публикаций по теории длинных волн Кондратьева–Шумпетера показал, что одним из недоработанных элементов этой теории в случае моделирования на их основе динамики ВВП является несоответствие динамики этих волн динамике наблюдаемых значений ВВП. Суть в том, что математические модели, используемые в настоящее время для описания периодических колебаний экономической активности в рамках этой теории, имеют горизонтальный тренд, и при переходе к описанию растущей (или снижающейся) динамики ВВП необходимо включение экзогенного тренда, никак не связанного с этой теорией. Такая ситуация нарушает ее целостность и часто служит одним из аргументов против адекватности данной теории реальным экономическим процессам. В данной статье предлагается модель динамики ВВП, построенная на основе суперпозиции длинных волн Кондратьева и не требующая включения экзогенного тренда. В данной модели возникают, кроме общепринятых параметров длинных волн, а именно начала и длины периода волны, два новых параметра: величина ее амплитуды и скорости изменения этой амплитуды. Эти параметры позволяют использовать эту модель для описания динамики ВВП разных стран с учетом их реальных различий по величине ВВП. Рассматриваются проблемы верификации параметров предлагаемой модели, возникающие в связи с многоэкстремальностью функции, описывающей данную модель. Верификация параметров этой модели на конкретных данных проводится по значениям ВВП США за период

© Андрукович П.Ф., 2020 г.

Андрукович Петр Федорович, к.т.н., старший научный сотрудник, ЦЭМИ РАН, Москва, Россия; streletspa@yandex.ru

с 1790 по 2018 г. Результаты проверки модели показали, что суперпозиция длинных волн Кондратьева–Шумпетера хорошо описывает динамику ВВП США за весь этот период, а параметры модели вполне соответствуют их общепризнанным значениям.

Ключевые слова: ВВП США, длинные волны, Кондратьев, периодические функции, технологические уклады, оценка параметров.

JEL: C51, C63, E32, O11, O51.

ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ

Спектр публикаций по теории длинных волн Кондратьева–Шумпетера (Кондратьев, 1925, 1989, 2002; Шумпетер, 1982) (далее – Т-волны) достаточно широк, однако его можно разделить на две принципиально разные части: обсуждение экономических обоснований данной теории и разработка математических моделей, описывающих динамику Т-волн. При этом в первой группе публикаций можно найти как статью, в которой эта теория сравнивается по своей значимости для экономики с таблицей Менделеева для химии: «В определенном смысле теория длинных волн Кондратьева способна занять в социально-экономических науках такое же место, какое в естественных занимает периодическая таблица Д. Менделеева» (Костюк, 2002, с. 91), так и статью (Смирнов, 2012), в которой она сводится к неудачному переносу циклов К. Жюгляра на более длинный период времени. В целом же можно сказать, что если исключить такие крайние точки зрения на Т-волны и их роль в динамике экономического развития, то споры в большинстве своем идут не столько по вопросу о присутствии или отсутствии циклических колебаний в экономике, сколько о том, каковы их длительность и характер воздействия на экономические процессы.

В частности, практически всеми экономистами признается наличие таких более коротких волн, как 20-летние циклы Кузне-

ца (Kuznets, 1955, 1960), 9–10-летние циклы К. Жюгляра (Juglar, 1862) и 4–5-летние циклы Д. Китчина (Kitchin, 1923). Имеется также и некоторая промежуточная точка зрения, которая состоит в том, что Т-волны имели место в период индустриального развития экономики, но потеряли свое значение в период постиндустриального развития. Обстоятельный анализ аргументов за и против этой точки зрения приводится в работе В.Е. Дементьева (Дементьев, 2014), в которой утверждается, что реальная экономическая база для возникновения Т-волн в предстоящий период сохранится. Подтверждая эту точку зрения, можно привести в качестве примера дальнейшее развитие робототехники, возможное освоение Луны и т.д. Следует также иметь в виду, что по мере общего развития уровня образования и увеличения информированности населения растет и разнообразие потребностей, для удовлетворения которых постоянно будет возникать необходимость в создании и производстве все новых и новых видов товаров и услуг.

Значительный вклад в теоретическое обоснование Т-волн как глобальной основы экономического и даже цивилизационного развития в целом внесли работы С.Ю. Глазьева (Глазьев, 1993), Ю.В. Яковца (Яковец, 1993), В.И. Маевского (Маевский, 1994) и, немного позже, А.В. Коротаева (Коротаев, 2006), С.Ю. Малкова и С.Г. Кирдиной (Малков, Кирдина, 2010), Л.Е. Гринина (Гринин, 2012) и других авторов.

В данной статье, посвященной моделированию взаимосвязи между динамикой ВВП и динамикой Т-волн, пласт теоретических работ по вопросу о роли Т-волн в экономическом развитии более подробно описываться не будет и основное внимание будет уделено работам, в которых рассматриваются те или иные математические модели Т-волн.

Научная литература, посвященная построению формальных моделей Т-волн и, следовательно, опирающаяся на априорное признание их существования, достаточно

обширна. Первой публикацией на эту тему, появившейся в русскоязычной научной литературе, – причем уже только в новые времена¹ – стала монография С.М. Меншикова и Л.А. Клименко (Меншиков, Клименко, 1989), в которой модель Т-волн представлена системой дифференциальных уравнений, основанных на темпах роста производительности труда и т.д. Большой цикл работ по моделированию Т-волн также в рамках решений систем дифференциальных уравнений, но более сложного вида проведен в исследованиях, осуществленных А.А. Акаевым, В.А. Садовничевым и другими авторами (Акаев, 2009; Акаев, 2012; Садовничий и др., 2012; Дубовский, 2012).

Относительно недавно появился еще один круг публикаций, в которых процессы инновационного развития, являющиеся основой, как полагают их авторы, циклических колебаний в экономике и в том числе Т-волн Кондратьева, описываются логистическими кривыми. Особое место здесь занимает книга М. Хироока (Hirooka, 2006), в которой изложена теория зарождения, развития и распространения технологий, рассматриваемых в виде логистических кривых, которые затем агрегируются в Т-волну, создавая тем самым

ее реальную технологическую основу (см. также (Акаев, Хироока, 2009)). В том же русле исследований находится и статья (Акаев, Турдуев, 2010), в которой авторы строят суперпозицию некоторых достаточно сложных функций (в их терминах – «инновационные волны Шумпетера») для описания циклических колебаний в экономике.

Заметим теперь, что в подавляющем большинстве упомянутых выше работ Т-волны представляются авторами как те или иные периодические колебания, которые следуют друг за другом, так что начало новой волны приходится на окончание предыдущей Т-волны с длительностью периода в пределах 45–65 лет (табл. 1). Достаточно очевидно, что такое представление о структуре Т-волн несовместимо с видом графиков динамики ВВП, которые представляют собой монотонно растущие кривые, лишь с теми или иными нерегулярными, хотя иногда и достаточно значимыми отклонениями. Можно даже предположить, что теория длинных волн Кондратьева, если отложить в сторону чисто теоретические возражения, скептически воспринимается многими экономистами именно по этой причине.

Однако еще более важным, если не решающим аргументом против теории Т-волн является тот факт, что сами по себе они имеют горизонтальный тренд, и поэтому для описания динамики ВВП необходимо включать

¹ Напомним, что в советское время теория Н.Д. Кондратьева была признана лженаучной, а сам он в 1930 г. был репрессирован и в 1938 г. расстрелян.

Таблица 1
Датировки (годы) начала ($T_{i,нач}$) и окончания ($T_{i,кон}$) Т-волн по оценке различных авторов

Авторы	Кондратьев Н.Д. – Коротаев А.В.		Глазьев С.Ю.		Акаев А.А.		Минимальные и максимальные границы циклов	
	$T_{i,нач}$	$T_{i,кон}$	$T_{i,нач}$	$T_{i,кон}$	$T_{i,нач}$	$T_{i,кон}$	min начала	max окончания
1-й цикл	1785–1790	1845–1850	1770	1830	1803	1841–1843	1770	1850
2-й цикл	1845–1850	1890–1896	1830	1880	1844–1851	1890–1896	1844	1896
3-й цикл	1890–1896	1940–1950	1880	1930	1891–1896	1945–1947	1880	1950
4-й цикл	1945–1947	1981–1983	1930	1980	1945–1947	1981–1983	1930	1983
5-й цикл	1981–1983	~2018	1980	2020	1981–1983	1983~2018	1980	2020
6-й цикл	~2018	~2060	2020	–	~2018	~2060	2018	~2060

Источники: (Кондратьев, 1925; Коротаев, Цирель, 2010; Глазьев, 1993; Акаев, 2009).

в модель экзогенный тренд. Но при этом оказывается, что этот тренд, который и определяет основную динамику ВВП, существует в таких моделях как бы сам по себе, как функция от времени или от каких-то регрессоров, но никак не зависит от появления новых технологий, расширения сфер их применения и т.д., т.е. от динамики Т-волн.

Поэтому возникает естественный вопрос: за счет каких же факторов возникает та или иная динамика ВВП, если она никак не зависит от динамики Т-волн? И, более того, что вообще тогда объясняет эта теория, если она сама по себе никак не объясняет роста – или снижения – величины ВВП? На эти вопросы, однако, есть, возможно, достаточно неожиданный ответ: предположим, что основной тренд ВВП является некоторой суперпозицией Т-волн, причем такой их суперпозицией, при которой эти волны, накладываясь друг на друга, гасят сами себя, в результате чего мы и получаем достаточно гладкие графики динамики ВВП. И тогда возникает естественное желание попробовать «расслоить» динамику ВВП на эти составляющие, т.е. на длинные волны Кондратьева–Шумпетера, и на их основе построить модель ВВП. Решению этой проблемы и посвящена данная статья.

МОДЕЛЬ ТРЕНДА ВВП, ОСНОВАННАЯ НА ДИНАМИКЕ Т-ВОЛН

Заметим предварительно, что имеются исследования, в которых модели Т-волн не строятся в виде тех или иных математических моделей, а динамика ВВП анализируется с точки зрения присутствия в ней Т-волн, а также других, более коротких колебательных циклов. Так, для демонстрации наличия длинных волн в динамике мирового ВВП А.В. Коротаев и С.В. Цирель применили спектральный анализ темпов роста этого ряда за период с 1870 по 2007 г. (Коротаев, Цирель,

2010)². Результаты их исследования показали, однако, что, несмотря на высокую значимость Т-волн в спектре этих темпов роста, *они не являются основной составляющей в колебаниях значений ВВП*. Так, по их данным: «У исходного ряда (т.е. в динамике собственно ВВП. – П.А.)... цикл Кондратьева контролирует около 5% дисперсии, а у ряда со скорректированными значениями для военных лет... – не более 8%» (Коротаев, Цирель, 2010, с. 200)³. Похожие результаты, но уже для динамики ВВП конкретной страны – США – в послевоенный период получены при разложении остатков от экзогенного тренда на гармоники разного уровня в работе (Клепач, Куранов, 2013). Здесь влияние длинных волн на динамику ВВП оказалось еще менее заметным. В частности, по их оценке доля Т-волн (при этом более коротких, длительностью в 35–38 лет) в динамике ВВП США в послевоенное время дает прибавку в темп роста всего около 0,5–0,7 п.п. (Клепач, Куранов, 2013, с. 17–18).

Эти результаты на первый взгляд свидетельствуют о том, что Т-волны действительно не играют какой-либо важной роли в динамике ВВП. Однако можно предположить, что те изменения динамики ВВП, которые определяются Т-волнами, могли быть исключены из нее вместе с трендом или быть результатом взаимного погашения одних Т-волн другими, последующими Т-волнами. В частности, в статье А.Н. Клепача и Г.О. Куранова как раз говорится о возможном «затирании» (термин авторов. – П.А.) одних циклов другими циклами. Рассматриваемая же в данной статье модель динамики ВВП, предложенная в статье (Андрюкович, 2018), основана как раз

² В этой работе имеется обстоятельный обзор публикаций на тему наличия Т-волн в динамике ВВП. При этом фиксируется тот факт, что результаты соответствующих исследований не дают однозначного ответа на вопрос о наличии Т-волн в динамике этого показателя.

³ Для 1939–1945 гг. темпы роста были сглажены, т.е. тем самым исключены из спектрального анализа.

на расслоении динамики ВВП на отдельные Т-волны и построении модели эндогенного тренда его динамики на основе суперпозиции их кумулятивных значений.

В этой статье на условных примерах было показано, что модель динамики ВВП можно построить в виде суммы значений нескольких Т-волн после их преобразования определенным образом, описанным далее. Понятно, что *такая модель не требует введения экзогенных трендов и делает теорию длинных волн целостной и замкнутой относительно своих предположений и гипотез*. Важно отметить, что такой взгляд на суть длинной технологической волны подчеркивал и сам Н.Д. Кондратьев, который в своем докладе «*Большие циклы экономической конъюнктуры*» (Кондратьев, 2002, с. 341) писал: «...Это не значит, будто я думаю, что процессы развития идут сами по себе, а колебательные процессы – сами по себе, что они даны в действительности раздельно и независимо. Моя мысль иная. *Процесс реальной динамики один* (выделено мною. – П.А.)». Такое же отношение к сути длинных волн высказывает и В.Н. Костюк (Костюк, 2002, с. 90–91): «Куда важнее, нежели определить, существуют ли длинные волны в экономике “на самом деле”, установить возможность эффективно встраивания модели Кондратьева в более общую модель долговременного, в масштабе десятилетий, экономического роста (долгосрочную экономическую динамику)».

Основой упомянутой выше модели является предположение о том, что значение Т-волны в некоторый момент τ_i определяет прирост ВВП к этому моменту времени⁴ относительно величины ВВП в момент времени $(\tau_i - 1)$ за счет данной Т-волны. В этой модели Т-волна зависит от четырех параметров и имеет вид

$$K_i(\tau_i) = \lambda_i (1 + \exp(\alpha_i \tau_i) \sin(\beta_i \tau_i + \delta_i)), \quad (1)$$

⁴ В абсолютном выражении, в текущих или постоянных ценах, в той или иной валюте и т.д.

где λ_i – амплитуда синуса, экспоненциально снижающаяся во времени с параметром α_i ($\alpha_i < 0$); $2\pi / \beta_i$ – ее период; δ_i – фаза и τ_i – условное время, отсчитываемое от некоторого реального момента времени $T_{i,нач}$, своего для каждой i -й Т-волны. Согласно теории Т-волн, будем считать, что $K_i(\tau_i) \geq 0$ для всех τ_i и в момент $T_{i,нач}$, т.е. при $\tau_i = 0$, $K_i(\tau_i) = 0$. Для выполнения этого условия положим $\delta_i = -\pi / 2$ и добавим к значению синуса в этой точке и во все последующие моменты времени величину амплитуды λ_i (формула (1)). Из определения Т-волны как прироста ВВП от года к году понятно, что сумма ее значений от момента $T_{i,нач}$ (т.е. для $\tau_i = 0$) до какого-то момента времени $T_{i,тек}$ дает вклад данной Т-волны в значение ВВП в данный момент времени.

То есть вклад i -й Т-волны в величину ВВП в момент времени $T_{i,тек}$ равен

$$Q_i(T_{i,тек}) = \sum_{\tau_i=0}^{T_{i,тек}} K_i(\tau_i), \quad (2)$$

где $T_{i,тек}$ – текущий момент времени, до которого рассчитывается накопленное значение волны $K_i(\tau_i)$ от $\tau_i = 0$; $Q_i(T_{i,тек})$ – вклад этой волны в значение ВВП в данный момент времени. Понятно, что значения $Q_i(T_{i,тек})$ в связи с тем, что $K_i(\tau_i) \geq 0$ для всех τ_i , монотонно растут. Будем называть этот показатель К-трендом, а сумму нескольких К-трендов рассматривать как модель динамики ВВП:

$$G(t) = \sum_{i=1}^N Q_i(t), \quad (3)$$

где i – номер Т-волны; N – их число; t есть реальное время (например, номер года), одинаковое для разных Т-волн из отрезка $T_0 \leq t \leq T_{кон}$ ⁵. Здесь $T_0 = \min\{T_{i,нач}\}$ по $i \in [1, N]$ и $T_{кон}$ – некоторый момент времени, также одинаковый для всех Т-волн и определяемый длительностью изучаемого с помощью данной модели периода. Величины $G(t)$ назовем *ДВ-трендом*. В заключение описания данной

⁵ Понятно, что при этом значение τ_i из формул (1) и (2) для каждой i -й Т-волны свое.

модели следует сделать еще одно уточнение: в точке $T_{1,нач}$ к значению первой Т-волны необходимо добавить значение ВВП, имевшее место в момент времени $(T_{i,нач} - 1)$, так как величина $K_i(\tau_i)$, как уже было отмечено выше, определяет ту добавленную стоимость, которая появляется в величине ВВП в году τ_i относительно ее величины в году $(\tau_i - 1)$.

Из формул (1)–(3) видно, что влияние каждой из Т-волн на динамику ВВП не заканчивается после первого, наиболее активного периода ее действия, а продолжается и в дальнейшем, представляя собой некоторый «технологический остаток» этой Т-волны. Иными словами, технологии, определившие основу данной Т-волны, работают и далее, образуя то разнообразие технологических укладов, о котором еще в 1993 г. писал С.Ю. Глазьев (Глазьев, 1993)⁶. А это приводит к тому, что в отличие от моделей, рассмотренных в приведенном выше обзоре, в данном случае технологические волны не следуют одна за другой, а *накладываются друг на друга* таким образом, что очередная Т-волна начинает свой рост в период действия предыдущей Т-волны. Такое предположение присутствует также и в статьях (Глазьев, 2009), (Клепач, Куранов, 2013), а в статье В.Е. Дементьева (Дементьев, 2012) наложение одной Т-волны на следующую за ней Т-волну рассматривается с точки зрения взаимосвязи инвестиций, сделанных

в период действия каких-то двух (и более) последовательных Т-волн⁷.

При этом быстрый рост Т-волны возникает не сразу, а только после возникновения некоторой совокупности инноваций, создающих «триггерный эффект депрессии» Г. Менша (Mensch, 1979). Этот начальный период можно рассматривать и как время накопления некоторой «критической массы», в течение которого новые технологии притягивают к себе все возрастающую долю финансовых средств и других ресурсов, снижая одновременно с этим их долю в производствах, основанных на предыдущих технологиях. Добавим к этому, что время начала новой Т-волны имеет существенное значение в связи с тем, что, как было показано в (Андрюкович, 2018), запаздывание этого процесса приводит к снижению темпов роста ВВП и даже к его стагнации.

Таким образом, представленная выше модель Т-волн описывает:

- 1) возникновение новых технологий, рождающихся еще в процессе активного действия предыдущей Т-волны;
- 2) усиливающееся влияние новых технологий на экономическое развитие и постепенное уменьшение их влияния;
- 3) сохраняющееся воздействие Т-волны на динамику экономических процессов после прохождения ею первого, самого активного периода.

⁶ Заметим, что влияние технологий, появившихся в рамках предыдущих Т-волн, может быть очень долгим. Например, колесо, придуманное в Центральной Европе как средство передвижения еще в V в. до н.э., стало использоваться в виде водяного колеса для подъема воды в древнем Египте, в виде турбины на гидроэлектростанциях в наше время и т.д. При этом те или иные товары, производившиеся на основе старых технологий, проходят усовершенствование за счет технологий, возникающих в процессе зарождения и развития следующих Т-волн. Продолжая пример с колесом, можно вспомнить, что из деревянного диска и деревянного колеса со ступицами возникло современное колесо из металла с резиновыми шинами.

ПАРАМЕТРЫ ДВ-ТРЕНДА И ПРОБЛЕМЫ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ВВП

Как видно из формулы (1), в модель Т-волн, кроме тех параметров, которые всег-

⁷ В подтверждение важности таких исследований приведем цитату из статьи (Гринин, 2012), в которой автор говорит о том, что «многоукладность в экономике каждой страны (т.е. сосуществование трех–четырех парадигм в одной экономике) не нашла достаточного учета в анализе развития Т-волн» (Гринин, 2012, с. 251).

да используются при их описании – начало Т-волны и длина ее периода, введены два новых параметра, определяющих начальную амплитуду Т-волны λ_i и скорость ее уменьшения α_i . Отметим, что наличие именно этих двух параметров позволяет перейти к моделированию динамики ВВП конкретных стран, так как значения λ_i , определяющие прирост ВВП на каждом шаге его измерения, позволяет это делать для стран с разным уровнем ВВП⁸. То же самое касается и параметра α_i , определяющего, насколько быстро снижается влияние очередной Т-волны в экономике разных стран. При этом в связи с тем, что эти два параметра – амплитуда и скорость ее снижения – не рассматривались никогда ранее и приводимые в литературе графики Т-волн (без соотношения их с величинами реальных ВВП) являлись как по амплитуде, так и по динамике такой Т-волны чисто условными, то понятно, что какие-либо априорные значения амплитуд Т-волн и скорости их снижения, в отличие от начал и длительности периодов Т-волн (см. табл. 1) отсутствуют и должны оцениваться непосредственно по значениям ВВП конкретных стран при одном естественном ограничении: амплитуда Т-волны должна уменьшаться во времени. Кроме того, скорость ее снижения – например, время ее «полузатухания», т.е. время снижения в два раза, – не должна выходить за некоторые, хотя и достаточно мягкие пределы. Например, чтобы это время было хотя бы больше половины длины пери-

ода данной волны, или какое-то другое аналогичное ограничение.

Что же касается традиционных параметров, то в рамках тех положений, которые были сформулированы выше, а именно что очередная Т-волна возникает еще во время активного действия предыдущей Т-волны, общепринятые длины периодов Т-волн, приведенные в табл. 1, должны быть увеличены и могут варьировать от страны к стране, характеризуя различия между ними по времени возникновения и продолжительности активного периода Т-волн.

Не останавливаясь здесь на обсуждении некоторых чисто технических, а точнее, вычислительных, проблем, связанных с верификацией параметров ДВ-тренда в связи с многоэкстремальностью $G(t)$, скажем лишь, что единственным корректным методом оценки параметров этой модели является экспертный метод, описанный в (Андрукович, 2020). В этой статье на основе опыта создания системы из почти 200 совместных уравнений, моделирующих экономику России в годовом разрезе, предлагалось в тех случаях, когда оценки коэффициентов регрессии, полученные по методу наименьших квадратов или аналогичным формальным методам, дают с точки зрения взаимосвязей между регрессорами и моделируемым показателем некорректные значения, получать эти оценки специально разработанным для таких случаев экспертным методом.

А именно предлагалось оценивать параметры модели «вручную» на основе визуального сопоставления степени совпадения графиков самого показателя и его модели, а также по изменениям значений величины $S = (S_{\text{ост}}^2)^{0,5}$ как числового индикатора влияния значений параметров модели на уровень ее соответствия динамике моделируемого показателя. Эта технология была применена для оценки параметров Т-волн и в данном случае. При этом, следуя теории Т-волн, возникающих во времени последовательно, оценки этих параметров также проводились последовательно, начиная с параметров для первой

⁸ Здесь требуется, возможно, некоторое пояснение, связанное с числом точек, в которых рассматриваются значения ВВП при верификации модели. Понятно, что с увеличением числа этих точек кумулятивная сумма будет расти, так как здесь каждый раз прибавляется не прирост за период между двумя последовательными точками, а само значение в данной точке. Однако все эти суммы, вне зависимости от числа точек в том или ином периоде, определяются амплитудой α_i и скоростью ее снижения β_i . Величина $G(t)$, полученная к данному моменту времени по модели, будет такой, какой это требуется для того, чтобы она соответствовала значению ВВП к данному моменту времени.

Т-волны, потом для второй и т.д. до последней, пятой, Т-волны⁹.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВВП США НА ОСНОВЕ СУПЕРПОЗИЦИИ ПЯТИ Т-ВОЛН

Перейдем теперь к изложению результатов моделирования динамики ВВП США, полученным на основе ДВ-тренда $G(t)$, построенного по пяти Т-волнам¹⁰, описывающим разные этапы развития этой страны за период с 1790 по 2018 гг. в ценах 2012 г. Эта страна была выбрана, во-первых, потому, что на ее территории, в отличие от территорий большинства западноевропейских стран, а также

⁹ Таким образом определялись такие параметры первой Т-волны, при которых ее К-тренд как можно более долго соответствовал бы динамике ВВП. После того как эта волна переставала моделировать динамику ВВП, а значение S начинало расти, в расчеты включалась вторая Т-волна, К-тренд которой с учетом К-тренда первой волны строился таким образом, чтобы он соответствовал динамике ВВП в следующий период времени и т.д. до пятой Т-волны (см. рис. 2, z , e).

¹⁰ Шестая Т-волна, которая, по мнению многих исследователей, только начала восходящее движение (см. табл. 1), в данные расчеты не была введена в связи с малым временем ее существования.

России, Японии, Китая и многих других, за последние 150 лет не было войн, нарушавших ее внутреннюю экономическую инфраструктуру. И, во-вторых, потому, что США имеют наиболее мощную и развитую экономику, базирующуюся на использовании новых технологий. Вследствие этих свойств экономики США параметры модели динамики ее ВВП могут послужить определенной «точкой отсчета» при построении аналогичных моделей для ВВП других стран. Отметим, однако, что эти оценки параметров корректны только для последних трех Т-волн, так как первые две из них проходили на фоне войны за независимость и становления государственности этой страны, которая начала формироваться в более или менее современном виде только после окончания в 1865 г. войны Севера и Юга. Понятно, что эта ситуация влияла на характер экономических процессов в США в этот период времени.

Результаты проведенных расчетов представлены в табл. 2 и на рис. 1, на котором графики динамики пяти Т-волн и соответствующих им К-трендов, совмещенных с графиками динамики ВВП США и ДВ-тренда, кроме их динамики за весь период в целом (рис. 1, a , b), показаны для большей наглядности отдельно за периоды 1790–1880 гг. (рис. 1, $в$, $г$) и 1880–1950 гг. (рис. 1, $д$, $е$). Кроме того, на рис. 2 представлены графики долей К-трендов в ДВ-тренде, т.е. долей ВВП, созданных соответствующими Т-волнами. Эти кривые,

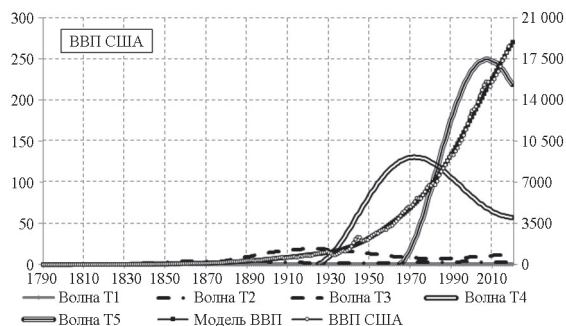
Таблица 2
Оценки параметров пяти Т-волн для ВВП США, полученные экспертным методом

№ волны	Годы начала Т-волн	Периоды Т-волн, годы	Год первого максимума	Год смены главного тренда	Начальные амплитуды Т-волн, млрд долл.	Время уменьшения амплитуды в 2 раза, годы*
1-я Т-волна	1770	120	1827	–	0,4	100,0
2-я Т-волна	1820	120	1877	1851	2,2	100,0
3-я Т-волна	1865	120	1922	1899	11,3	90,0
4-я Т-волна	1925	100	1972	1952	83,1	60,0
5-я Т-волна	1965	90	2008	2015	155,6	60,0

*Показатель в этом столбце равен $-\ln(2)/\alpha$, где α – из (1).

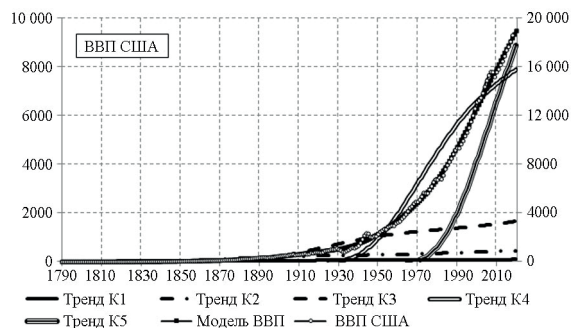
Источники: расчеты автора на основании www.measuringworth.com.

Динамика Т-волн ($K_i(t)$), ДВ-тренда ($G_i(t)$) и ВВП США

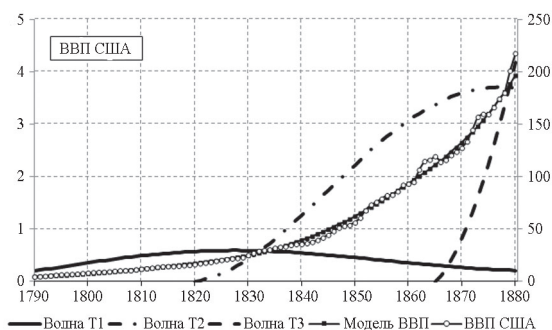


а) 1790–2020 гг.

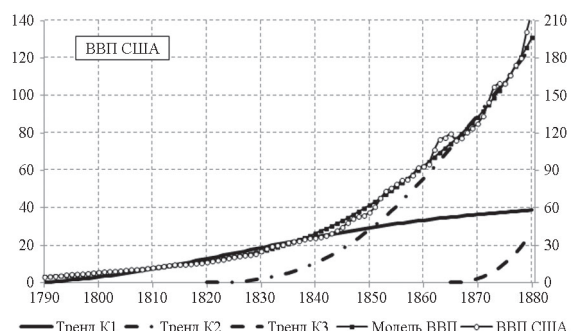
Кумулятивные значения Т-волн ($Q_i(t)$), ДВ-тренда ($G_i(t)$) и ВВП США



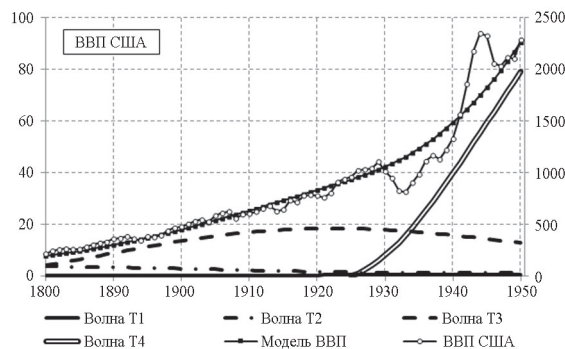
б) 1790–2020 гг.



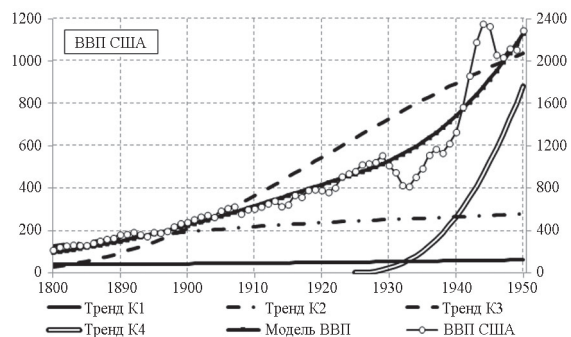
в) 1790–1880 гг.



г) 1790–1880 гг.



д) 1880–1950 гг.



е) 1880–1950 гг.

Рис. 1. Динамика ВВП США и его модели (ДВ-тренда), пяти Т-волн и их К-трендов за весь исследуемый период (1790–2020 гг.), за периоды 1790–1880 гг. и 1880–1950 гг., млрд долл.

Примечание. Значения ДВ-тренда и ВВП США отложены по правой шкале.

Источники: www.measuringworth.com, расчеты автора.

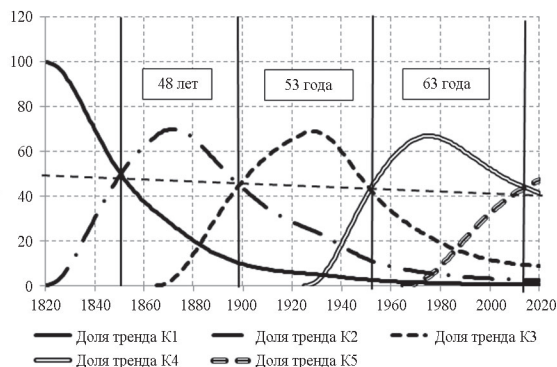


Рис. 2. Доли вкладов Т-волн (К-трендов) в значения ДВ-тренда (%) и длительности периодов между сменами главных трендов (расчеты автора)

естественно, делятся на три части, первую из которых (до ее пересечения с предыдущим К-трендом) можно определить как период *латентного развития* данной Т-волны, вторую, среднюю, часть — как период ее *главного тренда* и третью часть — как *технологический след* данной Т-волны в последующее время.

Первая Т-волна, начало которой, по нашим оценкам, приходится на 1770 г.¹¹, олицетворяла еще преимущественно доиндустриальные технологии в земледелии и ремеслах и лишь начало замены ручного труда механизмами. Вот как пишет Д. Макинерни об этом периоде: «Речь идет о возникновении “рыночной экономики” — таком режиме хозяйственной жизни, когда, во-первых, американцы стали производить товаров гораздо больше, чем диктовали потребности их семей; во-вторых, результаты труда стали зависеть не только от затраченных усилий... но и от производственных механизмов» (Макинерни, 2009, с. 182).

¹¹ Достаточно очевидно, что формально начало той или иной Т-волны, как и другие характеристики Т-волн, могут быть определены с точностью до одного года. Однако в связи с постепенным, поначалу почти незаметным уровнем внедрения новых технологий везде далее годы начала Т-волн и некоторые другие их характеристики указываются с точностью до 5 лет.

Длительность периода этой Т-волны составила 120 лет, а начальная амплитуда — около 400 млн долл. Своего максимального значения она достигла к 1827 г., а время, за которое ее активность уменьшилась в два раза, составило 100 лет. Таким образом, ее роль в экономике США снижалась достаточно медленно, и вклад ее главного тренда в динамику ВВП США превышал вклад К-тренда следующей за ней второй Т-волны вплоть до 1851 г. (см. рис. 2).

Зарождение второй Т-волны началось, по нашим оценкам, в 1820 г., с амплитудой в 2,2 млрд долл. Ее период и скорость снижения амплитуды были такими же, как у первой Т-волны, т.е. какого-либо ускоренного технологического развития США в эти годы с точки зрения динамики Т-волн не наблюдалось. Своего максимума она достигла в 1877 г., а вклад ее главного тренда в экономику США превышал вклад следующей за ней третьей Т-волны почти до конца XIX в. (1899 г.), в результате чего период ее наибольшего влияния на экономику США продолжался около 50 лет — с 1851 до 1899 г. (см. рис. 2). Эта Т-волна привнесла в экономику США все более и более усложняющиеся механизмы и технологии, а также принципиально другую систему организации производства, заключавшуюся в появлении и широком распространении «фабрик», т.е. объединения «под одной крышей» многих рабочих, разделения их по более узким специализациям и т.д.

Возникновение технологий, характерных для третьей Т-волны, приходится на 1865 г. Эта волна ознаменовала собой начало II промышленной революции в США, когда американская промышленность начала активно переходить от производства сырья и продовольствия к производству машин и оборудования и экспорту этих товаров в Европу. Длительность ее периода, однако, не уменьшилась и составила те же 120 лет, что и у первых двух Т-волн, в основном в результате того, что процесс внедрения новых производств шел крайне неравномерно, ре-

гулярно порождая кризисные ситуации. Так, в период с 1860 по 1920 г. кризисы следовали один за другим с интервалами в 10–11 лет¹² и даже чаще и закончились катастрофическим падением котировок акций на Нью-Йоркской фондовой бирже в октябре 1929 г. и последовавшими за этими событиями Великой депрессией. При этом начальная амплитуда этой Т-волны при значении в 11,3 млрд долл. снижалась быстрее, чем у предыдущих двух Т-волн, т.е. приросты ВВП от года к году росли медленнее, чем в предыдущие периоды времени. Все это привело к тому, что если среднегодовой темп роста ВВП в период главного тренда второй Т-волны, имевшего место с 1851 по 1899 г., составил 4,3%, то для третьей Т-волны этот рост составил в аналогичный для нее период всего 3,4%.

Возникновение технологий, характеризующих, по общему мнению¹³, четвертую Т-волну, началось в США только через 60 лет после формирования третьей Т-волны, и ее начало приходится, по нашим оценкам, на 1925 г. Следует отметить, что этот год, через четыре года после которого произошел обвал фондового рынка США, а их экономика ушла в длительную депрессию, на первый взгляд кажется не совсем подходящим годом для возникновения новых технологий. Однако именно депрессия в экономике считается одной из причин более активного развития новых технологий и новых бизнес-моделей, которые и помогают преодолеть это состояние (Mensch, 1979). Очевидно, именно эта ситуация и поспособствовала тому, что рост новых технологий оказался в дальнейшем столь быстрым и эффективным. Так, за период с 1921 по 1929 г., т.е. после кризиса 1921 г.,

среднегодовой темп роста ВВП США составил 4,8%, а за аналогичный период с 1913 по 1920 г. – всего 2,2%. Кризис 1929–1933 гг. лишь ненадолго задержал наступление новых технологий. Длина периода этой волны составила уже 90 лет, время двойного снижения ее активности – 60 лет, а начальная амплитуда выросла относительно амплитуды третьей Т-волны более чем в 7 раз (см. табл. 2). В результате этого ее доля в ВВП США превысила соответствующую долю третьей Т-волны уже к началу 1950-х гг., т.е. всего через 20 лет после зарождения основных технологий этой Т-волны (см. табл. 2). При этом длительность ее главного тренда, т.е. преобладания этой Т-волны в экономике США, составила 63 года (см. рис. 2).

Появление технологий, составивших основу пятой Т-волны и символизирующей, как общепринято считать, переход экономики от индустриального к постиндустриальному типу развития (Белл, 1999; Иноземцев, 2000), в США пришлось, по модели ДВ-тренда, на 1965 г. То есть, по данной модели, переход на эти технологии начался существенно раньше, чем это принято считать в классической теории Т-волн (см. табл. 1). Период этой волны, а также скорость снижения ее амплитуды, по полученным нами оценкам, остались теми же, что и у четвертой Т-волны, а максимальный годовой уровень ее вклада в ВВП США пришелся на 2010 г.¹⁴ Однако по вкладу в ВВП США она только в 2015 г. превзошла вклад четвертой Т-волны (см. рис. 2), т.е. нарастание ее влияния происходило гораздо медленнее – 63 года против 53 лет в предыдущем случае, как отмечалось выше. Простой расчет, однако, показывает, что основную роль здесь сыграл кризис 2008–2009 гг. Иными словами, если, используя сослагательное наклонение, предположить, что этого кризиса не было, и скорректировать динамику ВВП США за 2008 и 2009 гг. по среднеквадратичным тем-

¹² В 1863, 1873, 1884, 1893, 1907, 1919 гг., т.е., вообще говоря, следуя циклам К. Жюгляра.

¹³ Перечисление этих основных технологий и товаров в данном тексте, посвященном описанию модели ДВ-тренда, не приводится, так как они хорошо известны и соответствующие характеристики разных Т-волн можно встретить во многих публикациях по данной проблеме (см., например, (Глазьев, 1993, табл. 1)).

¹⁴ Этот год рассматривается как максимальное проявление пятой Т-волны и в статье (Давыдов, 2010).

пам его роста за предыдущие семь лет¹⁵, а последующие значения до 2018 г. пересчитать от этой новой базы по темпам роста, которые наблюдались после 2009 г., то в 2018 г. ВВП США оказался бы на 5,0% больше, чем это было на самом деле. При этом год превышения влияния пятой Т-волны над влиянием четвертой Т-волны сдвигается назад, на 2009 г., а главный тренд четвертой Т-волны уменьшается до 56 лет.

Эта коррекция динамики пятой Т-волны по скорректированным значениям ВВП США приводит к тому, что мы получаем достаточно интересный результат, а именно что интервалы между годами смены главного тренда с учетом этой коррекции динамики ВВП США почти равны классическим периодам Т-волн, т.е. примерно 50–60 годам. Более того, если рассмотреть верхнюю часть рис. 2 (выше пунктирной линии), то оказывается, что динамика главных трендов Т-волн очень хорошо соответствует тем условным графикам, о которых говорилось в начале этой статьи и которые обычно приводятся в рамках классической теории Т-волн, т.е. когда следующая Т-волна начинается после того, как закончила свое действие предыдущая Т-волна, и т.д. Заметим также, что такое представление о Т-волнах, как это видно из рис. 2, описывает, условно говоря, лишь «вершину айсберга», в то время как многие другие события экономической жизни происходят ниже этой пунктирной линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим в заключение, что Т-волны определяют динамику ВВП США, конечно, не полностью. Это хорошо видно на примере отклонений ДВ-тренда от значений ВВП США в период 1930–1950 гг., наличии циклов Жю-

гляра в конце XIX – первой четверти XX в. и в конце XX – первой четверти XXI в., а также других, более локальных отклонений. Иными словами, данная модель описывает только основные тренды в экономике США. Тем не менее представленные выше результаты расчетов показывают, что моделирование динамики ВВП в виде ДВ-тренда из формулы (3) вполне возможно, и, главное, такие модели делают теорию Т-волн целостной, позволяя не вводить в модели ВВП экзогенные тренды. При этом годы возникновения Т-волн и длительность периодов между сменами главного тренда совпадают с классической теорией. Заметим также, что одним из возможных применений модели ДВ-тренда является сравнение параметров Т-волн – моментов их начального возникновения, длительности их периодов в целом и периодов их наиболее активного проявления, а также величин начальных амплитуд и скорости их снижения – при описании данной моделью динамики развития экономики разных стран, включая Россию.

Список литературы / References

- Акаев А.А. (2009). Современный финансово-экономический кризис в свете теории инновационно-технологического развития экономики и управления инновационным процессом // Системный мониторинг: Глобальное и региональное развитие / под ред. Д.А. Халтуриной, А.В. Коротаева. М.: УРСС. С. 141–162. [Akaev A.A. (2009). Modern financial and economic crisis in the light of the theory of innovative and technological development of the economy and management of the innovation process. *System monitoring: Global and regional development*. Ed. by D.A. Khalturina, A.V. Korotaev. Moscow, UrRSS, pp. 141–162 (in Russian).]
- Акаев А.А., Хироока М. (2009). Об одной математической модели для долгосрочного прогнозирования динамики инновационно-экономического развития // Доклады Академии

¹⁵ После существенного замедления темпа роста ВВП США в 2001 г.

- наук. Т. 425. № 6. С. 727–732. [Akaev A.A., Hirooka M. (2009). On a mathematical model for long-term forecasting of the dynamics of innovation and economic development. *Reports of the Academy of Sciences*, vol. 425, no. 6, pp. 727–732 (in Russian).]
- Акаев А.А., Турдуев М. (2010). Об одном подходе к математическому описанию долговременной динамики экономического развития, основанном на учении о больших циклах Н.Д. Кондратьева // Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики / под ред. А.А. Акаева, А.В. Коротаева, Г.Г. Малинецкого. М.: Издательство ЛКИ. Гл. 2. [Akaev A.A., Turduev M. (2010). On one approach to the mathematical description of the long-term dynamics of economic development, based on the doctrine of large cycles by N.D. Kondratieff. *Forecast and modeling of crises and world dynamics*. Ed. by A.A. Akaev, A.V. Korotaev, G.G. Malinetsky. Moscow: LKI Publishing house, ch. 2 (in Russian).]
- Акаев А.А. (2012). Математические основы инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера–Кондратьева // Кондратьевские волны: аспекты и перспективы / под ред. А.А. Акаева, Р.С. Гринберга и др. Волгоград: Учитель. С. 314–341. [Akaev A.A. (2012). Mathematical foundations of the innovation-cyclical theory of economic development by Schumpeter–Kondratieff. *Kondratieff waves: aspects and prospects*. Ed. by A.A. Akaev, R.S. Grinber. Volgograd, Uchitel, p. 314–341 (in Russian).]
- Андрукович П.Ф. (2018). Модель тренда в рамках теории длинных волн // Теория и практика институциональных преобразований в России / под ред. Б. Ерзнкяна. М.: ЦЭМИ. № 44. С. 26–34. [Andrukovich P.F. (2018). Trend model in the framework of the theory of long waves. *Theory and practice of institutional transformations in Russia*, no. 44, pp. 26–34 (in Russian).]
- Андрукович П.Ф. (2020). Заметки о принципах построения моделей прогноза экономических показателей (на примере прогнозной системы «ProRosEc») // Экономика и математические методы. Т. 56. № 2 (56). С. 66–76. [Andrukovich P.F. (2020). Notes on the principles of constructing models for economic indicators predicting (with «ProRosEc» forecast system as an example). *Economics and Mathematical Methods*, vol. 56, no. 2, pp. 66–76 (in Russian).]
- Белл Д. (1999). Грядущее постиндустриальное общество. М.: Академия. [Bell D. (1999). The future post-industrial society. Moscow, Academy (in Russian).]
- Глазьев С.Ю. (1993). Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: Владар. [Glazyev S.Yu. (1993). Theory of long-term technical and economic development. Moscow, Vladar (in Russian).]
- Глазьев С.Ю. (2009). Мировой экономический кризис как процесс смены технологических укладов // Вопросы экономики. № 3. С. 26–32. [Glazyev S.Yu. (2009). The world economic crisis as a process of changing technological structures. *Voprosy Ekonomiki*, no. 3, pp. 26–32 (in Russian).]
- Гринин Л.Е. (2012) Кондратьевские волны, технологические уклады и теория производственных революций // Кондратьевские волны. Аспекты и перспективы / отв. ред. А.А. Акаев, Р.С. Гринберг и др. Волгоград: Учитель. С. 222–262. [Grinin L.E. (2012). Kondratieff waves, technological structures and the theory of production revolutions. *Kondratieff waves. Aspects and perspectives*. Ed. by A.A. Akaev, R.S. Grinberg et al. Volgograd, Uchitel, pp. 222–262 (in Russian).]
- Гринин Л.Е., Коротаев А.В. (2012). Глобальный кризис в ретроспективе. Краткая история подъемов и кризисов: от Ликурга до Алана Гринспена. М.: Либроком. 336 с. [Grinin L.E., Korotaev A.V. (2012). Global crisis in retrospect. A brief history of rises and downs: from Lycurgus to Alan Greenspan. Moscow, Librokom, 336 p. (in Russian).]
- Давыдов А.Ю. (2010) «Большие циклы» американской экономики // США. Канада. Экономика–политика–культура. № 2. С. 3–18. [Davydov A.Yu. (2010) “Big cycles” of the American economy. *Canada. Economy–politics–culture*, no. 2, pp. 3–18 (in Russian).]
- Дементьев В.Е. (2012). Длинные волны в экономике: инвестиционный аспект // Препринт

- # WP/2012/297. М.: ЦЭМИ РАН. 59 с. [Dementyev V.E. (2012). Long waves in the economy: investment aspect. Preprint # WP/2012/297. Moscow, CEMI RAS, 59 p. (in Russian).]
- Дементьев В.Е. (2014). Циклы Кондратьева и постиндустриальная экономика // Экономические науки современной России. № 4 (67). С. 7–19. [Dementyev V.E. (2014). Kondratieff cycles and post-industrial economics. *Economic Sciences of Contemporary Russia*, no. 4 (67), pp. 7–19 (in Russian).]
- Дубовский С.В. (2012). Моделирование циклов Кондратьева и прогнозирование кризисов // Кондратьевские волны: аспекты и перспективы. С. 179–188. [Dubovsky S.V. (2012). Modeling Kondratieff cycles and predicting crises. *Kondratieff waves: aspects and prospects*, pp. 179–188 (in Russian).]
- Иноземцев В.Л. (2000). Современное постиндустриальное общество: природа, противоречия, перспективы. Введение. М.: Логос. [Inozemtsev V.L. (2000). Modern post-industrial society: Nature, contradictions, and perspectives. Introduction. Moscow, Logos (in Russian).]
- Клепач А.Н., Куранов Г.О. (2013). О циклических волнах в развитии экономики США и России // Вопросы экономики. № 11. С. 4–33. [Klepach A.N., Kuranov G.O. (2013). On cyclical waves in the development of the US and Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, no. 11, pp. 4–33 (in Russian).]
- Кондратьев Н.Д. (1925). Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. Т. 1. № 1. С. 28–79. [Kondratieff N.D. (1925). Big cycles of conjuncture. *Voprosy Konjunktury*, vol. 1, no. 1, pp. 28–79 (in Russian).]
- Кондратьев Н.Д. (1989). Проблемы экономической динамики. М.: Экономика. [Kondratieff N.D. (1989). Problems of economic dynamics. Moscow, Ekonomika (in Russian).]
- Кондратьев Н.Д. (2002). Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М.: Экономика. [Kondratieff N.D. (2002). Large cycles of conjuncture and the theory of foresight. Moscow, Ekonomika (in Russian).]
- Коротаев А.В. (2006). Периодизация истории мир-системы и математические макромодел социально-исторических процессов // История и математика: проблемы периодизации исторических макропроцессов / под ред. Л.Е. Гринина, А.В. Коротаева, С.Ю. Малкова. М.: УРСС. С. 116–167. [Korotayev A.V. (2006). Periodization of the history of the World-system and mathematical macromodels of socio-historical processes. *History and mathematics: problems of periodization of historical macro processes*. Ed. by L.E. Grinin, A.V. Korotaev, S.Yu. Malkov. Moscow, URCC, pp. 116–167 (in Russian).]
- Коротаев А.В., Цирель С.В. (2010). Кондратьевские волны в мир-системной экономической динамике // Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики / под ред. А.А. Акаева, А.В. Коротаева, Г.Г. Малинецкого. М.: Издательство ЛКИ. Гл. 10. [Korotayev A.V., Cirel S.V. (2010). Kondratieff waves in the world-system economic dynamics. *Forecast and modeling of crises and world dynamics*. Ed by A.A. Akaev, A.V. Korotaev, G.G. Malinetsky. Moscow, LKI Publishing House, ch. 10 (in Russian).]
- Костюк В.Н. (2002). Длинные волны Кондратьева и теория долговременного экономического роста // Общественные науки и современность. № 6. С. 90–97. [Kostyuk V.N. (2002). Kondratieff long waves and the theory of long-term economic growth. *Social Sciences and Modernity*, no. 6, pp. 90–97 (in Russian).]
- Маевский В.И. (1994). Экономическая эволюция и экономическая генетика // Вопросы экономики. № 5. С. 4–21. [Mayevsky V.I. (1994). Economic evolution and economic genetics. *Voprosy Ekonomiki*, no. 5, pp. 4–21 (in Russian).]
- Макинерни Д. (2009). США. История страны. М.: Эксмо; СПб.: Мидгард. 736 с. [McInerney D. (2009). USA. A traveler's history of the USA. Moscow, Eksmo; SPb/: Midgard, 736 p. (in Russian).]
- Малков С.Ю., Кирдина С.Г. (2010). Иерархия моделей мировой динамики и глобальные социально-экономические процессы. Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики. М.: Издательство ЛКИ. С. 249–261. [Malkov S.Yu., Kirdina S.G. (2010). Hierarchy of world dynamics models and global socio-economic processes. Forecasting and modeling of crises and global

- dynamics. Moscow, LKI Publishing House, pp. 249–261 (in Russian).]
- Меньшиков С.М., Клименко Л.А. (1989). Длинные волны в экономике: когда общество меняет кожу. М.: Международные отношения. [Menshikov S.M., Klimenko L.A. (1989). Long waves in the economy: When society changes its skin. Moscow, International Relations (in Russian).]
- Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В., Малков С.Ю. (2012). Моделирование и прогнозирование мировой динамики // Научный совет по программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Экономика и социология знания». М.: ИСПИ РАН. [Sadovnichy V.A., Akaev A.A., Korotaev A.V., Malkov S.Yu. (2012). Modeling and forecasting of world dynamics. *Scientific Council for the program of fundamental research of the RAS Presidium "Economics and sociology of knowledge"*. Moscow, ISPI RAS (in Russian).]
- Смирнов А.С. (2012). Еще раз о мифе кондратьевских волн // Экономист. № 4. С. 36–60. [Smirnov A.S. (2012). One more time about the myth of the Kondratieff waves. *The Economist*, no. 4, pp. 36–60 (in Russian).]
- Шумпетер Й. (1982). Теория экономического развития. М.: Прогресс. [Schumpeter J.A. (1982). The theory of economic development. Moscow, Progress (in Russian).]
- Яковец Ю.В. (1993). Научное наследие Н.Д. Кондратьева: современные оценки // Н.Д. Кондратьев. Избранные сочинения. М.: Экономика. С. 8–13. [Yakovets Yu.V. (1993). Scientific N.D. Kondratieff heritage: modern estimates. *Kondratieff N.D. Selected works*. Moscow, Ekonomika, pp. 8–13 (in Russian).]
- Juglar C. (1862). Des crises commerciales et de leur retour périodique en France, en Angleterre et aux Etats-Unis. 2nd ed. Paris: Librairie Guillaumin et Cie.
- Hirooka M. (2006). Innovative dynamism and economic growth. A nonlinear perspective. Cheltenham (UK); Northampton (USA): Edward Elgar.
- Kitchin J. (1923). Cycles and trends in economic factors. *Review of Economics and Statistics*, vol. 5, no. 1, pp. 10–16.
- Kuznets S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, vol. 45, no. 1, pp. 1–28.
- Kuznets S. (1960). Population change and aggregate output. Demographic and Economic.
- Mensch G. (1979). Stalemate in Technology – innovations overcome the depression. N.Y., Ballinger.

Рукопись поступила в редакцию 24.01.2020 г.

GDP DYNAMICS AS A SUPERPOSITION OF N.D. KONDRATIEFF TECHNOLOGICAL WAVES

P.F. Andrukovich

DOI: 10.33293/1609-1442-2020-2(89)-7-22

Petr F. Andrukovich, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; streletspa@yandex.ru.

A review of publications on the theory of long waves by Kondratieff–Schumpeter has shown that one of the imperfect elements of this theory in the case of modeling on their basis of GDP dynamics is the correlation of the dynamics of these waves with the dynamics of the observed values of GDP. The point is that the mathematical models currently used to describe periodic fluctuations in economic activity under this theory have a horizontal trend, and when moving to describe the growing (or declining) dynamics of GDP, it is necessary to include an exogenous trend that is not related to this theory in any way. This situation violates its integrity and often serves as one of the arguments against the adequacy of this theory to real economic processes. This article proposes a model of GDP dynamics based on the superposition of long Kondratieff waves and does not require the inclusion of exogenous trend. In this model, in addition to the generally accepted parameters of long waves, namely, the beginning and length of the wave period, two new parameters arise: the magnitude of its amplitude and the rate of change of this amplitude. These parameters allow you to

configure the GDP model to describe the dynamics of the GDP of different countries, taking into account their real differences in the size of GDP. The problems of verification of the parameters of the proposed model arising in connection with the multi-extremality of the function describing this model are considered. Verification of the parameters of this model on specific data is carried out on the values of US GDP for the period from 1790 to 2018. The results of testing the model showed that the superposition of long Kondratieff–Schumpeter waves well describe the dynamics of US GDP over the entire period, and the model parameters are quite consistent with their generally recognized values.

Keywords: GDP USA, long waves, Kondratieff, periodic functions, technological structures, parameter estimation.

JEL: C51, C63, E32, O11, O51.

Manuscript received 24.01.2020

О ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ В КОНТЕКСТЕ СИСТЕМНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ¹

*С.Н. Сильвестров, В.П. Бауэр,
В.В. Еремин, Н.В. Лапенкова*

DOI: 10.33293/1609-1442-2020-2(89)-22-45

Цель статьи – разработка модели цифровой трансформации предприятия в контексте системной экономической

© Сильвестров С.Н., Бауэр В.П., Еремин В.В.,
Лапенкова Н.В., 2020 г.

Сильвестров Сергей Николаевич, д.э.н., профессор, Заслуженный экономист РФ, директор Института экономической политики и проблем экономической безопасности, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Москва, Россия; silvestrsn@gmail.com. ORCID: 0000-0002-7678-1283

Бауэр Владимир Петрович, д.э.н., доцент, директор Центра стратегического прогнозирования и планирования Института экономической политики и проблем экономической безопасности, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Москва, Россия; bvr09@mail.ru. ORCID: 0000-0002-6612-3797

Еремин Владимир Владимирович, к.э.н., ведущий научный сотрудник Центра мониторинга и оценки экономической безопасности Института экономической политики и проблем экономической безопасности, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Москва, Россия; villy.eremin@gmail.com. ORCID: 0000-0002-2144-3543

Лапенкова Наталья Владимировна, младший научный сотрудник Центра мониторинга и оценки экономической безопасности Института экономической политики и проблем экономической безопасности, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Москва, Россия; NVLapenkova@fa.ru

¹ Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ».