

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ДИНАМИКИ СВОДНЫХ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ И ДИНАМИКИ ВИДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКЕ<sup>1</sup>

**Н.В. СУВОРОВ**, доктор экономических наук, профессор. E-mail: suvor\_n@ecfor.ru,  
Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук,  
Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-6000-1177

**С.В. ТРЕЩИНА**, кандидат экономических наук. E-mail: svetlana\_treshin@mail.ru,  
Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук,  
Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-5761-9099

**Ю.В. БЕЛЕЦКИЙ**, кандидат экономических наук. E-mail: beletsky@rambler.ru,  
Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук,  
Москва, Россия

*В статье представлены результаты количественного анализа взаимосвязи динамики отдельных видов экономической деятельности и сводных макроэкономических индикаторов применительно к российской экономике в период 1995-2016 гг. Установлено наличие фактора цикличности во взаимосвязи динамики отдельных видов деятельности и макроэкономических индикаторов в исследуемый период. Проанализированы возможности использования специального класса функций времени (на основе преобразования Фурье) для моделирования экономической динамики на уровне отдельных видов деятельности.*

*Ключевые слова:* экономическая динамика, виды экономической деятельности, сводные макроэкономические индикаторы, регрессионная модель, преобразование Фурье.

DOI: 10.47711/0868-6351-189-31-42

**Введение.** В работе [1] нами рассмотрен вопрос разработки модельного инструментария, обеспечивающего согласование перспективных индикаторов динамики макроэкономического и отраслевого уровней (или уровня отдельных видов экономической деятельности). Как в ней указано, данная проблема традиционно признается важнейшим элементом прогнозных построений (выполненных в количественных терминах) для различных временных горизонтов прогнозной перспективы. Исторически эта проблема обусловлена, прежде всего, тем, что процесс разработки перспективных показателей экономического развития с неизбежностью проходит стадии формирования сводных макроэкономических показателей и дальнейшей их детализации в показатели динамики отдельных видов экономической деятельности (ВЭД) или отраслей.

В основе разработанного нами подхода к решению проблемы согласования, указанной выше, лежит метод главных компонент. Формально-математические и статистические проблемы применения метода главных компонент для решения данной проблемы достаточно подробно изложены в [1]. В связи с этим здесь лишь кратко отметим наиболее существенные моменты проведенного исследования.

---

<sup>1</sup> Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-010-00344 «Теоретико-методологические и прикладные аспекты разработки модельного инструментария и методов долгосрочного прогнозирования динамики отечественной экономики»).

Во-первых, предметом количественного анализа являлись временные ряды темпов изменения объемов валового выпуска в разрезе 18-ти видов деятельности, относимых к реальному сектору отечественной экономики. Анализируемые временные ряды охватывали период с 1996 по 2016 г.

Во-вторых, совокупность исходных временных рядов, упомянутых выше, преобразовывалась в совокупность взаимно ортогональных переменных (главных компонент), число которых также равно 18. Это позволило представить временной ряд темпов изменения выпуска каждого из видов деятельности, вовлеченных в анализ, в виде линейной комбинации главных компонент.

В-третьих, осуществлялся анализ значимости различных главных компонент с точки зрения их вклада в формирование динамики выпуска отдельных ВЭД<sup>2</sup>.

В контексте данной работы наиболее существенными являются следующие результаты, полученные в ходе исследования, описанного в [1].

1. Анализ на основе главных компонент позволяет заключить, что ряды динамики ВЭД, охваченные исследованием, характеризуются наличием существенных взаимных корреляций. Проявление этого в количественном плане – темпы изменения выпуска каждого из анализируемых ВЭД могут быть с большой степенью точности аппроксимированы небольшим числом главных компонент. При этом применительно ко всем без исключения видам экономической деятельности первая главная компонента объясняет наибольшую часть вариации темпов изменения их выпуска.

2. Построение регрессионных моделей, связывающих динамику первой главной компоненты с годовыми темпами изменения суммарного выпуска реального сектора, как и с соответствующими темпами изменения ВВП, позволяет сделать вывод о наличии чрезвычайно тесной статистической связи указанных выше индикаторов. Коэффициенты множественной детерминации уравнений, связывающих первую главную компоненту с динамикой указанных выше макроэкономических индикаторов, превышают 90% (при том, что в упомянутые модели входят переменные, имеющие размерность темпов прироста или снижения). Иными словами, анализ отчетных статистических данных свидетельствует о том, что с точки зрения решения задачи согласования динамики экономических индикаторов макро- и отраслевого уровней задание общих показателей темпов экономического развития отечественной экономики в значительной мере предопределяет динамику темпов изменения выпуска отдельных ВЭД. В общенаучном плане проведенные исследования свидетельствуют о наличии весьма тесных взаимосвязей между динамикой наиболее общих макроэкономических индикаторов, с одной стороны, и динамикой отдельных ВЭД – с другой.

Предмет данной работы – углубление и развитие анализа, результаты которого описаны в [1]. Настоящее исследование включало, прежде всего, уточнение характера и специфики взаимосвязи динамики ВВП, суммарного выпуска реального сектора (ВВрс) с главными компонентами, наиболее существенными для объяснения динамики отдельных ВЭД.

Далее осуществлялся количественный анализ наличия потенциально возможных взаимосвязей темпов изменения различных функциональных элементов ВВП (конечного потребления домашних хозяйств, потребления государственных и некоммерческих организаций, валового накопления, экспорта, импорта) и динамики главных компонент, наиболее существенных с точки зрения описания темпов изменения выпуска ВЭД, охваченных расчетами<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Основная идея компонентного анализа – выяснение степени взаимосвязи (в статистическом смысле) рядов исходных переменных. Соответственно, чем более сильно коррелированы ряды исходных переменных, тем меньше число главных компонент, существенных для описания этих исходных рядов (см., в частности [1-3]).

<sup>3</sup> Очевидно, что наличие существенной корреляции между главными компонентами и динамикой ВВП как суммы его функциональных элементов может быть, в принципе, обусловлено наличием еще более тесной статистической взаимосвязи между главными компонентами и отдельными функциональными элементами ВВП.

Результаты указанных двух стадий количественного анализа позволяют представить ретроспективные значения годовых темпов изменения каждого вида деятельности ( $v_{it}$ ) в виде суммы двух составляющих:

$$v_{it} = d^M_{it} + d^S_{it}, \quad (1)$$

где  $d^M_{it}$  – вклад динамики макроэкономических индикаторов,  $d^S_{it}$  – вклад прочих (специфических) факторов (не связанных непосредственно с динамикой обобщающих макроэкономических индикаторов) в динамику каждого  $i$ -го ВЭД,  $t$  – индекс года ретроспективного периода.

Конечная стадия исследования – рассмотрение вопроса о факторах, которые могли бы определять указанную выше «остаточную» динамику  $d^S_{it}$  отдельных ВЭД в ретроспективном периоде. С точки зрения проблемы разработки модельного инструментария долгосрочного прогнозирования, рассматриваемой в [1], это необходимо как для максимально точного описания ретроспективных данных о динамике выпуска отдельных ВЭД, так и для обоснования динамики видов экономической деятельности в перспективном периоде.

**Уточнение характера взаимосвязи динамики главных компонент с динамикой ВВП и ВВрс.** Как отмечено, в [1] констатировано наличие чрезвычайно тесной статистической связи между динамикой первой главной компоненты и годовыми темпами изменения ВВП (и ВВрс). Кроме того, была выявлена достаточно существенная (в статистическом плане) связь динамики ВВП и ВВрс с третьей главной компонентой.

Уточнение характера взаимосвязи динамики главных компонент с динамикой этих показателей осуществлялось с учетом гипотезы, что текущие показатели динамики выпуска отдельных ВЭД могут быть связаны как с текущими (т. е. синхронными) показателями динамики обобщающих макроэкономических показателей, так и их лаговыми (запаздывающими) значениями. Здесь имеется в виду, что текущие значения темпов изменения выпуска отдельных ВЭД в общем случае могут быть обусловлены (по крайней мере, частично) предшествующей динамикой сводных макроэкономических показателей.

Были рассмотрены два варианта лаговых зависимостей, линейные по искомым (оцениваемым) параметрам.

1. Сосредоточенный лаг, когда объясняемая переменная  $y_t$  статистической модели года  $t$  связана с объясняющей переменной  $x$  года  $(t-1)$ , либо  $(t-2)$  и т.д., т. е.:

$$y_t = \alpha + \beta_1 x_{t-1}, y_t = \alpha + \beta_1 x_{t-2}, \dots, \quad (2)$$

либо

$$y_t = \alpha + \beta_1 x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2}, y_t = \alpha + \beta_1 x_{t-2} + \beta_2 x_{t-3}, \dots, \quad (3)$$

где  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  – структурные параметры соответствующих уравнений, которые должны быть определены по отчетным данным<sup>4</sup>.

2. Распределенный (бесконечный) геометрический лаг, когда объясняемая переменная статистической модели зависимости обусловлено текущим и предшествующим значениями объясняющей переменной, в виде:

$$y_t = \beta(x_t + \alpha) + \beta(x_{t-1} + \alpha) + \lambda^2 \beta(x_{t-2} + \alpha) + \lambda^3 \beta(x_{t-3} + \alpha) + \dots, \quad (4)$$

где  $\alpha, \beta, \lambda$  – структурные параметры модели, при этом  $\lambda$  – знаменатель геометрической прогрессии.

При соблюдении условия  $-1 < \lambda < 1$  модель (4) приводится к виду, включающему конечное число членов:

$$y_t = \beta(x_t + \alpha) + \lambda y_{t-1} = \gamma + \beta x_t + \lambda y_{t-1}, \text{ где } \gamma = \beta \alpha. \quad (5)$$

<sup>4</sup> В силу ограниченности исходных временных рядов статистических данных в уравнениях со сосредоточенным лагом не рассматривались зависимости, включающие более двух объясняющих лаговых переменных.

Представление модели типа (4) в виде (5) обеспечивает возможность оценивания структурных параметров выражения (4) традиционными статистическими методами.

В табл. 1 приведены значения структурных параметров и статистические характеристики моделей (связывающих годовые величины отдельных главных компонент с годовыми темпами изменения ВВП), которые по результатам проведенных расчетов были признаны наиболее приемлемыми.

Таблица 1

Варианты моделей, описывающих взаимосвязь главных компонент с темпами изменения ВВП и их количественные характеристики\*

Первая главная компонента ( $z_1$ )	
Вид модели	Результаты оценивания
Сосредоточенный лаг (см. (2)-(3)): $z_{1t} = \alpha + \beta_1 T_{ввп,t} + \beta_2 T_{ввп,t-1}$	$z_{1t} = -2,030 - 15,802 T_{ввп,t} + 3,252 T_{ввп,t-1}$ $r^2 = 0,95$ (0,050) (0,866) (0,830)
Распределенный лаг (см. (4)-(5)): $z_{1t} = \gamma + \beta T_{ввп,t} + \lambda z_{1,t-1}$	$z_{1t} = -2,306 - 15,844 T_{ввп,t} - 0,160 z_{1,t-1}$ $r^2 = 0,97$ (0,137) (0,866) (0,830)
Вторая главная компонента ( $z_2$ )	
Вид модели	Результаты оценивания
Сосредоточенный лаг (см. (2)-(3)): $z_{2t} = \alpha + \beta T_{ввп,t-1}$	$z_{2t} = 0,139 - 4,338 T_{ввп,t-1}$ $r^2 = 0,38$ (0,050) (1,300)
Распределенный лаг (см. (4)-(5)): $z_{2t} = \gamma + \beta T_{ввп,t-1} + \lambda z_{2,t-1}$	$z_{2t} = 0,143 - 4,168 T_{ввп,t-1} + 0,415 z_{2,t-1}$ $r^2 = 0,55$ (0,064) (1,142) (0,163)
Третья главная компонента ( $z_3$ )	
Вид модели	Результаты оценивания
Отсутствие лага: $z_{3t} = \alpha + \phi T_{ввп,t}$	$z_{3t} = -0,148 + 3,417 T_{ввп,t}$ $r^2 = 0,31$ (0,067) (1,200)

\* В таблице приняты следующие обозначения:  $T_{ввп,t}$  – темп изменения ВВП в  $t$ -м году ретроспективного периода; в скобках под значениями структурных параметров указаны их стандартные ошибки;  $r^2$  – множественный коэффициент детерминации.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что динамика первой главной компоненты практически равноценно описывается как моделью сосредоточенного лага, где объясняющими переменными являются значения темпов ВВП года  $t$  и  $t-1$ , так и моделью распределенного лага. Специфическая особенность данных моделей заключается в следующем. Модель сосредоточенного лага демонстрирует наличие противоположных знаков при объясняющих переменных (т.е. темпах изменения ВВП) текущего и предшествующего годов. Это, в свою очередь, позволяет констатировать, что в исследуемый период времени взаимосвязь динамики сводных макроэкономических индикаторов и отдельных ВЭД имела неоднозначный характер. Повышение темпов экономического роста в данном году положительно связано с темпами выпуска совокупности исследуемых ВЭД, тогда как в последующем году ускорение темпов экономического роста в году  $t$  выступало фактором снижения темпов изменения выпуска этих же ВЭД в  $(t+1)$ -м году.

Модель распределенного лага для первой главной компоненты демонстрирует ту же специфику, что и модель сосредоточенного лага. Параметр  $\lambda$  модели типа (5) имеет отрицательное значение, что свидетельствует о наличии колебательного характера взаимосвязи между первой главной компонентой (а соответственно, и темпами изменения выпуска совокупности исследуемых видов деятельности) и темпами экономического роста.

Применительно ко второй главной компоненте модель распределенного лага выглядит наиболее предпочтительной, хотя с точки зрения статистических критериев модель сосредоточенного лага также является допустимой. При этом в обоих случаях объясняющая переменная для второй главной компоненты представлена лаговым (а не текущим) значением темпов изменения макроэкономических индикаторов.

Погодовые значения третьей главной компоненты, как было установлено ранее в [1], наиболее тесно связаны с динамикой макроэкономических индикаторов текущего периода времени (т. е. лаговые зависимости здесь отсутствуют).

Применительно к остальным главным компонентам их связь с динамикой макроэкономических индикаторов не прослеживается.

Результаты количественного анализа взаимосвязи главных компонент с динамикой ВВрс аналогичны приведенным в табл. 1 применительно к ВВП.

С учетом описанных выше результатов правомерен вывод, что взаимосвязь темпов изменения отдельных ВЭД и макроэкономических индикаторов предполагает распределенное во времени влияние ВВП или ВВрс на динамику отдельно взятых видов экономической деятельности. В связи с этим с точки зрения исследования долгосрочных перспектив функционирования отечественной экономики, безусловно, важным представляется разграничение текущих и полных (или конечных) эффектов взаимосвязи динамики макроэкономических индикаторов и отдельных ВЭД.

В [1] для каждого отдельного вида экономической деятельности были определены наборы главных компонент, наиболее тесно связанных с динамикой соответствующих ВЭД (табл. 2).

Таблица 2

Главные компоненты, существенные для объяснения динамики ВЭД

№ п/п	ВЭД	Номер главных компонент, наиболее существенных для описания динамики исследуемых ВЭД		
		1	3	4
1	Сельское и лесное хозяйство, охота и рыболовство	1	3	4
2	Уголь каменный и уголь бурый (лигнит); торф	1	6	7
3	Добыча нефти и газа; услуги по добыче нефти и газа, кроме геологоразведочных работ	1	3	4
4	Добыча металлических руд	1	2	4
5	Производство горнодобывающих производств прочая	1	2	3
6	Пищевая промышленность (включая напитки и табак)	1	5	6
7	Текстильное и швейное производство (включая производство кожи)	1	2	10
8	Деревообработка, целлюлозно-бумажное производство, полиграфия	1	2	3
9	Производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов	1	4	8
110	Химическое производство и производство резиновых и пластмассовых изделий	1	2	12
111	Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	1	3	5
112	Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	1	5	9
113	Машиностроение	1	5	8
114	Прочие производства	1	5	14
115	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	1	2	4
116	Строительство	1	2	3
117	Оптовая и розничная торговля, ремонт	1	2	3
118	Транспорт, связь, телекоммуникации	1	2	7

Конечные (полные) значения эластичности выпуска отдельных ВЭД, вовлеченных в анализ, по темпам изменения макроэкономических индикаторов, представлены в табл. 3.

Указанные значения исчислены при предположении, известном в экономико-математической литературе теоретического характера как принцип «сравнительной статики» (заимствован из физики). Таким образом, если предположить, что темп прироста (снижения) ВВП или ВВрс остается неизменным на протяжении бесконечного временного интервала, то динамика связанных с этими темпами видов экономической деятельности также с течением времени становится постоянной (если оперировать уравнениями, связывающими динамику макроэкономических индикаторов и главных компонент, представленными в табл. 1).

Конечные (полные) значения эластичностей ВЭД по ВВП и ВВрс  
по вариантам моделей

Коэффициент эластичности	Вид деятельности (номер)*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
по ВВП	0,394	0,817	0,097	0,309	0,458	0,591	0,934	1,180	0,580
по ВВрс	0,446	0,853	0,130	0,372	0,579	0,618	1,081	1,258	0,606
Коэффициент эластичности	Вид деятельности (номер)								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
по ВВП	0,363	2,151	1,106	2,347	1,706	0,317	1,715	1,371	0,900
по ВВрс	0,486	2,219	1,156	2,452	1,782	0,307	1,710	1,319	0,906

\* Номера видов деятельности соответствуют нумерации, принятой в табл. 2.

В силу того, что динамика сводных макроэкономических индикаторов связана первой, второй и третьей главными компонентами, значение коэффициента эластичности для данного отдельного вида экономической деятельности в общем случае складывается из одного, двух или трех слагаемых в зависимости от того, какой набор главных компонент признан существенным для моделирования динамики этого ВЭД.

Необходимо отметить, что при использовании модели распределенного лага (см. табл. 1) значения конечных коэффициентов эластичности  $\alpha^c_i$  должны исчисляться специальным образом.

В качестве примера рассмотрим ВЭД «Производство горнодобывающих производств прочая». Как следует из табл. 2, для описания динамики данного вида деятельности существенными являются первая, вторая, третья и шестая главные компоненты. Тогда, если для уравнения, связывающего динамику первой и второй главных компонент с динамикой ВВП (или ВВрс), используются модели распределенного лага; значение конечного коэффициента эластичности для данного ВЭД должно быть исчислено по формуле:

$$\alpha^c_5 = a_{51} \cdot [\beta / (1 - \lambda)]^1 + a_{52} \cdot [\beta / (1 - \lambda)]^2 + a_{53} \cdot \varphi, \quad (6)$$

где  $\alpha^c_5$  – конечный коэффициент эластичности (нижний индекс «5» – номер вида деятельности «Производство горнодобывающих производств прочая» из табл. 2);  $[\beta / (1 - \lambda)]^1$  и  $[\beta / (1 - \lambda)]^2$  – выражения, образованные соответственно из параметров  $\beta$  и  $\lambda$  моделей распределенного лага для первой и второй главных компонент из табл. 1 (что отражено на основе верхних индексов «1» и «2»);  $\varphi$  – параметр уравнения для третьей главной компоненты из табл. 1;  $a_{51}$ ,  $a_{52}$ ,  $a_{53}$  – коэффициенты, связывающие показатели динамики рассматриваемого ВЭД с первой, второй и третьей главными компонентами соответственно<sup>5</sup> (см. [1]).

В случае, если для описания динамики конкретного ВЭД (в соответствии с табл. 2) используется только вторая или третья компоненты (помимо первой), из выражения типа (6) исключается второе или третье слагаемое.

Как было сказано, для первой и второй главных компонент с точки зрения статистических критериев допустимыми являются две альтернативные модели (см. табл. 1). В связи с этим окончательный выбор вариантов регрессий, которые целесообразно использовать в прогнозно-аналитических расчетах, может быть основан лишь на критерии «экономического правдоподобия» (см., напр., [4]), т.е. на соответствии знака и абсолютного значения рассчитываемых оценок параметров эластичности существу исследуемого процесса (явления).

<sup>5</sup> Техника расчета коэффициентов, связывающих темпы изменения выпуска каждого ВЭД с главными компонентами применительно к рассматриваемой задаче, подробно описана в [1].

С этой точки зрения допустимыми вариантами модельных конструкций, представленных в табл. 1, оказываются оба варианта моделей для первой главной компоненты, а также вариант модели сосредоточенного лага для второй главной компоненты<sup>6</sup>.

В табл. 3. представлены оценки в разрезе анализируемых ВЭД конечных значений коэффициентов эластичности по ВВП и ВВрс. Из приведенных данных следует, что конечные значения эластичностей ВЭД по темпам изменения ВВП или ВВрс в основном оказываются ниже их (коэффициентов) текущих значений (представленных в [1]). При этом можно констатировать весьма существенные различия указанных коэффициентов для отдельных ВЭД при том, что в целом дифференциация текущих и конечных значений коэффициентов эластичностей (в разрезе анализируемых ВЭД) является аналогичной (рисунок).

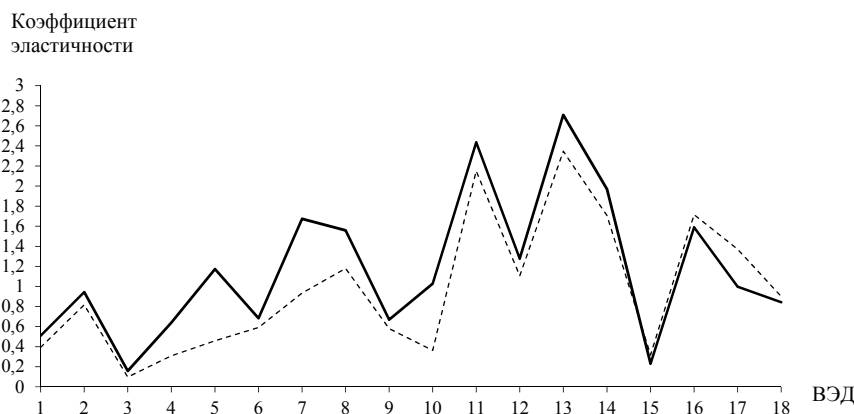


Рисунок. Значения текущих (—) и конечных (- - -) коэффициентов эластичности ВЭД по ВВП (по оси абсцисс указаны номера ВЭД в соответствии с нумерацией, принятой в табл. 2):

**Взаимосвязь динамики главных компонент и отдельных функциональных элементов ВВП.** По аналогии с представленными выше моделями нами проведено построение статистических зависимостей, связывающих динамику главных компонент с динамикой отдельных функциональных элементов ВВП: 1) конечного потребления домашних хозяйств и потребления государственных и некоммерческих организаций; 2) валового накопления; 3) экспорта; 4) импорта.

По результатам расчетов можно констатировать существенную (по статистическим критериям) связь динамики первой главной компоненты с темпами изменения каждого из перечисленных функциональных элементов ВВП. В частности, значения коэффициента множественной детерминации для исследуемых моделей составили от 47 до 68%; при этом оценки структурных параметров исследованных моделей статистически значимы. Связь динамики других главных компонент с динамикой функциональных элементов ВВП следует признать несущественной. В итоге результаты оценивания указанных выше моделей в целом свидетельствуют, что динамика функциональных элементов ВВП, взятых в отдельности, хуже описывает динамику различных главных компонент в сравнении с ВВП в целом.

<sup>6</sup> В частности, использование модели распределенного лага для второй главной компоненты (см. табл. 1) для исчисления конечных значений эластичности отдельных ВЭД по темпам изменения ВВП или ВВрс дает отрицательное значение этого показателя применительно к ВЭД «Химическое производство, производство резиновых и пластмассовых изделий», что явно противоречит экономическому содержанию моделируемых процессов.

**Подходы к количественному описанию специфических факторов динамики отдельных ВЭД.** Помимо количественного анализа характера и степени взаимосвязи динамики отдельных ВЭД с динамикой обобщающих макроэкономических индикаторов, несомненный интерес представляет анализ факторов, формирующих так называемую «остаточную часть» темпов изменения выпуска каждого отдельного ВЭД (т. е. слагаемое  $d_{it}^S$  из выражения (1)).

Очевидно, что факторы формирования динамики различных видов экономической деятельности могут носить весьма специфический характер. Однако в рамках данной работы мы ограничимся лишь рассмотрением вопроса количественного описания обусловленности динамики «остаточной части»  $d_{it}^S$  фактором времени (т. е. моделирования  $d_{it}^S$  исключительно как временной функции). По нашему представлению, именно такой подход является как наиболее простым в инструментальном отношении, так и единственно приемлемым в условиях, когда не представляется возможным «проектировать» на долгосрочную перспективу масштабы воздействия специфических факторов динамики применительно к отдельным ВЭД в количественных терминах.

С учетом ранее полученных результатов, изложенных в [1], возможны два альтернативных варианта описания динамики  $\{d_{it}^S\}$ .

1. По результатам количественного анализа взаимосвязи главных компонент с темпами изменения сводных макроэкономических индикаторов исчисляется вклад этих индикаторов в темпы изменения каждого ВЭД, вовлеченного в анализ, на протяжении ретроспективного периода. Далее формируется «остаточная часть» темпов изменения выпуска каждого отдельного вида деятельности, т.е. совокупность временных рядов  $\{d_{it}^S\}$ . Каждый временной ряд этих «остатков», соответствующий  $i$ -му ВЭД, анализируется на предмет нахождения функции времени, наилучшим образом аппроксимирующей указанный временной ряд и вместе с тем не противоречащей (с содержательной точки зрения) результатам экстраполяции упомянутых функций времени на перспективу.

2. Главные компоненты, динамика которых не связана явным образом с динамикой сводных макроэкономических показателей, но, тем не менее, существенна для описания динамики совокупности ВЭД, вовлеченных в анализ (это 4-я и более старшие (по номеру) главные компоненты, см. [1]), должны быть аппроксимированы функциями времени. Требования к таким аппроксимирующим функциям аналогичны сказанному выше: результаты экстраполяции указанных функций на перспективу не должны противоречить специфике моделируемого процесса.

Представленные ниже результаты количественного анализа относятся ко второму возможному варианту, т.е. отражают результаты моделирования динамики значений главных компонент, а не данных, непосредственно характеризующих динамику  $\{d_{it}^S\}$  отдельных ВЭД. Кроме того, как будет показано далее, это позволит сделать некоторые выводы о потенциально возможной точности описания темпов изменения выпуска отдельных видов экономической деятельности в ретроспективном периоде.

Исходный пункт определения класса функций времени, применимых для решения данной задачи, связан с тем обстоятельством, что динамика экономических показателей, измеренных в терминах темпов прироста (снижения), заведомо может принимать лишь конечные значения. Здесь имеется в виду, что даже в случае неограниченного во времени (в частности, экспоненциального) роста какого-либо индикатора, темпы его прироста во времени не могут принимать бесконечно большие значения. Таким образом, универсальной предпосылкой возможного модельного описания эмпирических временных рядов, которые исследуются в данной работе, является их преобразование в форму, аналогичную показателям темпов изменения, традиционно принятым в экономической статистике.



Исходные временные ряды показателей динамики ВЭД, вовлеченных в анализ, были изначально представлены темпами прироста (снижения). В силу этого обстоятельства и значения главных компонент, сформированных в виде линейных комбинаций темпов изменения выпуска отдельных видов деятельности, заведомо могут рассматриваться как ограниченные на временной оси.

Функции, обладающие указанным свойством, могут быть однозначно представлены посредством преобразования Фурье [5] в виде:

$$f(t) = \int_0^{\infty} A(\omega) \sin(\omega t) d\omega + \int_0^{\infty} B(\omega) \cos(\omega t) d\omega, \quad (7)$$

где  $\omega$  – частота колебаний соответствующих синус- или косинус-функций;  $A(\omega)$  и  $B(\omega)$  – некоторые действительные функции, определяющие так называемую «спектральную плотность функции»  $f(t)$ .

Для случая дискретного спектра (т.е. когда  $\omega$  принимает лишь некоторые определенные значения) представление (7) принимает вид:

$$f(t) = \sum A_{\omega} \sin(\omega t) + \sum B_{\omega} \cos(\omega t), \quad (8)$$

где  $A_{\omega}$  и  $B_{\omega}$  – коэффициенты при синус- и косинус-функциях соответствующей частоты.

Иными словами, функция времени, значения которой ограничены на временной оси, однозначно представима в виде суммы синус- и косинус-функций с некоторыми весами.

В связи с этим для построения моделей, призванных адекватно воспроизвести динамику главных компонент (за исключением тех, динамика которых связана с динамикой обобщающих макроэкономических показателей), использовалась комбинация синус- и косинус-функций различной частоты с коэффициентами, определяемыми по результатам построения регрессионных моделей.

Отбор совокупности синус- и косинус-функций, наиболее соответствующих моделируемого временному ряду, осуществлялся следующим образом.

Во-первых, значения частот указанных функций рассчитывались в виде  $\omega = 2\pi/n$ , где  $n$  – натуральное число, принимающее значения от 1 до 21 (поскольку временные ряды темпов изменения выпуска ВЭД, использованные в расчетах, охватывали период с 1996 по 2016 г.). Таким образом, набор возможных частот синус- и косинус-функций, которые потенциально могли бы быть использованы для описания динамики главных компонент, был заранее ограничен условием, что наиболее длинный период колебаний этих функций совпадает с длиной временных рядов исходных данных.

Во-вторых, для временного ряда значений анализируемой главной компоненты строились парные регрессии вида:

$$z_{it} = a_{i0} + a_{i1} \sin(\omega_j t) + \varepsilon_{it}, \quad (9)$$

$$z_{it} = a_{i0} + a_{i1} \cos(\omega_j t) + \varepsilon_{it}, \quad (10)$$

где  $\{z_{it}\}$  – значения главных компонент в момент времени  $t$  ( $t=1, \dots, 21$ );  $i$  – номер главной компоненты;  $\omega_j$  – частота синус- и косинус- функций ( $j=1, \dots, 21$ );  $a_{i0}$ ,  $a_{i1}$  – оцениваемые параметры регрессионных уравнений;  $\{\varepsilon_{it}\}$  – стохастические составляющие соответствующих регрессионных моделей.

По результатам построения моделей типа (9)-(10) выбирались частоты, позволяющие с наибольшей точностью описать динамику анализируемых главных компонент. Далее синус- и косинус-функции, соответствующие выбранным частотам, использовались в качестве объясняющих переменных в рамках модели множественной регрессии, связывающих эти функции с динамикой каждой из анализируемых главных компонент. При этом следует отметить, что далеко не все синус- и косинус-функции, соответствующие частотам, выделенным на стадии построения парных регрессий (9)-(10), оказываются существенными по результатам построения модели множественной регрессии.

Результаты реализации описанного здесь подхода оказались удовлетворительными (в формально-статистическом плане) для описания динамики 4-й, 5-й и 6-й главных компонент. Динамика более старших (по номеру) компонент является нерегулярной и, как показали проведенные расчеты, не поддается описанию с помощью совокупности синус- и косинус-функций.

Вид регрессионных моделей и их характеристики представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты идентификации моделей для четвертой, пятой и шестой главных компонент при помощи функций времени\*

	Вид модели
Четвертая главная компонента ( $z_4$ )	$z_{4t} = -0,013 - 0,137 * [\sin(2\pi/4) * t] - 0,201 * [\sin(2\pi/18) * t] + 0,163 * [\sin(2\pi/9) * t] - (0,035) (0,047) (0,048) (0,049)$ $- 0,128 * \cos[(2\pi/2) * t], r^2 = 0,74$ <p style="text-align: center;">(0,034)</p>
Пятая главная компонента ( $z_5$ )	$z_{5t} = 0,007 - 0,177 * [\sin(2\pi/8) * t] - 0,099 * [\cos(2\pi/15) * t], r^2 = 0,39$ <p style="text-align: center;">(0,044) (0,063) (0,065)</p>
Шестая главная компонента ( $z_6$ )	$z_{6t} = -0,003 - 0,106 * [\sin(2\pi/21) * t] - 0,110 * [\cos(2\pi/5) * t] + 0,082 * [\cos(2\pi/11) * t] + (0,034) (0,048) (0,049) (0,050)$ $+ 0,088 * [\sin(2\pi/4) * t] - 0,076 * [\cos(2\pi/2) * t], r^2 = 0,61.$ <p style="text-align: center;">(0,048) (0,034)</p>

\* Обозначения в таблице соответствуют обозначениям табл. 1:  $r^2$  – коэффициент множественной детерминации; в скобках под значениями параметров указаны их стандартные отклонения.

Как следует из приведенных данных, для указанных в табл. 4 компонент удается найти удовлетворительные со статистической точки зрения модели. Вместе с тем по результатам оценивания часть структурных параметров моделей для пятой и шестой компонент имеет величины стандартных отклонений, превышающих половину абсолютного значения соответствующего структурного параметра<sup>7</sup>. Правомерно сделать вывод, что по мере увеличения номера главной компоненты качество построенных моделей в целом снижается. Это, в свою очередь, позволяет предположить, что динамика главных компонент с номерами выше шестой отражает преимущественно влияние нерегулярных (стохастических факторов).

Как следует из табл. 2, для некоторых ВЭД в качестве существенных главных компонент были признаны компоненты с номерами выше шестого. Вместе с тем, по результатам описанных выше исследований, можно заключить, что главные компоненты с номерами выше шестого (которые рассматривались нами в [1] как существенные для описания динамики отдельных видов экономической деятельности) если и несут в себе информацию о специфических факторах формирования динамики выпуска отдельных ВЭД, то эта информация не может быть выявлена и количественно оценена с удовлетворительной точностью. Таким образом, необходимо констатировать, что лишь первые шесть главных компонент (из которых для первых трех прослеживается устойчивая статистическая связь с динамикой сводных макроэкономических индикаторов) целесообразно использовать для целей взаимосвязанного количественного анализа и прогноза темпов изменения выпуска отдельных ВЭД, с одной стороны, и динамики сводных макроэкономических индикаторов – с другой.

<sup>7</sup> Традиционный статистический тест значимости отдельно взятого структурного параметра регрессионного уравнения предполагает, что абсолютное значение параметра должно не менее чем в два раза превосходить его (параметра) стандартное отклонение.

**Выводы.** Результаты проведенных исследований подтверждают ранее полученные в [1] выводы о наличии тесной корреляционной взаимосвязи динамики сводных макроэкономических индикаторов и динамики отдельных ВЭД. При этом связь динамики видов деятельности и сводных макроэкономических индикаторов имеет колебательную составляющую. Это обстоятельство и определяет различия прямых (синхронных) и приведенных коэффициентов эластичности, анализируемых ВЭД по макроэкономическим индикаторам.

Безусловно, динамика каждого из исследуемых видов экономической деятельности имеет в ретроспективном периоде специфические особенности и не может быть описана исключительно в терминах макроэкономических индикаторов. Описание факторов динамики составляющей  $d_{it}^s$  из выражения (1) для каждого  $i$ -го вида экономической деятельности, очевидно, должно быть в общем случае индивидуализировано. Вместе с тем, как следует из представленных выше результатов, для описания этих специфических факторов может быть (по крайней мере, на начальном этапе прогнозно-аналитических исследований) продуктивно использована схема расчетов, в рамках которой ретроспективные ряды величин  $\{d_{it}^s\}$  описываются функциями времени, представляющими собой линейные комбинации синусоидальных функций.

Как отмечено в [1], построение траекторий развития отдельных ВЭД на долгосрочную перспективу, исходя из динамики сводных макроэкономических индикаторов, представляется естественным и необходимым этапом схемы прогнозно-аналитических расчетов, базирующейся на анализе предшествующих закономерностей и тенденций развития национальной экономики. Формализация указанной схемы на принципах, которые вытекают из описанных выше результатов модельных построений, обеспечивает создание прикладного инструментария долгосрочного прогнозирования экономических процессов. Вместе с тем результаты представленных исследований позволяют подойти также и к анализу степени точности количественных результатов оценки динамики отдельных ВЭД, получаемых исходя из использования моделей, рассмотренных выше. Это, в свою очередь, должно быть основой интеграции описанного здесь подхода с альтернативными количественными схемами прогнозирования, базирующимися, в том числе, и на методе «затраты-выпуск» (см. [1]).

Представленный подход позволяет также расширить возможности анализа цикличности макроэкономических показателей, дополняя уже применяемые методы выявления циклов различной периодичности.

Следует отметить, что гармонический анализ активно используется в естественных науках и все более широкое применение находит в гуманитарных исследованиях, в том числе в экономике, при обработке массивов данных, в частности, с использованием преобразования Фурье (см., напр., [6-8]).

#### *Литература / References*

1. Sivorov N.V., Treshchina S.V. and Beletskii Yu.V. Design of Methods for Long-Term Forecasting of Development Trends in the Russian Economy (Methodology and Model Toolkit) // *Studies on Russian Economic Development*. 2020. Vol. 31. № 6. Pp. 636-646.
2. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М.: Мир, 1967. 144 с. [Lawley D.N., Maxwell A.E. Factor Analysis as a Statistical Method. Moscow: Mir, 1967. 144 p.]
3. Джонстон Дж. Эконометрические методы. М.: Наука, 1980. 446 с. [J. Johnston. Econometric Methods. Moscow: Nauka, 1980. 446 p.]
4. Отпенлендер К. Технический прогресс: воздействие, оценки, результаты. М.: Экономика, 1981. 175 с. [Oppenlander, K. Technological Progress: Impact, Estimates, Results. Moscow: Ekonomika, 1981. 175 p.]
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1978. 832 с. [Korn G., Korn T. Mathematical Handbook. Moscow: Nauka, 1978. 832 p.]
6. Bloomfield, P. *Fourier Analysis of Time Series: an Introduction*. John Wiley & Sons, 2004. 269 p.
7. Genshiro, K. *Introduction to Time Series Modeling*. Chapman and Hall/CRC, 2010. 305 p.
8. Nerlove M., Grether D.M., Carvalho J.L. *Analysis of Economic Time Series: a Synthesis*. Academic Press, 1979. 476 p.



Статья поступила 17.05.2021. Статья принята к публикации 07.06.2021.

**Для цитирования:** Н.В. Суворов, С.В. Трещина, Ю.В. Белецкий. Исследование взаимосвязи динамики сводных макроэкономических индикаторов и динамики видов экономической деятельности в российской экономике // Проблемы прогнозирования. 2021. № 6 (189). С. 31-42.  
DOI: 10.47711/0868-6351-189-31-42.

### Summary

#### A STUDY OF THE CONNECTION BETWEEN INTERTEMPORAL CHANGES IN CONSOLIDATED MACROECONOMIC INDICATORS AND THE PERFORMANCE OF INDIVIDUAL INDUSTRIES IN RUSSIA'S ECONOMY

**N.V. SUVOROV**, Dr. Sci. (Econ.), professor, Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

**S.V. TRESHCHINA**, Cand. Sci. (Econ.), Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

**Yu.V. BELETSKY**, Cand. Sci. (Econ.), Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

**Abstract:** The article presents the results of a quantitative analysis of the relationship between the dynamics of certain types of economic activity and the dynamics of (macroaggregates) consolidated macroeconomic indicators in relation to the Russian economy in 1995-2016. In the study the presence of a cyclical factor in the relationship between the dynamics of certain types of activity and macroeconomic indicators in the reviewed time period is established. Authors analyzes the possibilities of using a special class of time functions (based on the Fourier transform) for modeling economic dynamics at the level of individual types of activity.

**Keywords:** economic dynamics, types of economic activity, macroaggregates, regression model, Fourier transform.

Received 17.05.2021. Accepted 07.06.2021

**For citation:** N.V. Suvorov, S.V. Treshchina, and Yu.V. Beletsky. A Study of the Connection between Intertemporal Changes in Consolidated Macroeconomic Indicators and the Performance of Individual Industries in Russia's Economy // Studies on Russian Economic Development. 2021. Vol. 32. No. 6. Pp. 611-618.  
DOI: 10.1134/S1075700721060150.