

УДК 330.3

JEL Classification: C53, E25, E32

[http://doi.org/10.31474/1680-0044-2020-1\(22\)-115-131](http://doi.org/10.31474/1680-0044-2020-1(22)-115-131)

І.С. Кладченко

ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ НАЦІОНАЛЬНОГО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ МЕТОДАМИ ГАРМОНІЙНОГО І СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Мета. Поглиблення та удосконалення методичного інструментарію прогнозування поведінки національних економік в контексті підвищення обґрунтованості та аналітичності державних стратегій розвитку національної економічної системи в умовах високої волатильності, відсутності трендовості й нестационарності динаміки зовнішніх та внутрішніх соціально-економічних процесів шляхом імплементації міждисциплінарних методів гармонійного й спектрального аналізу складних динамічних систем природничого походження та їх адаптації специфіці функціонування та розвитку соціально-економічних систем.

Методика. Актуалізація місця прогнозування як важливого самостійного етапу в процесі аналітичного оцінювання збалансованості розвитку виконано на основі структурування, розділення на етапи, систематизації, групування. Процес обґрунтування міждисциплінарного підходу для прогнозування розвитку національної економічної системи здійснено методами аналізу та синтезу, порівняння та практичної апробації. Встановлення структурних закономірностей економічної динаміки та прогнозування траєкторії розвитку національної економіки виконано методами гармонійного та спектрального аналізу коливних процесів динамічних систем.

Результати. Сконцентровано увагу на специфічних рисах часових рядів макроекономічної динаміки як основи прогнозування розвитку національних економік, а саме їх короткої тривалості, нестационарності, аперіодичності, полігармонійності та їх впливі на формування адекватного методичного забезпечення прогнозування. Обґрунтовано можливість та ефективність використання методів спектрального та гармонійного аналізу коливних процесів розвитку національної економічної системи. Сформовано гармонійну модель траєкторії розвитку економіки України протягом 1991-2020 рр., яка дозволила проаналізувати коливну складову динаміки макроекономічних індикаторів на основі фактичних даних, які зберігають всю первісну інформацію, що вміщує часовий ряд. За допомогою виокремлення економічних циклів, їх амплітудно-частотних характеристик охарактеризована сучасна фаза розвитку української економіки. На основі розробленої моделі економічної динаміки за показником темпів зміни ВВП виконано прогнозування та встановлені короткострокові, середньострокові та довгострокові тенденції розвитку економіки України.

Наукова новизна. Поглиблення теоретично-методичного інструментарію прогнозування тенденцій розвитку національних економік на основі гармонійного та спектрального аналізу дало змогу сформувати структурний підхід до аналізу економічної динаміки в контексті виділення в її складі вирішальних гармонік та на основі їх характеристик робити висновки про рівень та очікуванні тенденції розвитку національних економічних систем.

Практична значимість. Адаптована та регламентована процедура гармонійного та спектрального аналізу коливних процесів соціально-економічних систем стала підґрунтям для прогнозування рівня темпів та пропорцій розвитку національних економічних систем.

Ключові слова: коливні процеси розвитку, прогнозування економічної динаміки, гармонійний та спектральний аналіз, вирішальні гармоніки, економічні цикли

Вступ. Економічний розвиток є спрямованим у часі поступальним процесом, який супроводжується хвилеподібною зміною сукупності економічних елементів та їх структурних співвідношень. Оцінювання закономірностей його динаміки має принципово важливий характер. Саме в них проявляються конкретні механізми ринкового економічного розвитку, пов'язані з процесами оновлення товарних запасів, динамікою інвестицій в основний капітал, з інвестиціями в розвиток інфраструктури, зрушеннями в технологічному, соціально-політичному розвитку. Поряд з цим, динамічний, важко передбачуваний, нестационарний характер тенденцій та мегатрендів сучасності робить актуальним та вимагає пошуку спеціальних

підходів та інструментів для правильного прогнозування майбутніх зрушень та переломів в суспільному розвитку. Поширювані в сучасній практиці державного стратегічного прогнозування та планування розвитку форсайт-методи імітаційного моделювання, SWOT-аналізу, сценаріїв розвитку потребують поглиблення аналітичності, обґрунтованості, прогностичної значимості їх результатів. Враховуючи вищевикладене актуальною сферою вважається імплементація міждисциплінарних методів гармонійного й спектрального аналізу коливних процесів складних динамічних систем в сферу прогнозування тенденцій розвитку національних економік.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика оцінювання

динаміки розвитку національної економіки охоплює широкий спектр взаємопов'язаних питань та виступає полем наукового пошуку економістів різних часів та поколінь. Вагомий пласт наукових напрацювань зарубіжних вчених, присвячений пошуку причин та факторів довгострокового розвитку, технологічним укладам та динаміці їх розповсюдження серед національних економік стадіальності економічного розвитку сформований роботами Дж. Голдстайна [J. Smith Goldstein], А. Медісона [A. Maddison], Г. Менша [G. Mensh], Дж. Модельські [G. Modelski], У. Ростой [W. Rostow], М. Хірооки [M. Hirooka].

Сучасний науковий інтерес в контексті забезпечення розвитку національних економічних систем пролягає в сфері аналітичного оцінювання їх динаміки: тобто встановлення її закономірностей, їх функціонального опису з метою забезпечення підґрунтя для прогнозування та формування на основі його результатів ефективних стратегій розвитку. Цим питанням присвячені праці потужної школи російського довгохвильового циклізму А. Акаєва, С. Глазєва, К. Зойдова, А. Коротаєва, Г. Куранова, С. Румянцевой, А. Фоміної, С. Циреля, Ю. Яковця та інших.

Стрімко поширюється сфера застосування прикладних інструментів нелінійної динаміки прогнозування тенденцій розвитку на основі динамічного підходу методами фазового, квазіциклічного, фрактального, гармонійного та спектрального аналізів. На цьому сконцентровано наукова думка вчених Боташевої Ф.Б., Сергєєвої Л.Н., Винтизенка А.М., Яковенка В.С.

Вагомим внеском в розвиток питань прогнозування та забезпечення сталого й збалансованого розвитку прийнято вважати праці Амоші О.І., Геєця В.М., Гальчинського А.С., Кизима М.О., Мельника Л.Г., Попової О.Ю. та інших. Методологічними аспектами випереджального, соціально-економічного, інклюзивного, проривного, інноваційного розвитку та його безпеки займалися Вишневський О.С., Кравченко С.І., Ляшенко В.І., Харазішвілі Ю.М., Хобта В.М., Ягельська К.Ю. та інші.

Мета статті (постановка завдання). В широкому полі результатів наукових досліджень розвитку національних економічних систем, отримуваних вітчизняними та зарубіжними вченими, питання методів його регулювання,

аналітичного оцінювання, стратегічного передбачення залишаються край актуальними на сьогодні. Віддаючи належне накопиченим науковим напрацюванням в сфері прогнозування розвитку національних економік, потребує поглиблення теоретично-методичний апарат його здійснення в контексті підвищення адекватності, точності, обґрунтованості в умовах волатильного характеру динаміки розвитку національних економік сучасності. Вищезазначене встановлює мету роботи як обґрунтування та визначення перспективної траєкторії розвитку національної економіки міждисциплінарними методами гармонійного та спектрального аналізу.

Виклад основного матеріалу. Важливою частиною аналітичного оцінювання збалансованості розвитку національної економіки, що зумовлює практичну значимість та закінченість його результатів є етап прогнозування, який постає невід'ємною складовою формування загальної картини про стан і розвиток такого складного об'єкту як національна економіка. Згідно [1, с. 111] «... сучасне прогнозування передбачає науково обґрунтоване судження про можливі стани деякої системи в майбутньому, про альтернативні шляхи та терміни їх здійснення, воно передбачає отримання кількісних оцінок цих станів за допомогою математичних та інструментальних засобів реалізації...».

Так, на рисунку 1 подано місце прогнозування в процесі аналітичного оцінювання розвитку національної економічної системи господарювання та відібрано інструменти його здійснення. Погоджуючись з [1-6], сучасні методи прогнозування часових рядів економічної динаміки доцільно згрупувати наступним чином:

методи, засновані на побудові багатофакторних кореляційно-регресійних моделей;

методи авторегресії, що враховують взаємозв'язок членів часового ряду;

методи, засновані на розкладанні часового ряду на компоненти: тренд, сезонні коливання, циклічна компонента і випадкова складова;

методи, що дозволяють врахувати нерівнозначності вихідних даних;

методи прямої інтерполяції, що використовують різні трендові моделі.

Серед вказаних груп найбільш поширеною є третя група прогнозування

макроекономічної динаміки через її математичну та статистичну доступність, достатню достовірність й адекватність сучасним умовам господарювання. Її методи засновані на встановленні структури часового ряду, що описує економічну динаміку, тобто виділенні двох його складових: основної тенденції (тренду) динаміки і її коливаності та їх співвідношення.

Часовий ряд, як послідовність упорядкованих у часі числових показників, які характеризують рівень стану та зміни явища, що вивчається, виступає основою для оцінювання процесів розвитку економічної системи та її збалансованості. Елементами динамічного ряду є перелік хронологічних дат (моментів) або інтервалів часу і конкретні значення відповідних статистичних показників, які називаються рівнями ряду.

Соціально-економічні процеси динамічні, що виявляються сталою зміною рівнів динамічного ряду. Поряд з динамічністю їм притаманна інерційність: зберігається механізм формування явищ і характер розвитку (темпи, напрям, коливання). При значній інерційності процесу й незмінності комплексу умов його розвитку правомірно очікувати в майбутньому ті властивості й характер розвитку, які були виявлені в минулому. Діалектична єдність мінливості і сталості, динамічності та інерційності формує характер динаміки, економічних процесів.

Так, «...познание закономерностей изменений во времени — сложная и трудоемкая процедура исследования, так как любое изучаемое явление формирует

множество факторов, действующих в разных направлениях. По характеру непосредственного воздействия эти факторы могут быть разделены на факторы, определяющие основную тенденцию динамики (рост или снижение уровней) и факторы, вызывающие колебания, которые отклоняют уровни от тенденции то в одном, то в другом направлении...» [7, с. 83].

В контексті мінливої соціально-економічної ситуації, глобальних ефектів від кризових явищ в окремих секторах окремих національних економік, що викликають значні, важко передбачувані відхилення економічної динаміки, сучасним надбанням статистичного аналізу економічного розвитку вчені вважають методи оцінювання коливаності як самостійної складової часового ряду. Обґрунтуванням цьому виступають наступні положення [7, с. 84]:

коливаність дозволяє висувати гіпотези про причини коливань та формувати шляхи впливу на них;

коливаність є параметричним явищем динаміки, яке можна прогнозувати або розглядати як фактор похибки прогнозу, що значно підвищує його надійність й точність;

результати прогнозування коливаності виступають фундаментом для обґрунтування страхових резервів, необхідних для компенсації негативних наслідків коливань економічної динаміки.

В контексті вищевикладеного систематизовано основні вимірювальні характеристики коливаності, які дозволяють проводити графічний та статистичний її аналіз.

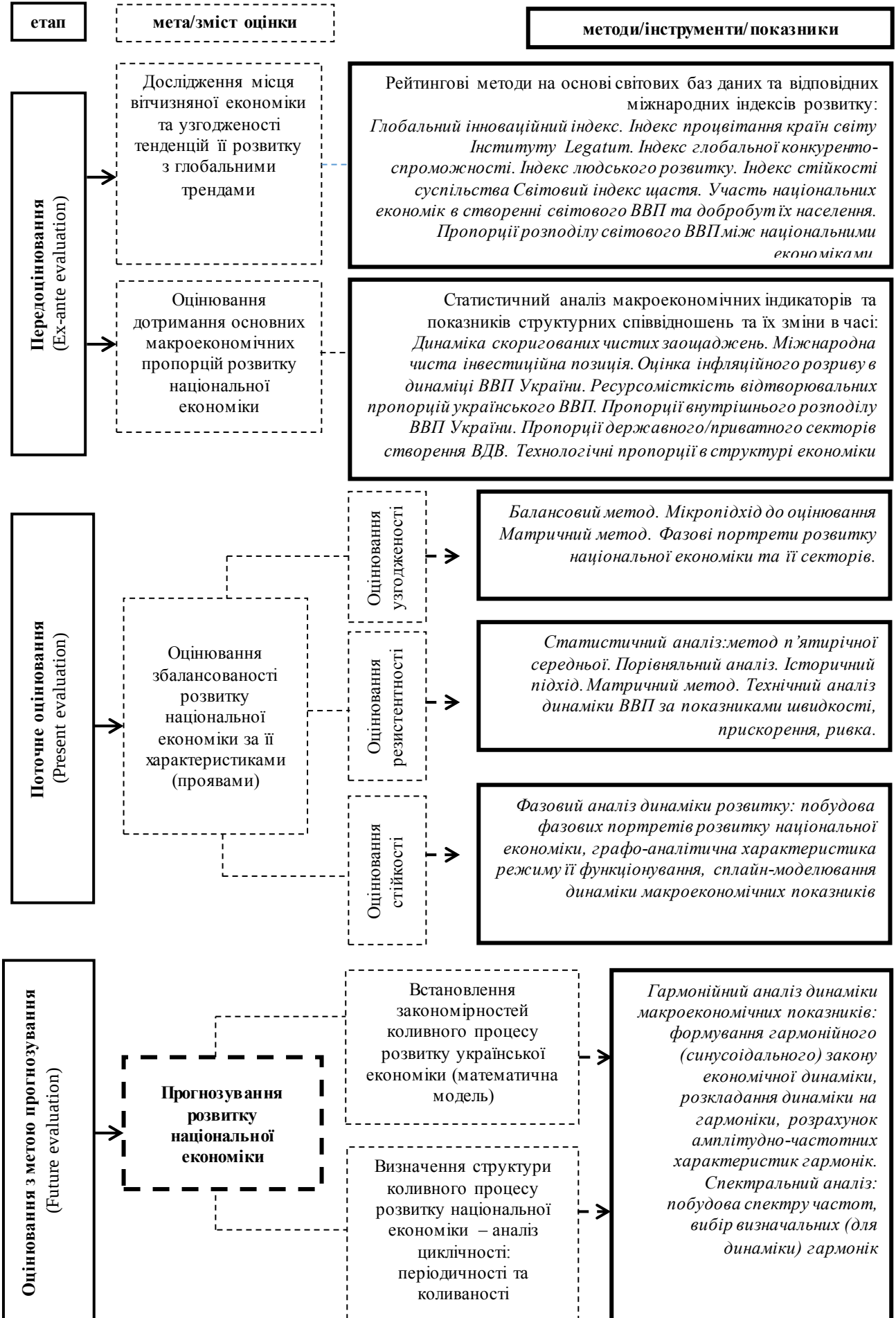
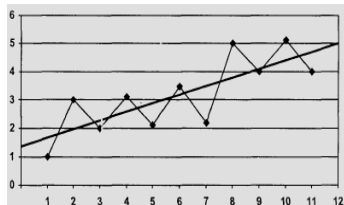


Рисунок 1 - Етап прогнозування в комплексі методів оцінювання збалансованості розвитку національної економіки
Джерело: авторське подання

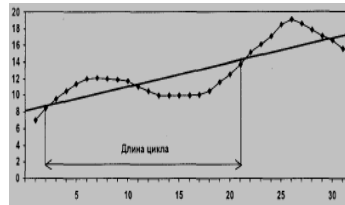
За допомогою графоаналітичного методу динаміка як технічної, так і соціально-економічної системи може бути проаналізована за формою коливань (рис.3).

Так, пилоподібні (маятникові) коливання (рис. 3-А) представляють регулярні відхилення від основної тенденції, накопичення відхилень одного знаку не відбувається; достатньо висока

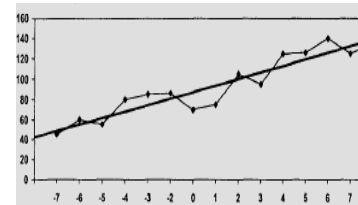
ступінь прогнозованості. Довгоперіодичні (циклічні, квазіциклічні) коливання (рис. 3-Б) – регулярні (квазірегулярні) відхилення від тренду, накопичення відхилень відбувається спочатку одного знаку, потім іншого, періодичність може порушуватися, потрібні великі страхові резерви для її компенсації.



А



Б



В

Рисунок 3 – Види коливань економічної динаміки: пилоподібні (А), довгоперіодичні (Б), випадково розподілені у часі (В) Джерело: систематизовано за [7]

Випадково розподілені у часі коливання (рис. 3-В) описуються хаотичною послідовністю відхилень від тренду, коливання слабо прогнозовані, їх взаємопогашення настають протягом тривалого часу. За допомогою статистичного аналізу вимірюється сила та інтенсивність коливань динаміки.

о показників сили можуть бути віднесені статистичні абсолютні показники коливаності:

амплітуда (розмах) коливань – різниця між максимальним та мінімальним відхиленнями рівнів часового ряду від тренду;

середньолінійне відхилення рівнів часового ряду від тренду;

середньоквадратичне відхилення рівнів часового ряду від тренду;

оцінка генерального показника сили коливань $S(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}}$ де

$y_i, \hat{y}_i$ – фактичне та розрахункові значення рівнів часового ряду в i -й момент часу;

p – кількість ступенів свободи в залежності від кількості параметрів тренду;
 n – кількість рівнів часового ряду.

До показників інтенсивності належать статистичні відносні показники коливаності:

коефіцієнт інтенсивності коливань

$$V(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \div \bar{y},$$

де $\bar{y}$ – середній рівень часового ряду.

Систематизовані характеристики є дієвими як основа для допрогнозного оцінювання динаміки розвитку економічного явища за умов можливості якісного виділення основної тенденції розвитку – тренду та його математичного опису.

Одночасно, об'єктивний аналіз сучасних макроекономічних рядів, які характеризують динаміку розвитку національної економіки, виокремлює такі їх специфічні риси як невелику тривалість через обмеженість у часових рамках існування об'єкту дослідження (30 років української економіки), переважну нестационарність (відсутність постійної дисперсії та середньої величини), дискретність (часовий ряд представляє собою моменти дані на відміну від реального процесу безперервного розгортання розвитку економіки), зміну масштабів. Тобто реальний стан економіки вимагає більш гнучких підходів та спеціальних методів оцінювання.

Серед широко застосованих методів до моделювання та оцінки розвитку економічних процесів саме *гармонійний та*

спектральний аналіз має можливість працювати з короткими часовими рядами фактичних даних, в яких періодичність динаміки є переважно «зашумленою» присутністю тренду середнього або тренду дисперсії, та давати адекватний для подальшого використання (прогнозування, оцінки структури процесу) результат. До переваг даного методу також відносять можливість будувати закономірності нестационарних процесів без початкової оцінки трендів та фільтрації рядів, що є безперечно важливим для рядів економічної динаміки національної економіки України.

В контексті вищенаведених переваг гармонійного аналізу обґрунтовано концептуальний підхід до можливості його використання в рамках дослідження збалансованості розвитку національної економіки.

Зміст підходу полягає у наступному. По-перше, за допомогою гармонійного аналізу встановлюватиметься та математично описуватиметься гармонійна закономірність коливань динаміки української економіки з метою подальшого. По-друге, за допомогою інструментів гармонійного аналізу досліджуватиметься

структура економічної динаміки з метою встановлення її упорядкованості розгортання у описуватиметься гармонійна закономірність коливань динаміки української економіки з метою подальшого прогнозування розгортання її розвитку у часі - періодичності, (циклічності), її якісних (форма, визначальні гармоніки) та кількісних (тривалість періоду, амплітудно-частотні параметри) характеристик.

Отже, надамо ключові визначення теорії гармонійних коливань для можливості правильної інтерпретації застосування гармонійного аналізу з метою оцінювання макроекономічної динаміки розвитку національних економік. Гармонічні коливання як форма динамічних процесів представляють собою коливання, при яких координата, швидкість, прискорення, що характеризують рух динамічної системи, змінюються згідно дії закону синуса або косинуса (формула 1). Їх місце в класифікації згідно з [] подано на рисунку 2.

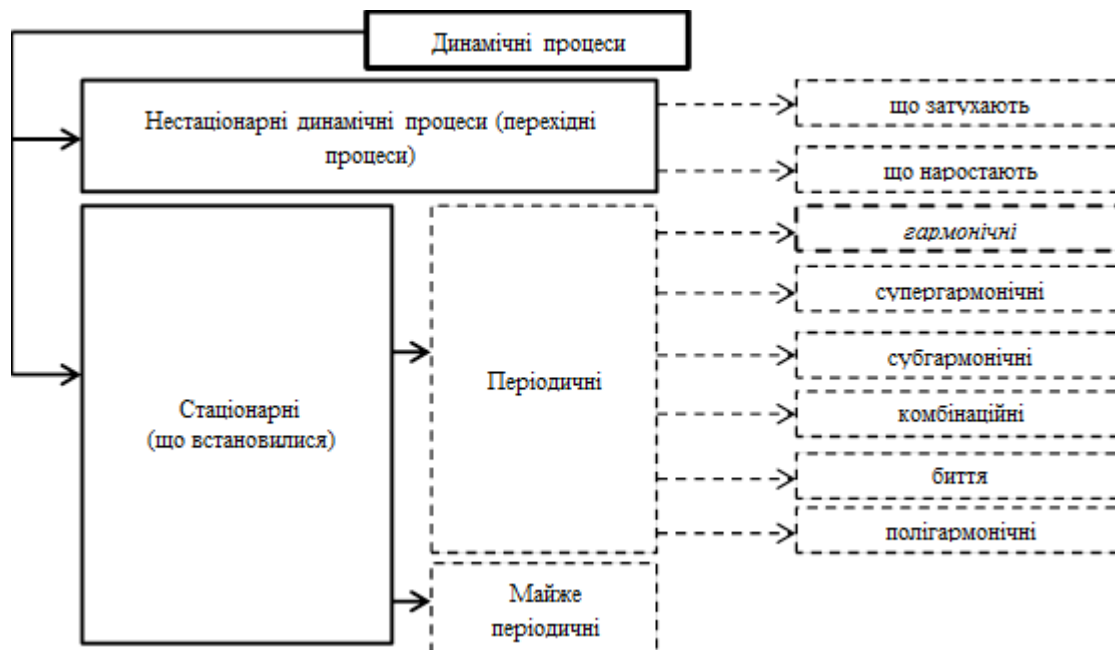


Рисунок 2 – Класифікація коливань динамічної системи в процесі її розвитку

Джерело: сформовано на основі [3]

Класичне математичне рівняння системи) від часу (рис. 4). гармонічного коливання встановлює залежність координати тіла (динамічної

Графік косинуса в початковий момент часу характеризується максимальним значенням положення динамічної системи – амплітудою A .



Рисунок 4 – Косинусоїдальний закон коливання динамічної системи

Джерело: сформовано за [7]

Графік синуса дозволяє досліджувати коливання з положення рівноваги (формула 2).

$$\begin{aligned} x &= A \cos(\omega t + \varphi_0) \\ x &= A \sin(\omega t + \varphi_0), \end{aligned} \quad (2)$$

де x – координата динамічної системи, яка коливається,

$A(x_0)$ – амплітуда коливання,
 ω – циклічна частота,
 t – час,
 φ_0 – початкова фаза

Реальні макроекономічні процеси коливаються за полі гармонічним законом та мають наступну форму (рис 5.)

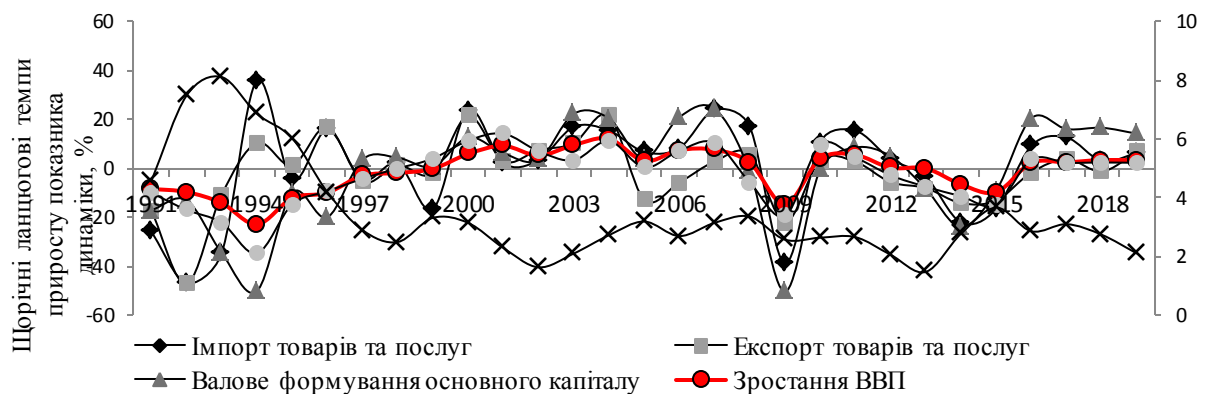


Рисунок 5 - Хвильова динаміка макроекономічних індикаторів розвитку України за 1991-2019 рр. Джерело: побудована автором на основі бази даних Світового Банку, 2021

Математична реалізація гармонійного аналізу з урахуванням специфіки економічної динаміки реалізована у наступних етапах.

1. В термінах гармонійного аналізу будь-який фактичний часовий ряд економічної динаміки можна розглядати як сигнал s_r , визначений в дискретні моменти часу r ($r = -n, \dots, 0, 1, \dots, n-1$) через рівні інтервали, тривалістю Δ кожний, довжина запису якого становить T . Побудована на основі Фур'є-перетворення (формули 3-4) дискретна функція s_r стає наближенням до

фактичного ряду динаміки в інтервалі – $T/2 \leq \Delta r \leq T/2$.

Для сигналу, кількість значень якого чітна $N=2n$:

$$S_r = R_0 + 2 \sum R_m \cos\left(\frac{2\pi m}{N} r + \phi_m\right) + R_n \cos\left(\frac{2\pi n}{N} r\right), \quad (3)$$

де N – кількість значень детермінованого сигналу s_r , $N=T/\Delta$,

R_0 – середнє значення рівнів фактичного ряду динаміки (амплітуда нульової гармоніки),

R_n – амплітуда n -ної (останньої) гармоніки,

m – номер гармоніки

ϕ_m – початкова фаза коливань m -ної гармоніки

Для сигналу, кількість значень якого непарна $N=2n-1$:

$$S_r = R_0 + 2 \sum R_m \cos\left(\frac{2\pi m}{N} r + \phi_m\right) \quad (4)$$

2. Графічне подання (рис.6) Фур'є-перетворення дозволить наочно побачити, як формується полігармонічна динаміка. Тобто в термінах гармонічного аналізу побудувати та вимірювати структуру сигналу.

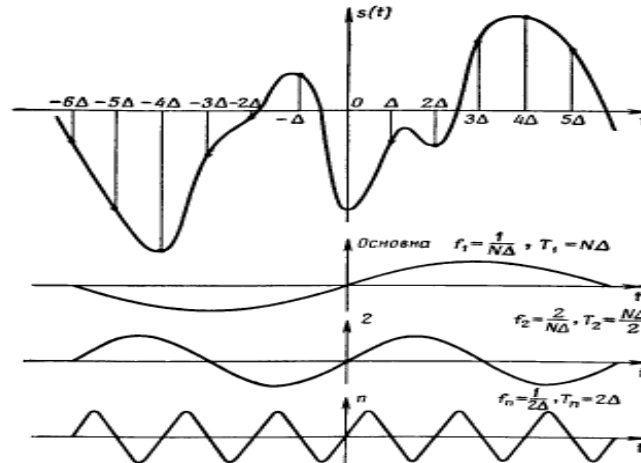


Рисунок 6 – Гармонійна структура часового ряду динаміки. Джерело: сформовано за [8, с.35]

Розрахунок амплітудно-фазових характеристик надає можливість кількісно оцінювати параметри коливаності динамічного ряду (формули 5-6).

$$R_m = \sqrt{A_m^2 + B_m^2}, \quad \varphi_m = \arctg\left(-\frac{B_m}{A_m}\right) \quad (5)$$

$$A_m = \frac{1}{N} \sum_{r=-n}^{n-1} s_r \cos\left(\frac{2\pi m}{N} r\right), \quad B_m = \frac{1}{N} \sum_{r=-n}^{n-1} s_r \sin\left(\frac{2\pi m}{N} r\right), \quad (6)$$

де A_m, B_m – коефіцієнти відповідно при косинусі, синусі

3. Для роботи за часовими рядами динаміки різної довжини та форми, сили й інтенсивності коливань обрано програмний функціонал надбудови до MS Excel AtteStat, версія 12.5.0, який використовується вітчизняній практиці при вирішенні поставлених вище завдань. Він ідентифікує обрану складову динаміки заданою кількістю гармонік, чисельно описує її амплітудно-частотні характеристики.

4. Для вибору найбільш значимих гармонічних коливань, що максимально описують форму динаміки часового ряду використовується показник середньоквадратичної величини або середньої потужності сигналу. Його обчислення засновано на теоремі Парсеваля, яка стверджує, що середня потужність, що розсіюється сигналом s_r , може бути розкладена на складові, які надаються кожною гармонікою, що формує цей сигнал (формула 7).

$$\frac{1}{N} \sum_{r=-n}^{n-1} s_r^2 = R_0^2 + 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m^2 + R_n^2, \quad (7)$$

де R_0^2, R_m^2, R_n^2 – квадрати амплітуд коливань відповідно нульової, m -ної, останньої гармонік.

5. Формування гармонічного закону коливання динамічного ряду (або його

моделі) здійснюється на основі формул 3-4, конкретизованих з урахуванням найбільш значимих гармонік, відібраних за показником середньої потужності сигналу. Отримана модель є основою для прогнозування розвитку економічного явища у часі. Якість прогнозування зумовлюється якістю спектра сигналу, що розраховується як комбінація внеску у % кожної гармоніки в середню потужність сформованого ними сигналу та її частоти.

Як було сказано вище, економічний розвиток вітчизняної економіки описується динамікою спеціально відібраних індикаторів. Однією з таких універсальних й, отже, найбільш поширених характеристик є динаміка ВВП країни, яка, за світовою практикою, представляє собою полігармонійний коливний процес зі складною структурою накладених різних за довжиною хвиль, що відповідають за

загальну форму та інтенсивність економічного розвитку.

З одного боку вона характеризує загальний фазовий стан економіки та розгортання довгохвильового процесу. В той же час в динаміці ВВП можна побачити всю сукупність причинних факторів довгого циклу, які проявляються в коротших за тривалістю коливаннях науково-технічної, фінансової, ресурсної, інфраструктурної сфер економіки. Отже, спираючися на вищенаведене, прогноз розвитку національної економіки формуватиметься на основі косинусоїдальної моделі коливної динаміки ВВП України за 1991-2019 роки.

Фактичний ряд динаміки обраного макроекономічного індикатора розвитку представляє собою щорічні ланцюгові темпи зростання ВВП країни, сформовані на основі бази даних Світового банку (табл. 1).

Таблиця 1 – Щорічні темпи зростання ВВП України за 1991-2019 рр, %

Рік	ВВП, темп приросту, %	Рік	ВВП, темп приросту, %	Рік	ВВП, темп приросту, %
1991	-8,4	2001	9,2	2011	5,5
1992	-9,7	2002	5,2	2012	0,2
1993	-14,2	2003	9,5	2013	0,0
1994	-22,9	2004	12,1	2014	-6,6
1995	-12,2	2005	3,0	2015	-9,8
1996	-10,0	2006	7,4	2016	2,2
1997	-3,0	2007	7,6	2017	2,5
1998	-1,9	2008	2,3	2018	3,4
1999	-0,2	2009	-14,8	2019	3,2
2000	5,9	2010	3,8	2020	-4,2

Джерело: складено автором за даними Світового банку, 2021

За економічним сенсом ряд характеризує швидкість і напрямок розгортання розвитку країни протягом 1991-2020 років. Виступаючи універсальним показником результатів створення валової доданої вартості (ВДВ) національних галузей та видів економічної діяльності, динаміка ВВП, як сукупність його темпів

зростання та темпів падіння, несе в собі інформацію про узагальнений стан національного господарства та характеристики його трансформації у часі.

За вищевикладеною методикою гармонійного аналізу отримані та зведені в таблицю 2 первісні технічні характеристики часового ряду економічної динаміки ВВП.

Таблиця 2 – Первісні характеристики часового ряду динаміки ВВП за 1991-2020 рр.

Назва характеристики часового ряду	Умовне позначення	Значення показника	Одиниця виміру
1. Безперервний сигнал часового ряду	S_t	Реальна динаміка ВВП протягом 30-ти років	%
2. Довжина сигналу, період	T	30	роки
3. Інтервал розбиття сигналу	Δ	1	рік
4. Кількість значень детермінованого сигналу	$N = \frac{T}{\Delta}$	30	-
5. Порядковий номер дискретного моменту часового ряду	$r,$ $t = \Delta r$	r змінюється за цілими числами, $r := 1, \dots, N$ $r := r_1, r_2, \dots, r_{30}$	-
6. Детермінований в дискретні моменти часу сигнал часового ряду	S_r	Фактична динаміка ВВП з 1991 до 2020 року	%
7. Кількість гармонік часового ряду, Порядковий номер гармоніки	$N/2$ m	15 $m := 1, \dots, 15$	-
8. Основна гармоніка	-	$m = 1$	-
9. Вищі гармоніки		$m = 2, \dots, 15$	-
10. Змодельований сигнал дискретного часового ряду	$\hat{S}_r$	Змодельована динаміка ВВП з 1991 до 2020 року	%

Джерело: сформовано автором

З метою структурного аналізу динаміки щорічних темпів зміни ВВП України 1991-2020 рр. та здійснення прогнозування розвитку української економіки за встановленими вище етапами (етапи 1 – 5), фактичними даними (табл. 1) та їх первісними технічними

характеристиками (табл. 2) з використанням математичної надбудови Attestat 12.5.0 здійснено гармонійний аналіз часового ряду. Основні результати необхідні для економічної інтерпретації та подальших розрахунків подані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати аналізу Фур'є щорічних темпів зміни ВВП України 1991-2020 рр.

Гармоніка, m		Коеф. COS (A _m)	Коеф. SIN (B _m)	Амплітуда m-й гармоніки (R _m)	Фаза m-й гармоніки (φ _m)	Середня потужність m-й гармоніки	Внесок m-й гармоніки в середню потужність, %	Частота m-й гармоніки, період у рік, (θ _m)	Тривалість циклу m-й гармоніки, роки, (T _m)	Кількість циклів за період
Середнє	0	-1,2	0,0	1,2	0	1,3	0,5			
Основна	1	-6,8	-1,9	7,0	-16,0	98,6	35,4	0,0333333	30,0	1
Вищі	2	2,7	-5,9	6,5	65,3	83,5	30,0	0,0666667	15,0	2
	3	2,2	-1,2	2,5	28,6	13,0	4,7	0,1	10,0	3
	4	2,3	-1,8	2,9	37,1	16,8	6,1	0,1333333	7,5	4
	5	-1,3	-1,3	1,8	-44,2	6,5	2,3	0,1666667	6,0	5
	6	-1,5	2,4	2,8	58,1	15,6	5,6	0,2	5,0	6
	7	0,5	0,2	0,6	-17,0	0,6	0,2	0,2333333	4,3	7
	8	-1,8	-1,3	2,2	-35,7	9,4	3,4	0,2666667	3,8	8
	9	1,5	0,8	1,7	-28,7	6,1	2,2	0,3	3,3	9
	10	-0,5	-2,7	2,7	-79,2	15,1	5,4	0,3333333	3,0	10
	11	-0,7	-0,6	0,9	-39,9	1,6	0,6	0,3666667	2,7	11
	12	0,4	1,1	1,2	-70,9	2,9	1,0	0,4	2,5	12
	13	0,5	-0,2	0,5	17,4	0,6	0,2	0,4333333	2,3	13
	14	-1,1	1,4	1,8	51,8	6,3	2,3	0,4666667	2,1	14
	15	0,6	0,0	0,6	0,0	0,4	0,1	0,5	2,0	15
Разом						278,4	100,0			

Джерело: сформовано автором

Так, складну полігармонійну динаміку щорічних темпів зміни ВВП за 1991-2020 рр. (рис. 5) розкладено на 15-ть гармонійних складових, кожна з яких описана в амплітудно-частотних характеристиках (табл. 3). За формулою 6 встановлений показник середньої потужності сигналу S_r та

вклад в нього кожної з m -гамонік. На основі цього побудовано лінійчастий спектр Фур'є та відібрані найбільш значимі гармоніки, на які, згідно з теоремою Парсеваля, найбільш повно розподіляється середня потужність сигналу (рис.7).

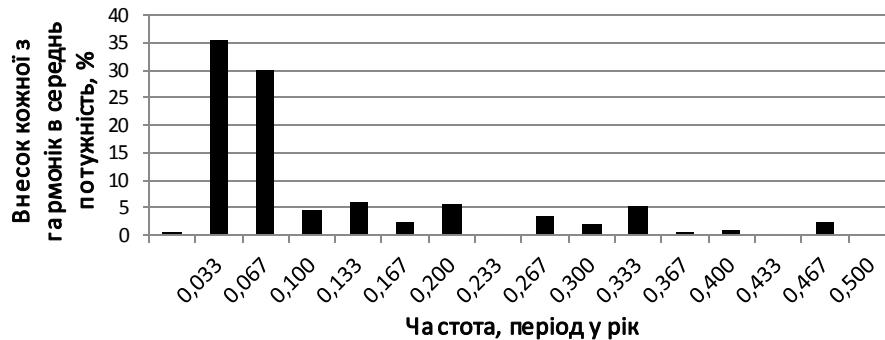


Рисунок 7 – Спектральний аналіз динаміки ВВП України за 1991-2020 рр.

Джерело: побудовано автором

Вагоми гармоніками, які найбільш повно описують полігармонійну форму

динаміки темпів зміни ВВП України за 1991-2020 рр є основна, 2, 4, 6, 10-та (рис. 8).

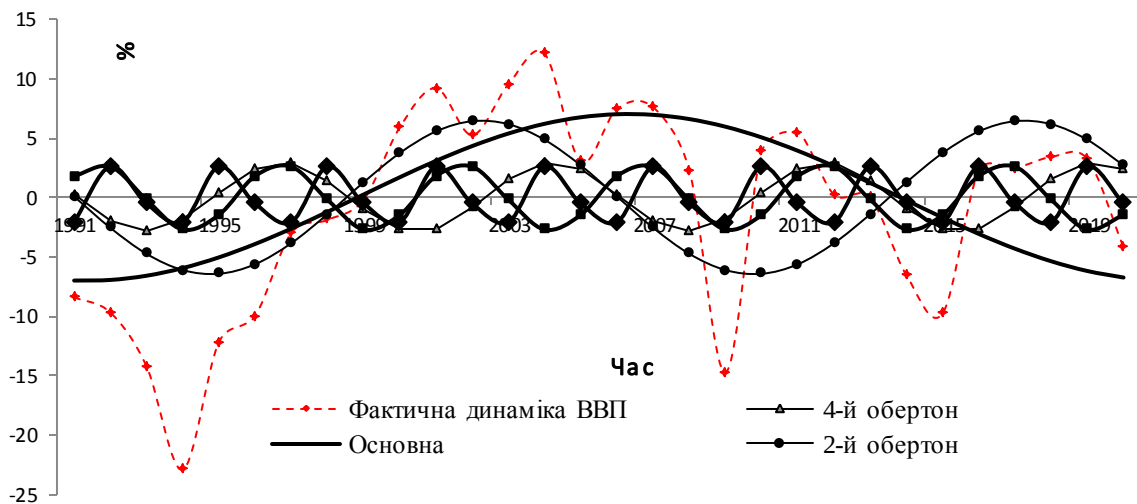


Рисунок 8 – Вирішальні гармоніки динаміки ВВП України за 1991-2020 рр. Джерело: побудовано автором

Формули 3-4 характеризують амплітудно-частотну та фазову інтерпретацію моделі часової динаміки. Для побудови моделі, практично доступної для

прогнозування, обраний наступний вид встановлюваної функціональної залежності (формули 8-9).

$$\hat{S}_r = A_0 + \sum_{m=1}^{n-1} A_m \times \cos\left(\frac{2\pi m}{T}\right) \times r + \sum_{m=1}^{n-1} B_m \times \sin\left(\frac{2\pi m}{T}\right) \times r + A_{\frac{n}{2}}$$

$$A_{\frac{n}{2}} = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n s_r (-1)^r \quad (9)$$

На основі вищевиконаних результатів аналітичних розрахунків та статистичних даних розрахована наступна гармонійна закономірність, що описує фактичну

динаміку темпів зміни ВВП України за 1991-2020 рр. (формула 10).

$$\hat{S}_r = -1,2 - 6,8 \cos \frac{\pi}{15}r - 1,9 \sin \frac{\pi}{15}r + 2,7 \cos \frac{2\pi}{15}r - 5,9 \sin \frac{2\pi}{15}r + 2,3 \cos \frac{4\pi}{15}r - 1,8 \sin \frac{4\pi}{15}r - 1,5 \cos \frac{2\pi}{5}r + 2,4 \sin \frac{2\pi}{5}r - 0,5 \cos \frac{2\pi}{3}r - 2,7 \sin \frac{2\pi}{3}r \quad (10)$$

Ступінь наближення змодельованої та фактичної динамік подано на рисунку 9. Графічний аналіз показує достатню ступінь

наближення реального та сконструйованого часових рядів.

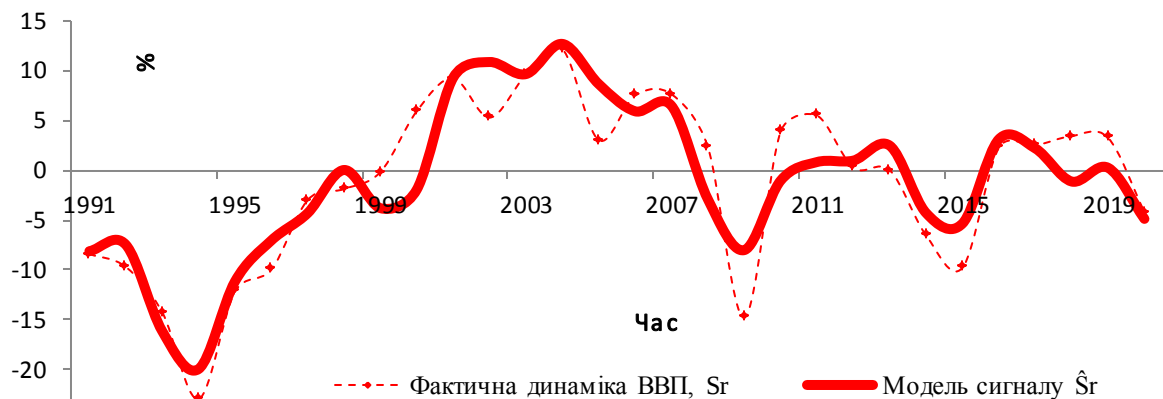


Рисунок 9 – Гармонійний закон коливання фактичної динаміки ВВП України за 1991-2020 рр. Джерело: побудовано автором

Отже, розрахована за формулами гармонійна закономірність виступає апроксимувальною функцією фактичного динамічного ряду та може бути використана для прогнозування. Виконана перевірка якості моделі за показником середньої арифметичної її залишків ($\bar{e}_r$) дала достатні результати. Так, $\bar{e}_r = -4,6E-13$ (тобто близьке до 0 значення). Показник сумарного вкладу визначальних гармонік в середню потужність сигналу, який склав близько

91,5% (табл.3), підтверджує високу апроксимуючу якість сформованої гармонійної моделі та її придатність для прогнозування. Отже результати середньорічного (5-ть років) прогнозу наведені у таблиці 4. Прогнозування виконано методом перспективної екстраполяції, можливість застосування якого зумовлене високою якістю моделі, її економічним змістом.

Таблиця 4 – Прогнозна динаміка темпів економічного розвитку української економіки на 2021-2025 р.

Номер періоду	Роки	Прогнозна динаміка ВВП, %
31	2021	-8,1
32	2022	-7,5
33	2023	-16,1
34	2024	-19,9
35	2025	-11,2

Джерело: побудовано автором

Структурний аналіз фактичної динаміки за допомогою гармонійних складових дозволив встановити наступні

закономірності. Кожна вирішальна (тобто відібрана згідно з її вкладом у середню потужність сигналу) гармоніка обраного

економічного індикатора розвитку, динаміка якого оцінюється, несе в собі конкретні технічні характеристики: характерну саме для неї амплітуду, частоту коливань, тобто кількість повторень циклу гармоніки за весь період аналізу (наприклад, за 1991-2020 рр.), тривалість. Принципова структура циклу будь-якої гармоніки складається з двох фаз тривалістю $\frac{1}{2}$ загальної довжини циклу: фази зростання та фази падіння. Цикл кожної гармоніки за власною природою є повторюваністю певних закономірностей за визначений період у часі (протягом аналізованого періоду), які визначаються

характеристиками відповідної гармоніки та специфікою економічного процесу. Тобто, в залежності від того, в якій фазі починався циклічний рух (рівень економічного показника зростав або знижувався), в тій фазі він закінчиться наприкінці загального періоду аналізу економічної динаміки. Спираючись на цей принцип, вирішальні гармоніки, що характеризують темпи зміни ВВП України протягом 1991-2020 рр., розділені на спадні (які закінчуються фазою падіння) (рис. 10) висхідні (які закінчуються фазою зростання) (рис. 11).

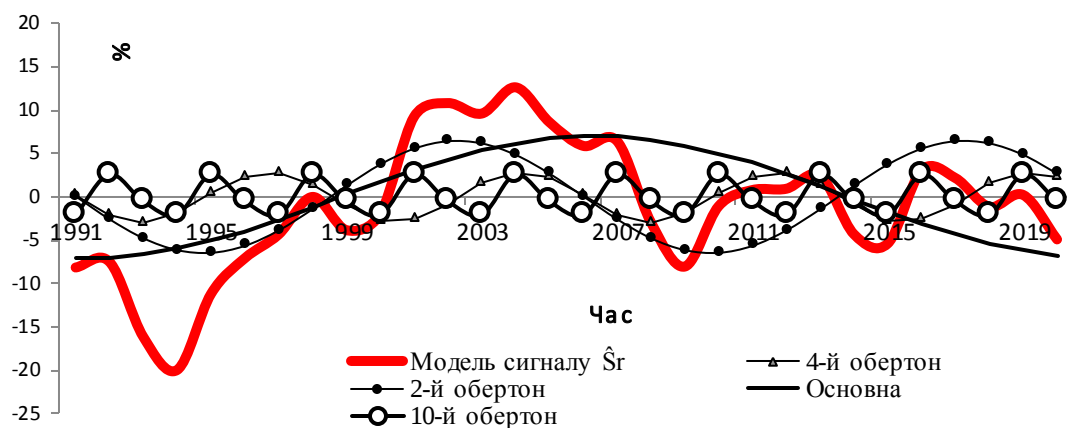


Рисунок 10 - Спадні визначальні гармоніки та модель динамічного ряду Джерело: побудовано автором

Графічний аналіз наведеного ілюстративного матеріалу встановлює, що 4 з 5-ти вирішальних гармонік досліджуваної динаміки є спадними. Це свідчить про наявність деструктивних тенденцій, що є

характерними для загального коливного процесу, які зберігуться в майбутньому. Підтвердженням цього став здійснений прогноз з його від'ємними темпами зміни ВВП (табл.4).

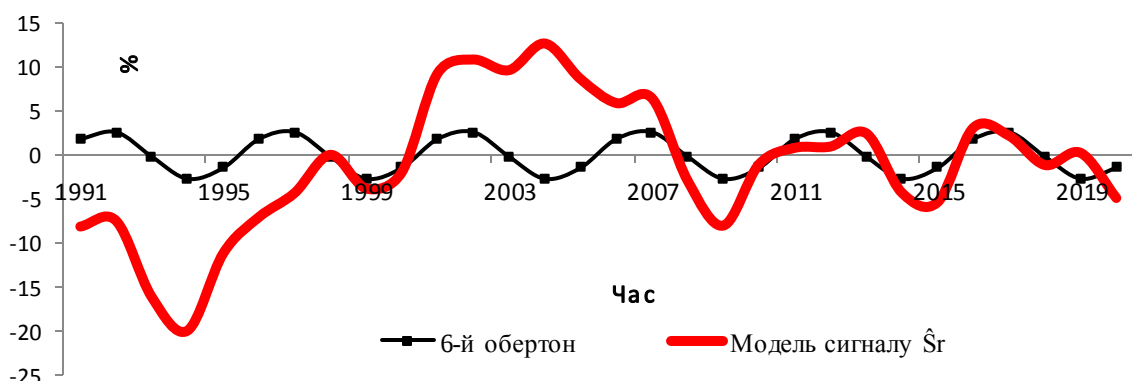


Рисунок 11 - Висхідні визначальні гармоніки та модель динамічного ряду

Аналізуючі структуру динаміки економічного розвитку України, слід відмітити наявність вирішальних гармонік високих порядків. До них відносять

четверту, шосту, десятую гармоніки з тривалістю циклу відповідно 7,5, 5, 3 роки. Тобто вони зумовлюють високу частоту коливань динаміки, волатильний

характер процесу створення основного доходу країни – внутрішнього валового продукту. Отже, на основі гармонійного аналізу та перспективної екстраполяції визначений спадний характер тенденції траєкторії розвитку української економіки. Виконаний середньостроковий прогноз зафіксував її п'ятирічну тривалість.

Визначені вирішальними гармоніками цикли в динаміці ВВП України довжиною 30, 15, 7,5, 5 та три роки зіставлено з періодичністю класичних економічних циклів Кітчина [Joseph Kitchin] (3-4 роки),

Жугляра [Juglar Clément] (7-11 років), Кузнеця [Kuznets Simon] (15-25 років), Кондратьєва (45-50 років). Встановлено, що динаміка розвитку національної економіки за 1991-2020 рр. підпорядкована довгостроковому циклічному процесу, характерному для коливань, пов'язаних з демографічними, інфраструктурними, інвестиційними процесами в економічній системі країни – тобто циклами Кузнеця (рис 12.).

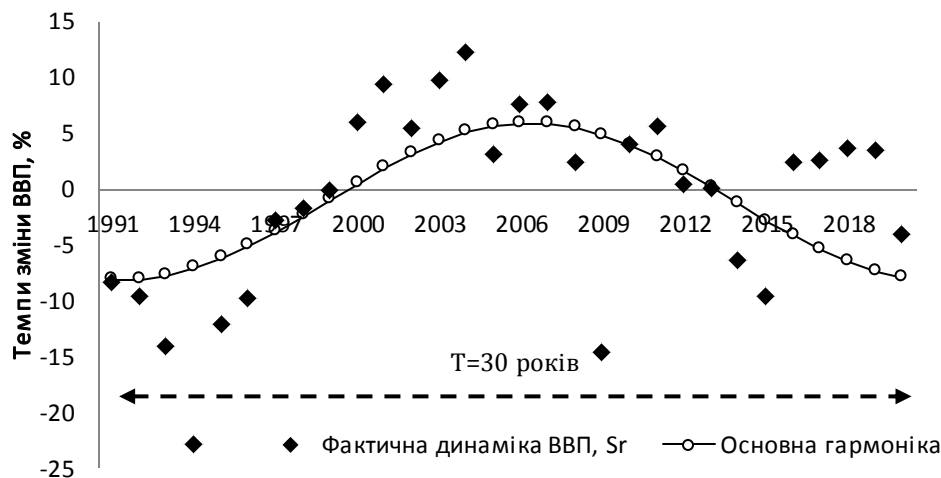


Рисунок 12 – Цикл Кузнеця в економічній динаміці України. Джерело: побудовано автором

Періодична функція, що описує дане явище та апроксимує фактичну динаміку економічного розвитку України, є основною

(першою) гармонікою досліджуваного коливного процесу, математично представлена наступною формулою 11.

$$\hat{S}_r = -1,2 - 6,8 \cos \frac{\pi}{15}r - 1,9 \sin \frac{\pi}{15}r \quad (11)$$

Виходячи з встановлюваної закономірності, в 2020 році українська економіка знаходиться у спадній фазі циклу Кузнеця, початок якої датується 2008-2009 роками. Згідно виконаному прогнозу її завершення очікується в 2023 році від'ємними темпами зміни ВВП на рівні -7,8%. Висхідна тенденція (підфаза поживлення) намітиться з 2024 до 2029 року та характеризуватиметься уповільненням темпів падіння економіки з -7,1% до -0,9%. Наступна підфаза прискореного зростання висхідної хвилі тридцятирічного циклу Кузнеця очікується в 2030 році з позитивними темпами зміни ВВП на рівні 0,5%. Точність прогнозу обґрунтована якістю прогнозної моделі (формула 11), що вимірюється нульовим

середнім рівнем залишків та становить $\hat{\epsilon} = -2,22E - 16$. Слід зазначити, що на інтенсивність економічного спаду та тривалість спадної тенденції протягом довгострокового циклу Кузнеця, впливає синфазний рух економіки зі спадними частинами циклів Кітчина (визначеного 10-тою гармонікою, рис. 10) та Жугляра (визначеного 2, 4 гармоніками, рис. 10).

Обговорення результатів. Отримані результати дослідження дозволяють стверджувати про придатність та продуктивність застосування міждисциплінарних методів гармонійного та спектрального аналізу для прогнозування динаміки розвитку національної економічної системи. Встановлювані даними методами гармонійні закономірності дозволяють

структурувати економічну динаміку, виокремлювати її значимі циклічні компоненти, які пояснюють коливні процеси зміни макроекономічних індикаторів розвитку. Винайдені циклічні коливання за амплітудно-частотними і фазовими характеристиками співвідносяться з класичними економічними циклами, тобто стають підґрунтям для змістовного економічного аналізу. Достатньо висока точність отримуваних прогнозних даних створює можливість розробки науково обґрунтованої стратегії розвитку країни. До перспектив дослідження віднесена необхідність поглиблення запропонованого структурного аналізу економічної динаміки за допомогою гармонійних складових її руху з метою визначення ступеню її збалансованості. Також перспективним напрямком в контексті регулювання розвитку та встановлення причинно-наслідкових факторів його динаміки вважається гармонійний аналіз багатомірних часових рядів економічної динаміки, створених на основі класичних моделей економічного зростання, інших багатфакторних моделей.

Висновок. Отже, математичний інструментарій гармонійного та спектрального аналізу, застосовуваний для дослідження функціонування певного класу складних динамічних систем, для яких характерними є коливні процеси, апробовано для оцінювання стану та

прогнозування траєкторії розвитку національної економіки. Даний методичний апарат дозволив враховувати її нестационарну, волатильну поведінку, складну полігармонійну динаміку, характерну для сучасних економічних систем, коли коливні процеси ускладнюють процес встановлення та достовірного описання тренду розвитку. В роботі сформовано та узгоджено зі специфікою функціонування національних економічних систем алгоритм здійснення гармонійного аналізу. За показником темпів зміни внутрішнього валового продукту встановлені вирішальні гармоніки та їх амплітудно-частотні й фазові параметри, що характеризують розвиток української економіки з 1991 до 2020 року. Це дозволило сформувати функціональну залежність, тобто апроксимувальну функцію, яка з достатньою точністю описала коливні процеси економічного розвитку української економіки за вказаний період часу. Виконана процедура прогнозування встановила короткострокові, середньострокові довгострокові очікувані траєкторії розвитку економіки України. За допомогою гармонійного аналізу в динаміці економічного розвитку України ідентифіковані класичні цикли Кузнеця, Жугляра, Кігчина, описані їх характеристики, та вплив на характер стану та перспективи розвитку економіки країни.

Список літератури

1. Ф.Б. Тебуева, В.А. Перепелица, М.Ю. Кабиняков Декомпозиция и прогнозирование временных рядов с долговременными корреляциями. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 1 (138). С. 111-120
2. А.Б. Иващенко Традиционные и современные подходы в прогнозировании временных рядов. Наукові праці донецького національного технічного університету: Серія: «Проблеми моделювання та автоматизації проектування». 2012. № 1 (10)-2(11), С. 156-175
3. Петров Л.Ф. Методы динамического анализа экономики. Москва: Инфра-М, 2010. 240 с.
4. Дж. Бокс Анализ временных

рядов: прогноз и управление. Москва: Мир, 1974. Т. 1. 403 с.

5. М. Кендалл Многомерный статистический анализ и временные ряды. Москва: «Наука», 1976. 737с.

6. Кильдишев Г.С. Анализ временных рядов и прогнозирование Москва: Статистика, 1973. 113с.

7. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. Москва: Финансы и статистика, 2001. 228 с.

8. Г. Дженкинс Спектральный анализ и его приложения. Москва: Мир, 1971. Т. 1. 317 с.

References

1. F.B. Tebuyeva, V.A. Perepelitsa, M.YU. Kabinyakov Dekompozitsiya i prognozirovaniye vremennykh ryadov s

dolgovremennymi korrelyatsiyami. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. 2013. № 1 (138). S. 111-120

2. A.B. Ivashchenko Traditsionnyye i sovremennyye podkhody v prognozirovani vremennykh ryadov. Nauchnyye pratsi donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: «Problemi modelyuvannya ta avtomatizatsii proyektuvannya». 2012. № 1 (10)-2(11), S. 156-175

3. Petrov L.F. Metody dinamicheskogo analiza ekonomiki. Moskva: Infra-M, 2010. 240 s.

4. Dzh. Boks Analiz vremennykh

ryadov: prognoz i upravleniye. Moskva: Mir, 1974. T. 1. 403 s.

5. M. Kendall Mnogomernyy statisticheskiy analiz i vremennyye ryady. Moskva: «Nauka», 1976. 737s.

6. Kil'dishev G.S. Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye Moskva: Statistika, 1973. 113s.

7. Afanas'yev V.N., YUzbashev M.M. Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye. Moskva: Finansy i statistika, 2001. 228 s.

8. G. Dzhenkins Spektral'nyy analiz i yego prilozheniya. Moskva: Mir, 1971. T. 1. 317 s.

Надійшла до редакції

Кладченко Ірина Сергіївна – асистент кафедри економіки підприємства, ДВНЗ "Донецький національний технічний університет",
E-mail: iryna.kladchenko@donntu.edu.ua

FORECASTING OF NATIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT TRAJECTORY BY METHODS OF HARMONIC AND SPECTRAL ANALYSIS

Improving of the methodological tools for the national economies behavior's forecasting in the context of increasing the validity and analytical characteristics of state economic strategies in conditions of high volatility, lack of trend stability and non-stationary dynamics of external and internal socio-economic processes by implementing interdisciplinary methods of Fourier analysis and their adaptation to the specifics of the socio-economic systems' functioning and development. Methodology. The forecasting's targeting as an important independent stage in the process of analytical assessment of the balance of development is performed on the basis of structuring, division into stages, systematization, and grouping. Justification of the interdisciplinary approach for forecasting of national economic system's development is carried out by methods of analysis and synthesis, comparison and practical testing. Establishment of the economic dynamics' structural regularities and forecasting of a trajectory of national economy development are executed by harmonic and spectral analysis of the dynamic systems' fluctuating processes. The results. The paper's attention is focused on the specific features of macroeconomic dynamics' time series as a basis for the forecasting of national economies development, namely their short duration, non-stationary, aperiodic, polyharmonic and their impact on the formation of adequate methodological support for forecasting. The possibility and efficiency of spectral and harmonic methods using for analysis oscillating processes of national economic system's development are substantiated. A harmonic model of Ukraine's economic development's trajectory during 1991-2020 is formed, which allowed to analyze the fluctuating component of the macroeconomic indicators' dynamics on the basis of actual data that included all the initial information contained in the time series. By distinguishing economic cycles, their amplitude-frequency characteristics, the current phase of Ukrainian economy's development is characterized. On the basis of the economic dynamics' model, being used the indicator of annual GDP growth, forecasting is executed and short-term, average-term and long-term tendencies Ukraine's economy's development are established. Scientific novelty. The extending of theoretical and methodological tools for forecasting of main trends in national economies, based on harmonic and spectral analysis, is allowed to form a structural approach to the analysis of economic dynamics in the context of selection of its decisive harmonics and basing on their characteristics to make conclusions about the current level and projected national economic systems' development. Practical significance. The adapted and regulated procedure of harmonic and spectral analysis of socio-economic systems' oscillating processes became the basis for forecasting the level, rates and proportions of national economic systems development.

Keywords: oscillating development processes, forecasting economic dynamics, harmonic and spectral analysis, crucial harmonics, economic cycles

Irina S. Kladchenko - Assistant of Department of Enterprise Economics, SHEI "Donetsk National Technical University"

E-mail: iryna.kladchenko@donntu.edu.ua

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МЕТОДАМИ СПЕКТРАЛЬНОГО И ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Цель. Углубление и совершенствование методического инструментария прогнозирования поведения национальных экономик в контексте повышения обоснованности и результативности государственных стратегий развития национальной экономической системы в условиях высокой волатильности, отсутствия трендоустойчивости, нестационарности динамики внешних и внутренних социально-экономических процессов путем имплементации междисциплинарных методов гармонического и спектрального анализа сложных динамических систем естественного происхождения и их адаптации к специфике функционирования и развития социально-экономических систем. Методика. Актуализация места прогнозирования как важного самостоятельного этапа в процессе аналитического оценивания сбалансированности развития выполнено на основе структурирования, разделения на этапы, систематизации, группирования. Процесс обоснования междисциплинарного подхода для прогнозирования развития национальной экономической системы осуществлено методами анализа и синтеза, сравнения и практической апробации. Определение структурных закономерностей экономической динамики и прогнозирования траектории развития национальной экономики выполнено методами гармонического и спектрального анализа колебательных процессов динамических систем. Результаты. Сконцентрировано внимание на специфических чертах временных рядов макроэкономической динамики как основы прогнозирования развития национальных экономик, а именно их короткой продолжительности, нестационарности, аперiodичности, полигармоничности и их влиянии на формирование адекватного методического обеспечения прогнозирования. Обоснована возможность и эффективность использования методов спектрального и гармонического анализа колебательных процессов развития национальной экономической системы. Сформирован гармоничную модель траектории развития экономики Украины в течение 1991-2020 гг., которая позволила проанализировать колеблющуюся составляющую динамики макроэкономических индикаторов на основе фактических данных, которые содержат всю первоначальную информацию, содержащую временной ряд. С помощью выделения экономических циклов, их амплитудно-частотных характеристик охарактеризована современная фаза развития украинской экономики. На основе разработанной модели экономической динамики по показателю темпов изменения ВВП выполнено прогнозирование и определены краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные тенденции развития экономики Украины. Научная новизна. Углубление теоретико-методического инструментария прогнозирования тенденций развития национальных экономик на основе гармонического и спектрального анализа позволило сформировать структурный подход к анализу экономической динамики в контексте выделения в ее составе определяющих гармоник и на основе их характеристик делать выводы об уровне и ожидаемой тенденции развития национальных экономических систем. Практическая значимость. Адаптированная и регламентированная процедура гармонического и спектрального анализа колебательных процессов социально-экономических систем стала основой для прогнозирования уровня темпов и пропорций развития национальных экономических систем.

Ключевые слова: колебательные процессы развития, прогнозирование экономической динамики, гармонический и спектральный анализ, критические гармоники, экономические циклы

Кладченко Ирина Сергеевна – ассистент кафедры экономики предприятия,
ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет",
E-mail: iryna.kladchenko@donntu.edu.ua