

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

METHOD FOR FORECASTING INTERNATIONAL ECONOMIC PROCESSES IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY INITIAL DATA

В статье рассмотрены вопросы прогнозирования международных экономических процессов в условиях неопределенности исходных данных. Проведенный обзор и анализ методов краткосрочного прогнозирования международных показателей показал, что модель простого экспоненциального сглаживания является наиболее адекватной для решения задач прогнозирования международных процессов. Для метода экспоненциального сглаживания основным и наиболее трудоемким этапом построения прогноза является выбор параметра сглаживания. Для решения этой проблемы был предложен адаптивный метод поиска параметра сглаживания на основе ретроспективного анализа исходных данных путем решения обратной задачи прогнозирования. Определены основные ограничения, преимущества и недостатки при использовании интервальной модели экспоненциального сглаживания. Разработана система оценки качества прогноза.

Ключевые слова: прогноз, адаптация, международные процессы, интервальная модель экспоненциального сглаживания, метод.

У статті розглянуті питання прогнозування міжнародних економічних процесів в умовах невизначеності вихідних даних. Проведений огляд і аналіз методів короткострокового прогнозування міжнародних показників показав, що модель простого експоненціального згладжування є найбільш адекватною для вирішення завдань прогнозування міжнародних процесів. Для методу експоненціального згладжування

основним і найбільш важким етапом побудови прогнозу є вибір параметра згладжування. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано адаптивний метод пошуку параметра згладжування на основі ретроспективного аналізу вихідних даних шляхом розв'язання оберненої задачі прогнозування. Визначено основні обмеження, переваги та недоліки при використанні інтервальної моделі експоненціального згладжування. Розроблено систему оцінки якості прогнозу.

Ключові слова: прогноз, адаптація, міжнародні процеси, інтервальна модель експоненціального згладжування, метод.

In the article considered questions of forecasting of the international economic processes in the conditions of uncertainty of the initial data. The review and analysis of methods for short-term forecasting of international indicators showed that the simple exponential smoothing model is the most adequate for solving problems of forecasting international processes. For the method of exponential smoothing, the main and most difficult stage in constructing a prediction is the choice of the smoothing parameter. To solve this problem, we proposed an adaptive method for finding the smoothing parameter based on a retrospective analysis of the original data by solving the inverse prediction problem. Determined the main limitations, advantages and disadvantages using the interval model of exponential smoothing. A system for estimating the quality of the forecast has been developed.

Key words: forecast, adaptation, international processes, interval model of exponential smoothing, method.

УДК 339.9:330.4

Ревенко Д.С.

к.э.н., доцент кафедры экономики и маркетинга
Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

Лыба В.А.

к.э.н., старший преподаватель кафедры экономики и маркетинга
Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

Ткачук В.В.

соискатель кафедры экономики и маркетинга
Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

Постановка проблемы. На современном этапе развития мировой экономики прогнозирование тенденций развития международных экономических процессов представляет собой трудоемкую задачу. При этом рассматривая долгосрочное прогнозирование в международной практике необходимо уделять внимание наиболее важным факторам мирового развития.

В современных кризисных условиях повышение качества и точности прогнозов позволяет влиять на развитие экономики и внедрять мероприятия, которые являются наиболее эффективными. На качество прогноза также оказывают влияние существующие сдвиги в экономике, которые связаны с масштабными явлениями в экономике. Особое влияние на качество долгосрочного прогноза оказывает стремительное усиление неопределенности развития. Неопределенность развития представляет собой нечеткость видения будущих сценариев развития международных рынков. Разрабатываемые долгосрочные про-

гнозы определяются рядом факторов на глобальном и национальном уровне. Глобальный уровень предполагает темпы выхода экономики из кризисного состояния, национальный уровень включает способность адаптации экономики к новой ситуации на внешних рынках [1]. Прогноз должен преследовать две основные цели: определение возможного состояния экономики и будущих путей развития, а также корректировку макроэкономических показателей социально-экономического развития для адаптации к возможной неблагоприятной ситуации.

Анализ последних исследований и публикаций. В научной литературе различают пять направлений исследования и прогнозирования развития мирохозяйственных взаимоотношений: человеческий потенциал, экономика, экология, финансы, управление. Существующие виды деятельности общества относятся к тому или иному представленному направлению [2]. Рассматривая анализ экономических процессов в мировой экономике,

в классические периоды развития экономики применялся равновесный анализ, а в период переходного развития преобладал динамический подход. Впервые вопросы прогнозирования динамики глобальных процессов было освещено в работах Дж. Форрестера, которые получили дальнейшее развитие. Среди отечественных и зарубежных ученых данная проблема рассматривалась в трудах таких ученых, как: Ю. Архангельский, Н. Кизим, Л. Клебанова, Л. Сергеева, А. Бакурова, В. Беседин, В. Геец, А. Емельянов, И. Крючкова, И. Манцуров, М. Скрипниченко, и многих других.

Постановка задания. Формирование метода прогнозирования международных экономических процессов в условиях неопределенности исходных данных.

Изложение основного материала. Основным условием обеспечения реальности прогнозов достигается обоснованностью методического подхода к составлению прогноза, учета важнейших факторов и уровнем квалификации разработчиков прогнозов. В качестве основных методов построения прогнозов применяются методы регрессии, интерполяции, экстраполяции, корреляции, генерации и другие, основанные на экономико-математическом аппарате, которые обеспечивают точность, достоверность и быстроту получения прогнозов [3].

Сегодня большинство прогнозов развития мирохозяйственных взаимоотношений основаны на методах экстраполяции, которые предполагают, что в будущем на развитие явлений будут влиять те же факторы что и на начальном этапе.

Мировые процессы характеризуются постоянной изменчивостью, и в будущем эти изменения будут нарастать. В настоящее время формализация мировых процессов основана преимущественно на использовании точных данных. Однако, методы, основанные на определенности, оказываются неэффективными, потому что действительность не соответствует классической схеме. Применение вероятностных методов ограничено. Неадекватность получаемых прогнозных решений приводит к разработке новых методов прогнозирования. Естественно, что основой их должен быть классический инструментарий. Следовательно, становится необходимым использовать в классических прогнозных моделях новый математический аппарат, учитывающий ретроспективную неопределенность в данных. Эффективным методом в решении подобных задач является использование аппарата интервального анализа, а именно представление переменных прогнозных модели в виде интервальных чисел.

Проведенный обзор и анализ методов краткосрочного прогнозирования международных показателей показал, что модель простого экспоненциального сглаживания является наиболее

адекватной для решения задач прогнозирования международных процессов.

Используем основную теорему интервального анализа [4, с. 30], которая гласит, что если $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – рациональная функция вещественных аргументов x_1, x_2, \dots, x_n и для нее определен результат $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ подстановки вместо аргументов интервалов их измерений $[x_1], [x_2], \dots, [x_n] \in$ множеству всех правильных интервалов I/R и выполняются все действия над ними по правилам интервальной арифметики:

– сложение

$$[x] + [y] = [\underline{x} + \underline{y}, \overline{x} + \overline{y}], \quad (1)$$

– вычитание

$$[x] - [y] = [\underline{x} - \overline{y}, \overline{x} - \underline{y}], \quad (2)$$

– умножение

$$[x] \cdot [y] = [\min\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\overline{y}, \overline{x}\underline{y}, \overline{x}\overline{y}\}, \max\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\overline{y}, \overline{x}\underline{y}, \overline{x}\overline{y}\}], \quad (3)$$

– умножение на константу

$$c \cdot [x] = \begin{cases} [c\underline{x}, c\overline{x}] & \text{если } c \geq 0, \\ [c\overline{x}, c\underline{x}] & \text{если } c < 0, \end{cases} \quad c \in \mathbf{R}. \quad (4)$$

– деление

$$[x] / [y] = [x] \cdot [1/\overline{y}, 1/\underline{y}], \quad 0 \notin [y]. \quad (5)$$

Тогда

$$\{f(x_1, x_2, \dots, x_n) \mid x_1 \in [x_1], \dots, x_n \in [x_n]\} \subseteq [f]([x_1], [x_2], \dots, [x_n]), \quad (6)$$

т.е. $[f]([x_1], [x_2], \dots, [x_n])$ содержит множество значений функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ на $([x_1], [x_2], \dots, [x_n])$.

Модель простого экспоненциального сглаживания при разложении будет иметь вид:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-3} + \dots + \alpha(1-\alpha)^n A_{t-n}. \quad (7)$$

Следовательно,

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1-\alpha)^i A_{t-(i+1)}, \quad (8)$$

где F_t – новый прогноз;

F_{t-1} – прошлый прогноз;

A_{t-1} – текущий показатель прошлого периода;

α – константа сглаживания ($0 < \alpha < 1$);

t – количество рассматриваемых периодов.

Заменяем все переменные модели (8) интервальными числами вида $[A_i] = [\underline{A}_i, \overline{A}_i]$, где $\underline{A}_i < A_i < \overline{A}_i$, ($i = 1, \dots, t$). Получаем интервальную модель экспоненциального сглаживания

$$[F_t, \overline{F}_t] = \alpha \cdot [\underline{A}_{t-1}, \overline{A}_{t-1}] + \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1-\alpha)^i [\underline{A}_{t-(i+1)}, \overline{A}_{t-(i+1)}], \quad (9)$$

где $[F_t, \overline{F}_t]$ – интервальное прогнозное значение показателя;

$[\underline{A}_{t-1}, \overline{A}_{t-1}]$ – текущий интервальный показатель прошлого периода;

α – параметр сглаживания ($0 < \alpha < 1$);

t – количество рассматриваемых периодов.

Следует заметить, что использование разработанной модели (9) усложнено из-за «унаследования» свойств структурных элементов модели – алгебраических свойств классической интервальной арифметики и специфики использования модели простого экспоненциального сглаживания.

Для поиска параметра сглаживания разработан адаптивный метод на основе ретроспективного анализа исходных данных путем решения обратной задачи прогнозирования [15], который был модифицирован для интервальной модели экспоненциального сглаживания. Суть этого метода состоит в оценивании параметров сглаживания для известных данных динамического интервального ряда $[A_t]$ (т.е. ретроспективное решение обратной задачи), после чего – в решении прямой задачи – нахождении прогнозного значения параметра α в прогнозируемый момент F_t на основе сплайн-аппроксимации. Этот метод позволяет повышать качество прогноза за счет адаптации прогнозной модели к реалиям экономического процесса.

Ретроспективный метод поиска параметра сглаживания предусматривает выполнение последовательных действий:

Шаг 1. Задаем динамический интервальный ряд $[A_t]$ и глубину ретроспективного анализа.

Шаг 2. Определяем параметр сглаживания для прогноза на предыдущий период $(t-1)$ путем решения полиномиального уравнения относительно α_{t-1} :

$$\begin{aligned} [\underline{A}_{t-1}, \overline{A}_{t-1}] &= \alpha_{t-1} [\underline{A}_{t-2}, \overline{A}_{t-2}] + \\ &+ \sum_{i=1}^{t-2} \alpha_{t-1} \cdot (1 - \alpha_{t-1})^i \cdot [\underline{A}_{t-(i+1)}, \overline{A}_{t-(i+2)}], \end{aligned} \quad (16)$$

где $[\underline{A}_{t-1}, \overline{A}_{t-1}]$ – реальное значение параметра в момент времени $t-1$; n – длительность временного ряда. Если уравнение имеет вещественные корни на интервале $\alpha \in [0, 1]$, то это значит, что найденное значение α_{t-1} позволило бы получить совершенно точный прогноз на момент времени $t-1$. В качестве метода поиска корней полиномиального уравнения, заданного интервальными коэффициентами, можно использовать интервальный метод Ньютона [16, 17].

Шаг 3. Последовательно повторяя первый этап по всей или части временной серии, получаем ряд полиномиальных уравнений с интервальными коэффициентами:

$$\begin{aligned} [\underline{A}_{t-n+1}, \overline{A}_{t-n+1}] &= \alpha_{t-n+1} \cdot [\underline{A}_{t-n}, \overline{A}_{t-n}], \\ &\dots\dots\dots, \\ &+ [\underline{A}_{t-2}, \overline{A}_{t-2}] = \alpha_{t-2} \cdot [\underline{A}_{t-3}, \overline{A}_{t-3}] + \\ &+ \sum_{i=1}^{t-3} \alpha_{t-2} \cdot (1 - \alpha_{t-2})^i \cdot [\underline{A}_{t-(i+3)}, \overline{A}_{t-(i+3)}], \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} [\underline{A}_{t-1}, \overline{A}_{t-1}] &= \alpha_{t-1} \cdot [\underline{A}_{t-2}, \overline{A}_{t-2}] + \\ &+ \sum_{i=1}^{t-2} \alpha_{t-1} \cdot (1 - \alpha_{t-1})^i \cdot [\underline{A}_{t-(i+1)}, \overline{A}_{t-(i+2)}]. \end{aligned}$$

Таким образом, имеем последовательность значений α для всех моментов временной серии, кроме первого:

$$\{\alpha\} = \{\alpha_{t-1}, \alpha_{t-2}, \alpha_{t-3}, \dots, \alpha_{t-n+1}\}. \quad (18)$$

Шаг 4. Экстраполируем полученную тенденцию (18) на момент времени t для получения прогнозного значения α_t .

Как было отмечено ранее, основными проблемами использования интервальной модели экспоненциального сглаживания со стороны элемента – интервального анализа – являются алгебраические свойства классической интервальной арифметики:

1. Ассоциативность и коммутативность.
2. Если один из операндов является невырожденным интервалом, то и результат арифметической операции – также невырожденный интервал.
3. Субдистрибутивность.
4. Монотонность по включению [4, с. 43-44].

Использование интервальной модели экспоненциального сглаживания имеет свои ограничения, преимущества и недостатки.

Ограничения интервальной модели экспоненциального сглаживания:

- минимальное количество уровней должно быть не менее четырех;
- возможность прогнозирования только рядов без пропусков данных;
- прогнозирование процессов с равными интервалами времени;
- модель дает лучший прогнозный результат при прогнозировании инерционных процессов.

Преимущества разработанной интервальной модели экспоненциального сглаживания:

1. Модель дает возможность проводить прогнозирование не только интервальных динамических рядов, но и классических рядов с включениями интервальных данных, тогда уровни рядов – классические вещественные числа – заменяются вырожденными интервалами (интервалами с нулевой шириной).

2. Интервальность переменных модели экспоненциального сглаживания позволяет описать достаточно широкий круг задач с ретроспективной неопределенностью.

3. Метод достаточно прост и удобен в использовании и реализации по сравнению с другими методами прогнозирования.

4. Метод обеспечивает быстрое реагирование прогноза на все события, происходящие на протяжении определенного периода, что позволяет построить так называемую «адаптивную прогнозную модель».

5. Для построения прогноза на основе экспоненциального сглаживания необходимо задать только лишь начальную оценку прогноза, после чего можно прогнозировать при поступлении данных без необходимости заново строить процедуру вычисления прогноза.

6. В экспоненциальном сглаживании значения весов убывают со временем. Поэтому здесь нет точки, на которой веса обрываются, т.е. зануляются.

7. При увеличении α значения экспоненциальной средней будут близкими к значениям уровней и хорошо реагировать на изменения в уровнях, что является достаточно эффективным инструментом при прогнозировании макроэкономических процессов.

8. Ретроспективный метод поиска параметра сглаживания дает возможность получать параметр модели таким образом, чтобы уменьшить автокорреляцию в остатках.

К недостатку интервальной модели экспоненциального сглаживания необходимо отнести экспоненциальное возрастание границ результирующего интервала при умножении или делении интервала на интервал.

В связи с тем, что разработанная модель экспоненциального сглаживания обладает рядом ограничений, они усложняют ее использование на практике. Реализация любой создаваемой модели предполагает разработку систематизированной совокупности шагов, действий, которые необходимо предпринять, чтобы использовать на практике разработанную модель. Следовательно, в данной статье решена задача разработки метода комплексной идентификации и прогнозирования структурных компонент интервальных динамических рядов на основе интервальной модели экспоненциального сглаживания.

В большинстве временные ряды макроэкономических процессов имеют систематические (регулярные) составляющие: тренд – основную тенденцию (T_t); циклические и сезонные колебания (S_t); нерегулярную компоненту (случайная или остаточная компонента, одноразовое воздействие, аномальный уровень) e_t .

В общем виде временной ряд y_t можно представить

$$y_t = f(T_t, S_t) + e_t. \quad (19)$$

Большинство интервальных макроэкономических процессов $[y_t]$ можно представить в аддитивной форме

$$[y_t] = [T_t] + [S_t] + [e_t], \quad (20)$$

где $[T_t]$, $[S_t]$, $[e_t]$ – интервальное представление тренда, циклической и нерегулярной компонент соответственно.

В связи с тем, что модель экспоненциального сглаживания показывает лучший прогнозный результат при прогнозировании слабостационарных и инерционных процессов, а также учитывая тот факт, что большинство мировых процессов обладают системными составляющими, возникает необходимость заложить процедуры идентификации и прогнозирования системных составляющих интервальных динамических рядов в разрабаты-

ваемый метод, что и было реализовано в описанной ниже последовательности этапов метода комплексной идентификации и прогнозирования структурных компонент интервальных динамических рядов.

Разработанный метод состоит из 10 последовательных этапов, которые приведены ниже.

Этап 1. Формулировка целей и задач прогнозирования. На подготовительном этапе проводится краткое описание прогнозируемого процесса, выявляются факторы, которые сгенерировали неопределенность в исходных данных. Дается формулировка целей и задач исследования, выдвигается гипотеза о виде конечного результата прогнозирования.

Этап 2. Организация работ по проведению процесса прогнозирования. Организация работ по прогнозированию представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на создание условий для прогнозирования с целью подготовки информации для принятия оперативных и стратегических решений. В рамках этого этапа необходимо решить следующий перечень задач: собрать и систематизировать необходимую информацию для прогнозирования, при необходимости подготовить специалистов, владеющих основными приемами и методами прогнозирования.

Этап 3. Сбор и подготовка исходных данных для проведения прогнозирования. На этом этапе проведения исследования формируется и подготавливается исходный интервальный ретроспективный ряд $[x_1], [x_2], [x_3], \dots, [x_n]$ для проведения прогнозирования.

Этап 4. Статистическая обработка исходных количественных данных, анализ и формулировка предварительных выводов. В рамках этого этапа, с целью анализа динамики и вариабельности прогнозируемого ряда, а также получения дополнительной информации об исследуемом процессе, проводится предпрогнозный анализ динамического интервального ряда.

Этап 5. Комплексная идентификация и элиминирование системных компонент интервального динамического ряда. В связи с тем, что большинство макроэкономических процессов имеют системные компоненты – тенденцию среднего уровня и циклические составляющие, – то они, по существу, нестационарные, а модель экспоненциального сглаживания показывает наиболее лучшие результаты при прогнозировании слабостационарных рядов. Для получения стационарного ряда необходимо преобразовать ряд в центрированный (процесс остается в равновесии относительно постоянного среднего уровня) путем вычитания функции тренда и циклической компоненты (элиминирование процесса).

В качестве метода преобразования интервальных оценок уровней в точечные с целью иденти-

фикации тренда и циклической составляющей используем метод «центра неопределенности» [18], т.е. преобразование исходного интервального ряда $[x_2], [x_3], \dots, [x_n]$ в ряд, состоящий из уровней средних величин $mid[x_1], mid[x_2], \dots, mid[x_n]$.

Для идентификации и элиминирования системных компонент проводится последовательность следующих итераций:

1. Проверка ряда $mid[x_1], mid[x_2], \dots, mid[x_n]$ на наличие тренда. В качестве метода определения наличия тренда в ряду могут быть использованы методы: Фостера – Стьюарта [20, с. 19] или метод сравнения средних [20, с. 27]. Если подтверждается гипотеза о наличии тренда, то проводится подбор вида тренда, если подтверждается нулевая гипотеза, то переходят к шагу 6.

2. Подбор вида тренда. На практике для определения вида тренда чаще всего используют метод характеристик [20, с. 67], при котором ряд $mid[x_1], mid[x_2], \dots, mid[x_n]$ необходимо сгладить к усредненным значениям с помощью различных скользящих средних. Усреднение проводится с целью уменьшения влияния помех $mid[\varepsilon_n]$ и циклической компоненты.

3. Оценка параметров трендовой модели. Для определения параметров трендовой модели используем метод наименьших квадратов (МНК). После получения параметров трендовую модель $f(\bar{x}_i)$ проверяют на адекватность, рассчитывают коэффициент детерминации, среднюю ошибку аппроксимации, проверяют на статистическую значимость ее параметров.

4. Элиминирование функции тренда из исходного ряда $mid[x_1], mid[x_2], \dots, mid[x_n]$ и получение ряда $mid[x'_1], mid[x'_2], \dots, mid[x'_n]$.

5. Определение циклической (сезонной) компоненты в ряду $mid[x'_1], mid[x'_2], \dots, mid[x'_n]$. Если в ряду $mid[x'_1], mid[x'_2], \dots, mid[x'_n]$ имеется не менее двух периодических повторений M («циклических волн»), то можно определить I_{SM} поправочных членов [21, с. 94] (индексы сезонности), где S – количество уровней в ряду повторений M . Тогда поправочный показатель для ряда без тренда рассчитываем так:

$$I_{SM} = \frac{mid[x_i]}{A_v} \cdot 100\% . \quad (20)$$

Если имеется тренд-сезонный ряд, то среднюю интервального ряда A_v необходимо заменить на трендовый теоретический ряд \bar{x}_i :

$$I_s = \frac{mid[x_i]}{\bar{x}_i} \cdot 100\% . \quad (21)$$

После строится матрица поправочных коэффициентов:

$$\begin{pmatrix} I_{S11} & I_{S12} & \dots & I_{S1n} \\ I_{S21} & I_{S22} & \dots & I_{S2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{Sn1} & I_{Sn2} & \dots & I_{SnM} \end{pmatrix} , \quad (22)$$

где n – длина систематического периода (неделя, месяц, квартал, год) с циклической компонентой;

M – количество равных разбиений исходного ряда (циклических волн).

Следовательно, среднеарифметические значения столбцов матрицы (22) будут корректными поправочными членами (индексами сезонности) I'_{SM} .

6. Элиминирование поправочных членов I'_{SM} из ряда $mid[x'_1], mid[x'_2], \dots, mid[x'_n]$. После исследования ряда на наличие циклической компоненты и определения ее параметров I'_{SM} необходимо элиминировать их из ряда $mid[x'_1], mid[x'_2], \dots, mid[x'_n]$, после чего получаем ряд нерегулярных компонент $mid[\varepsilon'_1], mid[\varepsilon'_2], \dots, mid[\varepsilon'_n]$.

7. Проверка корреляции остатков. Проверка проводится по критерию Дарбина-Уотсона [12, с. 179]. В случае существования серийной корреляции между ошибками $mid[\varepsilon_n]$ и $mid[\varepsilon_{n+k}]$ (гипотеза о стационарности процесса отвергается) переходят к шагу 2, повторяя итерации до пункта 4, пока гипотеза о стационарности процесса по критерию Дарбина – Уотсона не подтвердится, после чего необходимо элиминировать тренд из исходного ряда $mid[x_1], mid[x_2], \dots, mid[x_n]$.

8. Выделение ряда нерегулярных компонент $mid[\varepsilon'_1], mid[\varepsilon'_2], \dots, mid[\varepsilon'_n]$ из границ интервалов ряда $[x_1], [x_2], \dots, [x_n]$ и получение ряда интервальных оценок нерегулярной компоненты $[\varepsilon_1], [\varepsilon_2], \dots, [\varepsilon_n]$.

Этап 6. Прогнозирование ряда $[\varepsilon_1], [\varepsilon_2], \dots, [\varepsilon_n]$, полученного на основе элиминирования тренда и циклической составляющей, при помощи интервальной модели экспоненциального сглаживания (9). Для прогнозирования ряда $[\varepsilon_1], [\varepsilon_2], \dots, [\varepsilon_n]$ на основе интервальной модели экспоненциального сглаживания используется следующий алгоритм действий:

1. Определение начального условия A_0 (10-11).

2. Определение параметра сглаживания α на основе ретроспективного анализа исходных данных путем решения обратной задачи прогнозирования, решение полиномиального уравнения, заданного интервальными переменными на основе модифицированного интервального метода Ньютона (16) – (18) и экстраполяция тенденции на момент времени t . В случае, если $\alpha \notin [0, 1]$, используется соотношение Брауна (12).

3. Сглаживание ряда $[\varepsilon_1], [\varepsilon_2], \dots, [\varepsilon_n]$ и прогнозирование на шаг вперед с целью получения прогнозного интервала $[\bar{\varepsilon}]$.

Этап 7. Прогнозирование системных компонент на шаг вперед и получение теоретического интервального ряда $[\bar{x}_1], [\bar{x}_2], \dots, [\bar{x}_n]$ путем добавления функции тренда и циклической компоненты. Прогнозирование на основании функции тренда $f(\bar{x}_i)$ на шаг перед с учетом поправочных членов I'_{SM} и суммирование с интервальным прогнозом $[\bar{\varepsilon}]$. Получение теоретического ряда $[\bar{x}_1], [\bar{x}_2], \dots, [\bar{x}_n]$.

Этап 8. Оценка качества интервального прогноза. О точности прогноза принято судить по размеру ошибки прогноза – разнице между прогнозными и фактическими значениями исследуемого показателя. Для интервального случая базовым элементом расчета расхождения между исходным интервальным и теоретическим интервальным рядами является показатель расстояния между интервалами $[x]$ и $[\bar{x}]$ [22]:

$$\text{dist}([x], [\bar{x}]) = \max \{ |x - \bar{x}|, |\bar{x} - \bar{x}| \}, \quad (23)$$

где $[\bar{x}]$ – интервальный теоретический ряд, полученный на основе метода комплексной идентификации и прогнозирования структурных компонент интервальных динамических рядов.

На основании показателя (23) разработаны следующие оценки качества прогноза:

1. Один из аналитических показателей, оценивающих расхождения между прогнозным и фактическим интервалами, – абсолютная мера схождения интервалов

$$L = \sqrt{(A_t - F_t^T)^2 + (\bar{A}_t - \bar{F}_t^T)^2}, \quad (24)$$

где A_t и \bar{A}_t – нижняя и верхняя границы исходного интервального ряда;

F_t^T и \bar{F}_t^T – верхняя и нижняя границы теоретического интервального ряда.

2. Показатель, оценивающий среднее расхождение между исходным и теоретическим интервальными рядами:

$$ML = \sqrt{\frac{\sum_{t=n-m+1}^n (A_t - F_t^T)^2 + (\bar{A}_t - \bar{F}_t^T)^2}{m}}, \quad (25)$$

где m – количество шагов аппроксимации.

3. Относительный показатель средней меры схождения интервалов:

$$RML = \sqrt{\frac{100}{m} \sum_{t=n-m+1}^n \frac{(A_t - F_t^T)^2 + (\bar{A}_t - \bar{F}_t^T)^2}{(\bar{A}_t - A_t)}}. \quad (26)$$

Чем меньше значение описанных выше показателей, тем выше качество ретропрогноза.

На основании последнего критерия можно прийти к заключению относительно общего уровня модели путем сравнения (табл. 1).

Таблица 1

Шкала для оценки качества прогноза

Уровень RML	Точность прогноза
Менее 10%	Высокая
10-20%	Хорошая
20-40%	Удовлетворительная
40-50%	Плохая
Более 50%	Неудовлетворительная

Этап 9. Визуализация ретроспективного ряда и результата прогнозирования. Представить динамический интервальный ряд можно в виде интервальной диаграммы.

Этап 10. Обработка результатов прогнозирования, формирование выводов. На заключительном этапе перед исследователем ставится задача о формировании выводов и рекомендаций по исследованию. На данном этапе дается численное значение результатам прогнозирования. Выделяются и указываются важные моменты в исследовании. Все результаты исследования должны быть сведены в прогнозный отчет.

Результат метода – прогнозный интервал $[\bar{x}_t]$ – может трактоваться двояко, в соответствии с двойным пониманием самих интервалов. С одной стороны, интервал $[\bar{x}_t]$ может представлять собой множество всех вещественных чисел от \bar{x}_t до \bar{x}_t (\forall -тип неопределенности), а с другой – быть лишь указателем границ для какого-то хотя бы одного значения между \bar{x}_t и \bar{x}_t (\exists -тип неопределенности) [23, с. 53].

Выводы из проведенного исследования. В современном обществе в условиях глобальной конкуренции воздействие прогнозирования становится все более значимым и требует дальнейшего развития. Сегодня любому обществу необходимо представление и определение границ эффективного поиска места страны в мире. Определение взаимозависимости динамики экономики и цикличности экономических процессов адекватно проводить на основании макроэкономических показателей, которые отображают все сферы экономики.

В результате проведенного исследования модифицирован метод экспоненциального сглаживания, который состоит из 10 последовательных этапов, и на основе мониторинга ретроспективного ряда позволяет осуществить прогнозирование и определять будущее состояние международных процессов, сформировать выводы и рекомендаций.

Мониторинг и прогнозирование мирохозяйственных тенденций имеет явное практическое значение, результаты которых могут быть основой выявления наиболее весомых факторов роста и формирования стратегических направлений развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Будущее России: макроэкономические сценарии в глобальном контексте / Е.А. Абрамова, А.Ю. Апокин, Д.Р. Белоусов, К.В. Михайленко, Е.А. Пенухина, А.С. Фролов / Форсайт, 2013. – № 2, Т. 7. – С. 6-25.
2. Самаруха А.В. Международные отношения и внешнеэкономическая деятельность в системе долгосрочного прогнозирования социально-экономического развития региона / А.В. Самаруха // Известия ИГЭА. – 2008, № 1. – С/ 47-52.
3. Кузовин А.И. Современная методика долгосрочного прогноза мировых цен на нефть / А.И. Кузовин, П.П. Лабзунов, В.И. Степачев // Проблемы ТЭК. – 2009. – № 1. – С. 32-40.

4. Шарый С.П. Алгебраический подход к анализу линейных статистических систем с интервальной неопределенностью / С.П. Шарый // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. – М., 1997. – № 3. – С. 51 – 61.
5. Льюис К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей: пер. с англ. / К.Д. Льюис. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 133 с.
6. Федосеев В.В. Экономико-математические методы и прикладные модели / В.В. Федосеев. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.
7. Френкель А.А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели: монография / А.А. Френкель. – М.: Экономика, 2007. – 221 с.
8. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування: підручник / В.М. Геєць, Т.С. Клебанова, О.І. Черняк та ін. – 2-е вид., виправл. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2008. – 396 с.
9. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
10. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2001. – 912 с.
11. Ханк Д.Э. Бизнес-прогнозирование: науч. издание / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А.Дж. Райтс. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 656 с.
12. Бережная Е.В. Математические методы моделирования экономических систем / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 378 с.
13. Грабовецький Є.Б. Економічне прогнозування і планування: навч. посіб. / Є.Б. Грабовецький. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188 с.
14. Branson W. Macroeconomic Theory and Policy / W. Branson, – New York: Harper & Row, 1989. – 656 p.
15. Вартанян В.М. Інформатизація економіки і управління: комп'ютерні інформаційні системи / В.М. Вартанян, Л.О. Філіповська. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 184 с.
16. Добронеев Б.С. Интервальная математика: учеб. пособие / Б.С. Добронеев. – Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 2004. – 216 с.
17. Калмыков С.А. Методы интервального анализа / С.А. Калмыков, Ю.И. Шокин, З.Х. Юлдашев. – Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.
18. Белов В.М. Теоретические и прикладные аспекты метода центра неопределенности / В.М. Белова, В.А. Сухарев, Ф.Г. Унгер. – Новосибирск: Наука. СИФ РАН, 1995. – 144 с.
19. Иванов В.В. Анализ временных рядов и прогнозирование экономических показателей / В.В. Иванов. – Х.: ХНУ, 1999. – 228 с.
20. Вартанян В.М. Обзор и анализ методов прогнозирования динамических процессов с неопределенными данными / В.М. Вартанян, Д.С. Ревенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 41. – Х., 2009. – С. 177-182.
21. Грешилов А.А. Математические методы построения прогнозов: науч. изд. / А.А. Грешилов, В.А. Стакун, А.А. Стакун. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
22. Параметрический синтез модели экспоненциального сглаживания для статистических рядов интервальных данных / В.М. Вартанян, Ю.А. Романенков, В.Ю. Кашеева, Д.С. Ревенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 44. – Х., 2009. – С. 232-240.
23. Швиндина А.А. Адаптация организационных структур управления к современным рыночным изменениям / А.А. Швиндина // Вестник СумГУ. Сер. Экономика. – Сумы, 2008. – № 1. – С. 20-25.