

технічних станціях, а функція  $\mu_{\alpha_1^{hp}}$  з точки зору відхилення від максимального відсоткового значення загального часу простою на технічних станціях.

Слід зазначити, що при формуванні моделі визначення пріоритетності у відправленні поїздів необхідно закласти умову, яка забезпечить 100 відсоткове значення обігу вантажного вагону при додаванні параметрів  $p_3, p_4, p_5$ , тобто

$$O_e = p_3 + p_4 + p_5 = 100\% . \quad (12)$$

Таким чином було визначено основні параметри впливу на економічну складову обігу вантажного вагону ( $p_3, p_4, p_5$ ) та сформовані відповідні функції приналежності, які адекватно їх описують.

Після того як було визначено основні параметри стає можливим отримати конкретне значення пріоритетів щодо черговості відправлення поїздів зі станцій шляхом формування нечітких правил.

### Висновки

Таким чином в даній науковій роботі було сформовано функції приналежності  $\mu_{\alpha_u^{vp}}$ ,  $\mu_{\alpha_u^{ap}}$  та  $\mu_{\alpha_a^{hp}}$  параметрів  $p_3, p_4$  і  $p_5$ . Сформований комплекс функцій приналежності надасть можливість в оперативних умовах визначати пріоритетність відправлення поїздів з розмежувальних пунктів в залежності від відстані прямування певного поїзду, часу на виконання вантажних операцій з вагонами в даному поїзді, та часу на переробку поїздів різних категорій на попутних технічних станціях. Остаточне формування моделі раціонального просування поїздів по дільницях ґрунтується на визначенні параметрів, які оказують вплив на економічну доцільність перевізного процесу, а саме термін доставки вантажів та кількість вагонів з простроченим терміном в складі поїзда.

**Список літератури:** 1. Лаврухін О.В. Визначення цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станції / О.В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. - Вип. № 2/10 (50). – С. 20-22. 2. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / Под ред. Грунтова П.С. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с. 3. Сотников Е.А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Сотников Е.А. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

*Поступила в редколлегию 15.05.2011*

**УДК 004:681.5**

**А.Н. ОДЕЙЧУК**, мнс, ННЦ ХФТИ, Харьков

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ОЦЕНКОЙ РИСКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

У роботі виконаний аналіз існуючих інформаційних технологій прогнозування часових рядів в інформаційних системах. Показано їхні недоліки. Дано визначення «ризик прогнозу».

Розроблено інформаційну технологію прогнозування з оцінкою ризику нестационарних часових рядів.

Ключові слова: інформаційна технологія, прогнозування, часові ряди, оцінка ризику прогнозу.

В работе выполнен анализ существующих информационных технологий прогнозирования временных рядов в информационных системах. Показаны их недостатки. Дано определение «риск прогноза». Разработана информационная технология прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов.

Ключевые слова: информационная технология, прогнозирование, временные ряды, оценка риска прогноза.

The paper contains the analysis of existing information technologies for forecasting time series in information systems. The disadvantages of such information technologies have been reported. The definition of the term "forecast risk" has been given. The information technology to forecast non-stationary time series with risk assessment has been developed.

Keywords: information technology, forecasting, time series, forecast risk assessment

### **Введение. Постановка задачи в общем виде**

В последнее десятилетие наблюдается стремительный рост количества публикаций, посвященных сервис-ориентированной архитектуре (СОА) построения информационных управляющих систем (ИУС) [1 – 7], ставшей новым этапом развития клиент-серверной архитектуры. На сегодняшний день крупнейшие мировые разработчики программного обеспечения, такие, как IBM, Microsoft, Oracle, Intel, JBoss, TIBCO, Diasoft и др. для популяризации и поддержки жизненного цикла создания информационных систем на основе СОА предлагают разнообразные платформы [1, 3, 4].

СОА предполагает модульное построение ИУС с помощью сервисов (служб), имеющих стандартизированные интерфейсы обмена данными [1 – 6]. Сервис представляет собой законченный объект, который выполняет отдельно взятую задачу при его вызове и имеет возможность принимать, обрабатывать и возвращать информацию [1, 2]. Каждый из сервисов является самодостаточным и не зависит от контекста или состояния других сервисов.

Также данная архитектура дала возможность разработчикам программного обеспечения выполнять интегрирование различных ИС за счет использования стандартизированных интерфейсов обмена данными и моделями [5 – 6] и, как следствие, обеспечила новый виток развития систем поддержки принятия решений (СППР), которые особенно востребованы при решении задач, связанных с прогнозированием нестационарных временных рядов [8 – 10]. Такими задачами в настоящее время являются принятие решений по выбору сплавов при создании сложных технологических конструкций и агрегатов в атомной и авиационной промышленности [11], поддержка управленческих решений на гидросооружениях [8], а также поддержка принятия решений сотрудниками банков при обслуживании корпоративных клиентов и т.п. [12]. В каждой из вышеприведенных задач решения принимаются по результатам прогнозирования нестационарных временных рядов (НВР), в виде которых представляются анализируемые технико-экономические показатели. Последствия выбранного решения напрямую зависят от точности полученного прогноза.

Существующие решения обычно основываются на достаточно частных моделях, адекватных только в течение определенного периода времени. Однако реальные процессы характеризуются нестационарностью, в связи с чем возникает необходимость постоянно выполнять адаптацию моделей к новым тенденциям, что приводит к многократному решению задачи разработки модели прогнозирования.

Кроме того, необходимым условием надежности прогнозирования временных рядов с использованием статистических моделей является сохранение в прогнозируемом периоде тех статистических свойств и закономерностей временного ряда, которые привели к построению именно той модели, на основании которой выполняется прогноз. В том случае, когда в прогнозируемом периоде имеют место изменения свойств наблюдаемого временного ряда, происходящие в заранее неизвестный момент времени под воздействием гетероскедастичности, причем столь кардинальные, что требуют не только выполнения переоценки параметров модели, но и изменения ее вида, возникает необходимость в оценке риска прогноза построенного по такой модели. Это позволит заблаговременно приступить либо к разработке новой модели прогнозирования, либо к адаптации существующей модели.

Таким образом, построение информационной технологии прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов (ИТПОР НВР) в ИУС, позволяющей производить автоматическое построение высокоточных моделей прогнозирования и оценивать риск прогноза в целях повышения эффективности принятия решений в СППР, является, несомненно, актуальной задачей.

### **Обзор и анализ элементов существующих информационных технологий прогнозирования временных рядов в ИУС**

В соответствии с ГОСТ 34.003-90 [13] информационная технология (ИТ) является совокупностью приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных.

В настоящее время ИТ прогнозирования временных рядов разработана фрагментарно. В литературе [14 – 22] внимание авторов сконцентрировано на отдельных ее элементах: сбор данных, первичная обработка данных, хранение, анализ и т.д. Кроме того, следует отметить, что среди исследователей нет единого мнения о последовательности проведения анализа временного ряда и построения его модели прогнозирования. В частности Дж. Ханк в работе [14] приводит следующую последовательность этапов:

Этап 1. Сбор данных – получение корректных данных и обязательная проверка их достоверности;

Этап 2. Редукция или уплотнение данных – определение из собранных данных, необходимых для осуществления прогнозирования;

Этап 3. Построение модели и ее оценка – подбор модели прогнозирования, наиболее соответствующей особенностям собранных данных в смысле минимизации ошибки прогноза;

Этап 4. Экстраполяция выбранной модели (фактический прогноз);

Этап 5. Оценка полученного прогноза – сравнение прогноза с наблюдаемыми значениями.

Кичор В.П. в работе [15] сосредотачивает также внимание на шагах, которые необходимо выполнить до проведения сбора данных и непосредственного построения моделей прогнозирования, и приводит следующую последовательность этапов:

Этап 1. Постановка проблемы – уточняется объект прогнозирования, формулируются цель и задачи прогнозирования, определяется точность и горизонт прогнозирования;

Этап 2. Формирование объекта прогноза в соответствии с поставленной задачей – определяется структура объекта, существенные переменные, устанавливается их соподчиненность и взаимосвязанность;

Этап 3. Сбор ретроспективной и текущей информации – определяются источники информации, разрабатывается методика отображения и переработки информации;

Этап 4. Формализация задачи – разрабатывается методика формализованного отображения информации, осуществляется формализация описания объекта прогнозирования и самого прогноза;

Этап 5. Выбор методов прогнозирования и разработка алгоритмов – производится выбор метода, наиболее пригодного для прогнозирования, разрабатывается алгоритм и оценивается его точность;

Этап 6. Пробное моделирование на ретроспективных данных – проверяется практическая пригодность метода на основании данных предыдущего периода развития системы;

Этап 7. Составление прогноза – формирование системы количественных и качественных индикаторов;

Этап 8. Использование результатов прогнозирования – результаты прогнозирования используются в соответствии с поставленной задачей, вносятся поправки, принимаются решения.

Значительно более строгая последовательность этапов ИТ прогнозирования представлена в аналитическом справочнике, составленном научным коллективом в составе Айвазяна С.А., Балкинда О.Я., Басниной Т.Д. и др. [16]:

Этап 1. Постановочный – определение конечных прикладных целей прогнозирования, набора входных и выходных переменных, взаимосвязь между которыми необходимо определить;

Этап 2. Априорный, предмодельный – формирование гипотез и допущений об изучаемом процессе;

Этап 3. Информационно-статистический – сбор необходимой статистической информации;

Этап 4. Спецификация модели – определение общего вида модели (ее структуры, представляемой в виде символической аналитической записи, в которой наряду с известными числовыми значениями присутствуют параметры, числовое значение которых пока не определено) с учетом выдвинутых гипотез и предположений;

Этап 5. Исследование идентифицируемости и идентификация модели – определение возможности нахождения неизвестных параметров модели по имеющимся исходным статистическим данным и их расчет на основании предложенных процедур оценивания. В случае необходимости производится возврат к четвертому этапу;

Этап 6. Верификация модели (статистического анализа точности и адекватности модели) – использование различных процедур сопоставления модельных заключений, оценок, следствий и выводов с действительностью.

Для целостного восприятия существующей ИТ прогнозирования НБР следует обратиться к многофункциональным статистическим пакетам анализа данных, среди которых наибольшее распространение получили SPSS, SAS, Statistica, STATGRAPHICS, STADIA [17, 18]. Данные программы практически идентичны по своим возможностям.

Пакет прикладных программ (ППП) Statistica 8 (Data Mining), в отличие от других статистических пакетов, имеет возможность визуально настраивать технологическую цепочку действий проведения исследований [19]. Основными этапами анализа данных являются: загрузка данных; подготовка данных, очистка, преобразование; анализ данных, моделирование, классификация, прогнозирование; получение результатов в заданном виде.

На каждом этапе возможна настройка и реализация некоторой последовательности действий для проведения вычислений, построенных при помощи моделей и методов, представленных в данном программном продукте. В других пакетах пользователь опирается исключительно на свой опыт и знания, когда последовательно выполняет необходимые действия для решения прикладной задачи. При этом его действия также могут быть описаны в рамках четырех этапов анализа данных, визуализированных в ППП Statistica.

Как отмечает Орлов А.И. в работе [18], одним из недостатков рассмотренных выше многофункциональных систем анализа данных является отсутствие в них современных алгоритмов, моделей и методов, разработанных за последние 30 лет. Возможной причиной такого положения дел может являться закрытость производителями интерфейсов расширений программы (модулей), что не позволяет сторонним производителям усовершенствовать приложение.

Кроме того, в данных статистических пакетах в рамках реализованной ИТ отсутствует этап контроля качества получаемой модели прогнозирования и не предусмотрена возможность выполнения автоматического выбора наиболее адекватного метода и модели прогнозирования временного ряда – функция такого выбора возложена на пользователя. Также в рассматриваемых ИТ не учитывается то обстоятельство, что реальные данные могут быть подвержены изменениям их статистических свойств, что, в свою очередь, приводит к необходимости выполнения оценки риска прогноза.

Под риском прогноза (РП) будем понимать вероятность понести потери пользователем ИУС вследствие принятия неверного решения, основанного на прогнозе, выполненном с помощью модели прогнозирования, параметры или структура которой могли перестать соответствовать анализируемому временному ряду.

Структура модели прогнозирования временного ряда представляет собой символическую аналитическую запись, определяющую набор операций и отношений над известными числовыми значениями (представленными, в основном, исходными статистическими данными – переменными), а также над величинами, содержательный смысл которых определен, а числовые значения – нет (в литературе обычно именуемые параметрами модели, неизвестные значения которых подлежат статистическому оцениванию) [16].

Таким образом, представляется достаточно актуальным усовершенствовать существующую ИТ прогнозирования, частично реализованную в многофункциональных пакетах статистического анализа. Реализация и внедрение данной технологии позволит повысить точность прогноза, оценить его риск, а также даст возможность автоматизировать процесс разработки модели прогнозирования НВР, в виде которого представляется технико-экономическая информация, анализируемая в СППР.

### Постановка задачи исследования

Постановку задачи по созданию ИТПОР НВР в ИУС сформулируем следующим образом.

Дана типовая СППР, в состав которой входит сервис прогнозирования (СП) НВР  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$ . Также даны конечное множество методов прогнозирования  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ , множество диапазонов допустимых значений статистических характеристик  $S$ , которым должен удовлетворять анализируемый временной ряд для обработки методами  $F$ , горизонт прогноза  $t$ .

Необходимо разработать комплекс методов и информационную технологию, позволяющих обеспечить построение прогнозов с заданной точностью и учитывающих уровень риска прогноза НВР, в виде которых представляется технико-экономическая информация, анализируемая с помощью СП в СППР:

$$\begin{aligned} & \text{СППР МСП, СП(ИТПОР НВР}(\{x_j\}_{j=1, \dots, T}, F, S, t, l)) \otimes \{x_j^k\}_{j=1, \dots, T}, \\ & \text{ИТПОР НВР: ПСПД} \otimes \{x_j\}_{j=1, \dots, T} \otimes \text{МРС}(\{x_j\}_{j=1, \dots, T}) \otimes \{f_{i,j}\}_{i=1, \dots, w} \otimes \\ & \otimes s_i \text{ OS} \otimes \text{МСМП}(F, S, \{f_{i,j}\}_{i=1, \dots, w}, s_i) \otimes \text{РМП} \text{ssss} \otimes \\ & \text{ssss} \otimes \text{МОРП}(\{e_j\}_{j=1, \dots, T}, t) \otimes \{f_j\}_{j=T+1, \dots, T+t}, r(\{x_j\}_{j=1, \dots, T}, \{x_j\}_{j=1, \dots, T}) \text{J} d, \end{aligned}$$

где  $\{x_j^k\}_{j=T+1, \dots, T+t}$  – прогнозные оценки НВР  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$ ; ПСПД – процедура сбора и первичной обработки данных; МРС – метод разложения временного ряда на составляющие;  $s_i$  – значения статистических характеристик составляющих НВР, которые формируют их статистическое описание; МСМП – метод синтеза модели прогнозирования НВР; РМП – результирующая модель прогнозирования НВР; МОРП – метод оценки риска прогноза;  $\{f_{i,j}\}_{i=1, \dots, w}$  – частотные составляющие временного ряда  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$ ;  $\{e_j\}_{j=1, \dots, T}$  – остатки модели прогнозирования;  $\{f_j\}_{j=T+1, \dots, T+t}$  – прогнозные оценки риска прогноза.

### Разработка информационной технологии прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов в ИУС

В настоящей работе предлагается реализовать ИТПОР НВР следующей последовательностью этапов, описывающих использование методов, моделей,

алгоритмов, программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку и позволяющих обеспечить сбор, хранение, аналитическую обработку (подготовку данных, разработку моделей прогнозирования), вывод (прогнозирование и оценку риска прогноза) технико-экономической информации с целью повышения точности принимаемых решений с использованием СП в СППР.

Этап 1. Постановочный.

На данном этапе выполняется: задание источников технико-экономической информации, анализируемой в ИУС, представляемой в виде НВР, прогнозирование с оценкой риска которой необходимо выполнить; определение горизонта прогноза  $t$ ; формирование множества методов прогнозирования  $F$ ; оценка диапазонов допустимых значений статистических характеристик  $s_k, o_s$ , которым должен удовлетворять временной ряд для обработки методом прогнозирования  $F_k \circ F$ ; выбор продолжительности периода наблюдения  $T$  входной переменной и частоты съема данных; определение системы мер, в которой должна измеряться выходная переменная, а также потери от неверного принятого решения.

Этап 2. Сбор, первичная обработка и сохранение данных.

Данный этап предполагает выполнение: сбор статистической информации; приведение данных к сопоставимым измерениям; обнаружение и исключение из временного ряда аномальных измерений; формирование структуры хранения данных в хранилище данных; запись данных, прошедших первичную обработку, в хранилище данных.

Реализацию настоящего этапа предложено заимствовать из существующей информационной технологии прогнозирования. Результатом выполнения данного этапа является одномерный временной ряд  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$ .

Этап 3. Разработка модели прогнозирования:

Этап 3.1. Разложение временного ряда на составляющие.

В рамках настоящей ИТ с целью разложения временного ряда на составляющие предложено использовать усовершенствованный автором метод разложения НВР на составляющие с помощью цифровых фильтров (МРС), реализацию которого можем представить следующим образом:

Шаг 1. Проверка гипотезы о наличии во временном ряде тренда и его случайности с помощью метода Фостера-Стьюарта. Если ряд случаен, то закончить расчет, иначе перейти к шагу 2.

Шаг 2. Расчет периодограммы временного ряда и ее нормирование  $I_{norm}(v) = I(v)/E(I)$ , где  $I(v)$  интенсивность периодограммы на частоте  $v$ ;  $E(I)$  – математическое ожидание.

Шаг 3. Определение максимумов (пиков) периодограммы на основе первого достаточного условия экстремума функции (первая производная функции в точке максимума меняет знак с плюса на минус).

Шаг 4. Расчет значения параметра

$$Q_{T,q} \gg \ln((T-2)/2q), \quad (1)$$

с учетом заранее заданного уровня значимости  $q$  выделения пика в периодограмме;  $T$  – длина временного ряда.

Шаг 5. Если интенсивность выделенного максимума превосходит (1), и фазовая диаграмма подтверждает истинность пика, то выделенный максимум признается значимым.

Фазовая диаграмма временного ряда  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$  представляет собой зависимость  $x_j$  от  $f_j$ , где  $f_j = FR(v\varphi(j - t_*))$ ,  $FR(d)$  – дробная часть числа  $d$ ,  $v$  – значение анализируемой частоты,  $t_*$  – произвольный выбранный момент времени.

Мера упорядоченности фазовой диаграммы  $Q_r(v) = 1 - \frac{1}{(T - q)s^2} \sum_{j=1}^{T-1} e^{(y_{j+1} - \bar{y})(y_j - \bar{y})} = 1 - r_T$ , где  $s^2$  – дисперсия отсчетов на фазовой диаграмме;  $\bar{y}$  – среднее значение  $f_j$ ;  $y_k$  –  $j$ -я фаза из упорядоченных фаз в порядке возрастания  $0 \leq f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_T < 1$ , а сама величина  $r_T$  является автокорреляцией последовательности отсчетов на фазовой диаграмме. При хаотическом распределении точек  $|r_T| \ll 1$  и  $Q_r \sim 1$ , в противном случае  $r_T$  близок к 1 и  $Q_r \ll 1$ .

Шаг 6. Для каждой частоты, которая соответствует точкам периодограммы, определенным как значимые максимумы, строится полосовой КИХ-фильтр с учетом заранее заданного окна и порядка фильтра. Для крайних точек рассчитывается фильтр низких/высоких частот соответственно.

Шаг 7. Выделение частотных составляющих временного ряда с помощью полученного набора фильтров. Завершение работы.

Разложение временного ряда на составляющие с помощью MPC в формализованном виде может быть представлено с помощью следующего выражения:

$$MPC(\{x_j\}_{j=1, \dots, T}) = \{ \{f_{i,j}\}_{j=1, \dots, T}, Fr_i \}, \dots, \{ \{f_{k,j}\}_{j=1, \dots, T}, Fr_k \}, \{e_j\}_{j=1, \dots, T} \},$$

где  $\{f_{i,j}\}_{j=1, \dots, T}$  –  $i$ -я выделенная частотная составляющая;  $Fr_i$  – частота выделенной  $i$ -й составляющей;  $\{e_j\}_{j=1, \dots, T}$  – случайная составляющая.

Для определения вклада вновь регистрируемых значений входной переменной (временного ряда) в частотные составляющие выполняется повторное разложение временного ряда. В случае если повторное разложение привело к изменению количественного состава составляющих, либо к значительному изменению частот составляющих так, что их отклонение от предыдущих значений превысило заранее заданное граничное значение, то считается, что в структуре временного ряда произошли существенные изменения, повлекшие за собой изменение определенных ранее закономерностей, вследствие чего признается необходимым выполнить повторное построение результирующей модели прогнозирования.

Этап 3.2. Формирование статистического описания исходных данных.

Рассчитываются значения статистических характеристик, которые позволяют охарактеризовать частотные составляющие, вычисленные на предыдущем шаге, и сопоставить их с методами прогнозирования  $F: \{f_{i,j}\}_{i=1, \dots, k} \otimes s_i, \{e_j\}_{j=1, \dots, T} \otimes s_{k+1}, sOS$ .

В случае, если значения статистических характеристик не принадлежат множеству  $S$ , производится возврат к постановочному этапу, выполняется повторное формирование множества методов прогнозирования  $F$  и множества диапазонов значений статистических характеристик  $S$ , такого что  $sOS$ .

В случае выполнения данного этапа с учетом новых данных и возникновения вышеописанной ситуации, производится не только повторное формирование множества методов прогнозирования, но и выполняется построение новой результирующей модели прогнозирования.

Этап 3.3. Разработка моделей прогнозирования составляющих временного ряда и результирующей модели прогнозирования.

Выполняется разработка моделей прогнозирования частотных составляющих (МП) и результирующей модели прогнозирования (РМП), при помощи получившего дальнейшего развитие метода синтеза моделей прогнозирования НВР путем объединения базовых методов прогнозирования с учетом статистических характеристик (МСМП):

$$\begin{aligned}
 МСМП(F, \{f_{i,j}\}_{j=1,\dots,T}, S, s_i) &= МП_i, \quad i=1,2,\dots,k, \quad МСМП(F, \{e_j\}_{j=1,\dots,T}, S, s_{k+1}) = МП_{k+1}, \\
 РМП &= e^{\sum_i МП_i + МП_{k+1}}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

В основу метода положена операция объединения базовых методов прогнозирования  $F_i = R_i M_i$  и  $F_j = R_j M_j$ , где  $M$  – оператор построения модели прогнозирования;  $R$  – оператор прогнозирования, который по результатам применения оператора  $M$  вычисляет прогноз НВР  $x^F$ , вычисляется с учетом порядка их следования:  $F_i \circ F_j = R_j M_j + R_i M_i (E - M_j)$ , где  $E$  – единичный оператор такой что  $E\{x_j\}_{j=1,\dots,T} = \{x_j\}_{j=1,\dots,T}$ .

Реализация метода МСМП может быть представлена следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Устанавливается  $i=1$ ,  $J=Ж$ ,  $FM=Ж$ .

Шаг 2. Расчет значений статистических характеристик  $s_i$  временного ряда  $FM(x^0)$ . Формирование множества методов прогнозирования  $\check{w}$  из базовых методов прогнозирования, для которых выполняется:  $s_i \circ S_j$ ,  $j=1,2,\dots,m$ ,  $j \neq J$ . Если  $\check{w}=Ж$ , то производится завершение работы.

Шаг 3. Для всех  $j=1,2,\dots,m$ ,  $j \neq J$  выполняется объединение  $K^j = M_j \circ FM = FM + M_j (E - FM)$  и расчет критерия эффективности  $r_j = r((R_j FM + R_j M_j (E - FM)), x^F)$ . Для случая, когда  $FM=Ж$ , то  $K^j = M_j$  и  $r_j = r(R_j M_j, x^F)$ . Если выполняется неравенство  $r_j \{J, i\} x$ , то  $J=j$ ,  $FM=K^j$  и завершить работу.

Шаг 4. Обновление итоговой модели прогнозирования FM:  $J=j$ ,  $FM=K^j$ , соответствующей минимальному (максимальному) значению критерия эффективности  $r_j$ .

Шаг 5. Увеличение  $i$  на единицу. Если  $i \geq h$ , где  $h$  – максимальное количество объединяемых методов прогнозирования, то выполняется переход к шагу 2, иначе производится завершение работы.

Этап 4. Оценка эффективности модели прогнозирования.

Под эффективностью модели прогнозирования понимается набор количественных показателей, описывающих наиболее адекватную и оптимальную по своей структуре модель.

Выполнение данного этапа предложено производить на основе построенного обобщенного критерия эффективности моделей прогнозирования (GCEFM) [20]:

$$GCEFM = \min_{z \in Z} \{BIC | LBQ < c_m^2, |MPE| \leq 5\}
 \tag{3}$$

где  $Z$  – множество моделей прогнозирования;

$c_m^2$  – квантиль распределения Хи-квадрат с  $m$  степенями свободы;

$BIC = \ln(MSE) + ((r+1)\ln T) / T$  – байесовский информационный критерий,

обеспечивающий минимальную ошибку выбора структуры модели и учитывающий сложность модели, где  $r$  – количество параметров модели;  $T$  – длина временного ряда;

$MSE = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T (x_j - \hat{x}_j)^2$  – среднеквадратическая ошибка, характеризующая

адекватность модели, где  $x_j$  – значение временного ряда  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$  в момент  $j$ ;  $\hat{x}_j$  – прогноз значения  $x_j$ ;

$LBQ = T(T+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{T-k}$  – Q-статистика Льюнга-Бокса, позволяющая оценить

автокорреляцию остатков, где  $m$  – число проверяемых лагов; автокорреляция  $k$ -го порядка, рассчитываемая по формуле  $r_k = \frac{1}{(T-k)s^2} \sum_{j=1}^{T-k} (x_j - \bar{x})(x_{j+k} - \bar{x})$ ,  $s^2$  – дисперсия временного ряда,  $\bar{x} = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T x_j$  – среднее  $\{x_j\}_{j=1, \dots, T}$ ;

$MPE = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T \frac{x_j - \hat{x}_j}{x_j} \cdot 100$  – средняя процентная ошибка, показывающая смещенность

прогноза относительно реальных данных.

В случае необходимости осуществляется возврат к этапу 1 для расширения множества методов прогнозирования и повторного построения результирующей модели прогнозирования на этапе 3.3.

Этап 5. Составление прогноза.

Прогнозирование временного ряда, прошедшего первичную обработку на этапе 2 и разложенного на частотные составляющие, выполняется на  $t$  шагов вперед с помощью результирующей модели прогнозирования:

$$\begin{aligned} РМП(\{f_{i,j}\}_{j=1, \dots, T}, \{e_j\}_{j=1, \dots, T}) = \\ = МП_1(\{f_{1,j}\}_{j=1, \dots, T}) + МП_2(\{f_{2,j}\}_{j=1, \dots, T}) + \dots + МП_k(\{f_{k,j}\}_{j=1, \dots, T}) + \\ + МП_{k+1}(\{e_j\}_{j=1, \dots, T}) = \sum_{i=1}^k \{f_{i,j}\}_{j=T+1, \dots, T+t} + \{e_j\}_{j=T+1, \dots, T+t} = \{x_j\}_{j=T+1, \dots, T+t} \end{aligned}$$

Получение прогнозных оценок по новым данным временного ряда предусматривает последовательное выполнение этапа 2, 3.1, 3.2, а затем выполнение непосредственного расчета прогноза на основании РМП (2).

Этап 6. Оценка риска прогноза нестационарного временного ряда.

В основу данного этапа положено использование разработанный в работе [21] метода оценки риска прогноза НВР в ИУС:  $МОРП(\{e_j\}_{j=1, \dots, T}) = \{r_j\}_{j=T+1, \dots, T+t}$ , где  $\{e_j\}_{j=1, \dots, T}$  – остатки РМП;  $\{r_j\}_{j=T+1, \dots, T+t}$  – ожидаемые оценки риска прогноза.

Реализация метода МОРП может быть представлена следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Проверка гипотез о нестационарности (гетероскедастичности) остатков модели прогнозирования с использованием теста Энгла. В случае подтверждения нулевой гипотезы о наличии нестационарности в остатках производится переход к шагу 2, в противном случае предполагается, что уровень

риска прогноза является пренебрежимо малым и последующие шаги данного метода не выполняются;

Шаг 2. Расчет текущей волатильности остатков результирующей модели прогнозирования путем выполнения фильтрация НВР с использованием парадигмы Донахо-Джонстона, обратного биортогонального вейвлета порядка 1.1 при первом уровне разложения ряда и функцией шумоподавления Видаковича.

Шаг 3. Расчет статистических характеристик: спектр, АКФ и ЧАКФ волатильности;

Шаг 4. Определение структуры возможных моделей риска прогноза (МРП) выражаемого через волатильность НВР с помощью разработанного набора дискриминантных функций и дерева решений [21].

Шаг 5. Определение параметров МРП по методу максимального правдоподобия;

Шаг 6. Определение с помощью GSEFM (3) окончательной структуры модели.

Шаг 7. Прогнозирование волатильности с помощью разработанной МРП.

Шаг 8. Нормирование прогноза волатильности остатков по шкале рыночной волатильности (MVS) [22] и выполнение оценки риска прогноза НВР выполненного на основании РМП и величины потерь пользователя ИУС используя табл., обобщающую различные дифференциации оценок риска, предложенные в работах [23, 24].

Таблица.Оценки риска

Обобщенная дифференциация	Конкретизация степени риска	MVS	Вероятность понести потери пользователем ИУС, %	Качественная интерпретация величины потерь пользователя ИУС
Низкие	Безрисковая область	0-0,5	0	Отсутствие потерь
	Минимальный	0,5-2	0 – 10	Низкие потери
	Оптимальный	2-3	10 – 25	
Умеренные	Допустимый	3-4	25 – 30	Средние потери
	Средний	4-6	30 – 50	Значительные потери
Полные	Максимальный	6-8	50 – 70	
	Критический	8-11	70 – 90	
	Катастрофический	11-12	90 – 100	Особо крупные потери

Этап 7. Передача модели прогнозирования.

Пользователю ИТ передается разработанная РМП анализируемой технико-экономической информации, представленной в виде НВР, его прогноз и оценка риска прогноза.

Апробация предложенной информационной технологии выполнена в работе [11].

## Выводы

Обзор существующих ИТ прогнозирования НВР, разработанных Айвазяном С.А., Балкиндом О.Я., Басниной Т.Д., Кичором В.П., Дж. Ханком и др., а также реализованных в многофункциональных статистических пакетах [14 – 19], показал, что в настоящее время отсутствует общепринятая методология, регламентирующая последовательность выполнения их этапов, описания самих этапов разработаны фрагментарно и большинство из них декларативны. Отсутствует этап, посвященный оценке риска прогноза.

Сформулировано определение риска прогноза НВР в ИУС, выполнена постановка задачи исследования.

Получила дальнейшее развитие информационная технология прогнозирования временных рядов, основным отличием которой от существующих информационных технологий является включение и реализация в технологической цепочке этапов, позволяющих проводить детальный анализ составляющих нестационарного временного ряда и осуществлять обоснованный переход к тому или иному методу прогнозирования, предварительно исключив из рассмотрения методы, не удовлетворяющие статистическому описанию исходных данных, а также выполнять оценку риска построенного прогноза.

**Список литературы:** 1. Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA): ценность для бизнеса, планирование и план развития предприятия [Текст] / [Биберштейн Н., Боуз С., Джонс К., Фиаммант М., Ша Р.] ; [пер. с англ. Лунина С.]. – М. : Кудиц-Пресс, 2007. – 256 с. 2. Erl, Thomas. SOA design patterns [Текст] / Thomas Erl. – Boston : Prentice Hall, 2009. – 864 p. 3. Сервис-ориентированная архитектура Oracle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oracle.com/ru/products/middleware/soa/index.html>. – Заголовок с экрана. 4. JBoss Enterprise SOA Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jboss.com/products/platforms/soa/>. – Заголовок с экрана. 5. XML for Analysis Specification. – Введ. с 2002-11-20. – Microsoft Corporation, Hyperion Solutions Corporation, 2002. – 17 p. 6. OMG-Common Warehouse Metamodel, v1.0. – Введ. с 2001-10-01. – OMG, 2001. – 502 p. 7. PMML 4.0 - General Structure of a PMML Document [Электронный ресурс]. – Введ. с 2009-05-16 // Сайт The Data Mining Group, 2009. – Режим доступа: <http://www.dmg.org/v4-0-1/GeneralStructure.html>. – Заголовок с экрана. 8. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях: монография [Текст] / [Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д.]. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с. 9. Ларичев О.И. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития [Текст] / О.И. Ларичев, А. В. Петровский. // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. — Т.21. М.: ВИНТИ, 1987, с. 131—164. 10. Codd E.F. Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to User-Analysts: An IT Mandate [Текст] / E.F. Codd, S.B. Codd, C.T. Salley. – Hyperion Solutions Corporation. – 1993. – 24 p. 11. Одейчук А.Н. Перспективы создания новых материалов с использованием информационной технологии разработки моделей прогнозирования ценовых показателей исходного сырья [Текст] / А.Н. Одейчук // VIII конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям, 22-26 февраля 2010 г. : тезисы докл. – Харьков : ННЦ ХФТИ. – 2010. – С. 57. 12. Одейчук А.Н. Прогнозирование финансовых временных рядов в условиях гетероскедастичности [Текст] / А.Н. Одейчук // Информатизация бізнесу очима молодих: прогресивні технології, наука, підприємництво : всеукр. наук.-практ. конф., 17-18 травня 2007 р. : зб. наук. роб. – Харків : ХНЕУ. – 2007. – №3. – С.9-10. 13. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. ГОСТ 34.003-90. – Введ. с 1992-01-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 16 с. 14. Ханк Д.Э. Бизнес-прогнозирование [Текст] / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А.Дж. Райс ; пер. с англ. В.В. Марченко,

В.Н. Радченко, А.В. Слепцева и др. – [7-е изд.]. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 656 с.15. Економіко-статистичне моделювання і прогнозування [Текст] / [В.П. Кічор, Р.В. Фещур, В.В. Козик та ін.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 156 с.16. Стратегии бизнеса: Аналитический справочник. [Текст] / [Айвазян С.А., Балкинд О.Я., Баснина Т.Д. и др.] ; под ред. Г.Б. Клейнера. – М. : КОНСЭКО, 1998. – 273 с.17. *Смирнова О.С.* Программное обеспечение для статистического анализа [Текст] / О.С. Смирнова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74. – № 5. – С. 68-75.18. *Орлов А.И.* Статистические пакеты – инструменты исследователя [Текст] / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74. – № 5. – С. 76-78.19. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов [Текст] / В.П. Боровиков. – [2-е изд.]. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.20. *Одейчук А.Н.* Обобщенный критерий эффективности моделей прогнозирования временных рядов в информационных системах [Текст] / А.Н. Одейчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2009. – № 1 (70). – С. 113-119.21. *Одейчук А.Н.* Элементы математического обеспечения интеллектуальной системы прогнозирования в условиях гетероскедастичности // 13-й міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»: Зб. матеріалів форуму. Ч.2. – Харків: ХНУРЕ, 2009, – с. 107.22. *Субботин А.* Волатильность и корреляция фондовых индексов на множественных горизонтах. [Текст] / А. Субботин, Е. Буянова. // Управление риском, 2008. – № 47(3). – С. 51-59; № 47(4). – С. 23-40.23. *Верченко П.І.* Багатокритеріальність і динаміка економічного ризику (моделі та методи): монографія [Текст] / П.І. Верченко. – К. : КНЕУ, 2006. – 272 с.24. *Вітленський В.В.* Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія [Текст] / В.В. Вітленський, Г.І. Великоіваненко. – К.: КНЕУ, 2004. – 480 с.

*Поступила в редколлегию 11.05.2011*

## **УДК 004.725.5**

**Н.А. МАРКИН**, студ., Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск,

**А.Н. ВОЛОШЕНКО**, студ., Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск,

**А.Л. ОВЧИННИКОВ**, асс., Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск

### **ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ СТАНДАРТА IEEE 802.11N**

Дана общая характеристика беспроводных сетей стандарта WiFi 802.11n, исследована их реальная пропускная способность, исследована возможность применения таких сетей при передаче файлов большого объема, а также возможность использования мультимедийных сервисов.

Ключевые слова: пропускная способность, IEEE 802.11n, WiFi 802.11.

Дана загальна характеристика бездротових мереж стандарту WiFi 802.11n, досліджена їх дійсна пропускна здатність, досліджена можливість застосування таких мереж при передачі файлів великого розміру, а також можливість використання мультимедійних сервісів.

Ключові слова: пропускна здатність, IEEE 802.11n, WiFi 802.11.

A general characteristic of wireless networking standard, IEEE 802.11n, investigate their actual capacity, the possibility of such networks when transferring large files, as well as the ability to use multimedia services.

Key words: bandwidth, IEEE 802.11n, WiFi 802.11.