

Н.Г. Ярушкина, И.Г. Перфильева, А.Г. Игонин, А.А. Романов,
Т.Р. Юнусов, В.В. Шишкина

РАЗРАБОТКА INTERNET-СЕРВИСА, ИНТЕГРИРУЮЩЕГО НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ НЕЧЕТКИХ ТЕНДЕНЦИЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ¹

Ярушкина Надежда Глебовна, доктор технических наук, профессор, окончила радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Проректор по научной работе, заведующий кафедрой «Информационные системы» УлГТУ. Имеет статьи и монографии в области интеллектуальных систем нечеткого моделирования. [e-mail: jng@ulstu.ru].

Перфильева Ирина Григорьевна, кандидат физико-математических наук, окончила факультет вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета. Профессор университета г. Острава (Чехия). Имеет статьи и монографии в области систем нечеткого моделирования. [e-mail: I_Perfilieva@osu.cz].

Игонин Андрей Геннадьевич, кандидат технических наук, окончил факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета. Доцент кафедры «Вычислительная техника». Имеет статьи в области интеллектуальных систем обработки информации. [e-mail: agigonin@gmail.com].

Романов Антон Алексеевич, аспирант кафедры «Информационные системы», окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: romanov@ulstu.ru].

Юнусов Тагир Рагатович, кандидат технических наук, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Начальник лаборатории автоматизации организационной деятельности. Имеет статьи в области интеллектуальных систем обработки информации. [e-mail: unusov@ulstu.ru].

Шишкина Валерия Вадимовна, аспирант кафедры «Информационные системы», окончила факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: shvv@ulstu.ru].

Аннотация

В статье представлена реализация новой сервисно-ориентированной архитектуры нового метода нечеткого моделирования. Новизна полученного программного продукта в форме Internet-сервиса заключается в реализации нового интегрального метода нечеткого моделирования и анализа нечетких тенденций временных рядов (ВР) для повышения эффективности управленческих решений, а также в учете новых требований менеджеров к снижению издержек на содержание, эксплуатацию и модернизацию аппаратных и программных средств. В результате исследования интегрального метода установлено, что ошибка точности краткосрочного прогноза не превышает 20%, ошибки краткосрочного прогноза типов нечетких тенденций равны нулю.

Ключевые слова: интеллектуальная система, принятие решения, Internet-сервис, нечеткое моделирование, прогнозирование временного ряда.

Abstract

The article presents an implementation of a new service-oriented architecture of a new fuzzy-modeling method. The novelty of the got software in the form of Internet-service consists in the implementation of a new integral method of fuzzy modeling and analysis of fuzzy tendencies of time series in order to increase management-decision efficiency as well as in the accounting of new management requirements for reduction of costs concerning maintenance, operation and update/upgrade of software and hardware.

¹ Результаты исследования, представленные в статье, получены по государственному контракту № 02.740.11.5021 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

The integral-method analysis results in the fact that the error of short-term forecast precision does not exceed 20%, the errors of short-term forecast of fuzzy-tendency types are equal to 0.

Key words: Intellectual system, decision-making, Internet-service, fuzzy modeling, forecast of time series.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в области разработки программных продуктов в виде электронных сервисов и результаты глобального исследования компаний, проведенного корпорацией Microsoft, свидетельствуют, что около 65% опрошенных компаний предпочли бы приобретение программного обеспечения по принципу услуги (модель software as service – SaaS), нежели покупку программного обеспечения (ПО) и его развертывание на собственной ИТ-инфраструктуре [1]. Учитывая, что в последние два года в России и за рубежом происходит формирование рынка Internet-сервисов нового поколения (по модели SaaS), большую актуальность для развития IT-отрасли приобретает создание специализированных Internet-сервисов. Обозначенный вид программных продуктов по сравнению с традиционными программами позволяет значительно снизить затраты на их приобретение и сопровождение.

Наиболее востребованны Internet-сервисы могут быть менеджерами инновационных малых предприятий для решения задач экспресс-анализа экономических показателей по временным рядам небольшой длины, однако на рынке программного обеспечения отсутствуют сервисы такого назначения.

Предлагаемая модель временных рядов позволяет идентифицировать, анализировать и прогнозировать новые знания в форме нечетких тенденций о динамике экономических показателей малых и средних предприятий, полученных по результатам публичной отчетности и экспресс-анализа. Разработанный новый интегральный метод обеспечивает многоуровневое моделирование временного ряда для получения числовых оценок (на основе F-преобразования) и лингвистических оценок нечетких тенденций [2]. Нечеткие тенденции, используемые в новом интегральном методе нечеткого моделирования ВР, относятся к классу элементарных нечетких тенденций, представляемых в виде их типов («Рост», «Падение», «Стабильность») и интенсивностей («Большая», «Средняя», «Малая»).

INTERNET-СЕРВИС АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

При разработке нового программного продукта в виде Internet-сервиса интегрального метода нечеткого моделирования ВР и анализа нечетких тенденций было выбрано проектное решение, основанное на системном подходе и компонентно-ориентированной архитектуре. В результате разработанный Internet-сервис

представляет собой Internet-систему, состоящую из следующих структурных компонентов: системы управления, двух специализированных Internet-сервисов (или web-сервисов) и базы данных (БД).

Нечеткое моделирование, выделение тренда, прогнозирование числовых значений ВР реализуется на основе F-преобразования, поэтому в дальнейшем будем называть Internet-сервис, выполняющий этот вид преобразования, сервисом F-преобразования. В основе анализа нечетких тенденций ВР лежит оценивание по нечеткой (Absolute Comparative Linguistic) ACL-шкале [3], поэтому Internet-сервис, реализующий анализ нечетких тенденций и их прогноз, будем называть в дальнейшем сервисом ACL-преобразования.

С позиции пользователя разработанный Internet-сервис нечеткого моделирования ВР представляет собой многостраничный Internet-ресурс с авторизованным доступом.

Общая организация Internet-системы представлена на рисунке 1.

Для реализации Internet-системы использовалась технология JSP (Java Server Pages). Эта технология позволяет веб-разработчикам динамически генерировать HTML, XML и другие веб-страницы. Она не является составной частью единой технологии создания бизнес-приложений Java EE, так как может использоваться отдельно, а технология Java EE может применяться без использования JSP. Технология позволяет внедрять Java-код, а также EL (Expression Language) в статичное содержимое страницы. Также могут использоваться библиотеки JSP-тегов для внедрения их в JSP-страницы. Страницы компилируются JSP-компилятором в сервлеты, представляющие собой Java-классы, которые выполняются на сервере. Сервлеты также могут быть написаны разработчиком без использования JSP-страниц. Эти технологии могут дополнять друг друга. Доводом в пользу JSP стало то, что это — одна из наиболее высокопроизводительных технологий, так как весь код страницы транслируется в Java-код сервлета с помощью компилятора JSP-страниц Jasper и затем

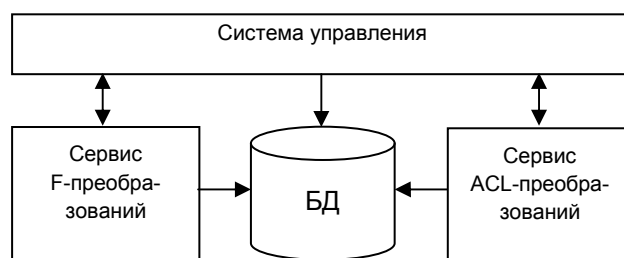


Рис. 1. Организация Internet-системы

компилируется в байт-код виртуальной машины Java (JVM). Сервлет-контейнеры (Tomcat), способные исполнять JSP-страницы, написаны на кросс-платформенном языке Java, который может работать под различными операционными системами и платформами.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МЕТОД НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработанный интегральный метод нечеткого моделирования и анализа нечетких тенденций временных рядов [2, 4, 5] ориентирован на новые требования, предъявляемые лицами, принимающими решение, к системам и методам анализа временных рядов, хранимых в БД:

- высокая степень автоматизации решения задач анализа ВР в своей предметной области;
- высокая интерпретируемость результатов;
- низкие требования к квалификации пользователя в области методов анализа ВР;
- решение новых задач анализа ВР, а именно: задачи качественной оценки текущего и будущего состояний исследуемого процесса; задачи обнаружения типичных и аномальных типов событий или выявления имевших место качественных изменений.

При этом обнаружение тенденций, их качественная оценка и прогноз на основе временных рядов, извлеченных из баз данных предприятий, выступают как отдельные задачи анализа, которые приобретают особую актуальность в связи со стремительным ростом и изменением хранимых данных.

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА НЕЧЕТКИХ ТЕНДЕНЦИЙ

Определения нечеткого временного ряда, нечеткой тенденции, содержание интегрального метода анализа нечетких временных рядов изложены в [2]. Далее приведем основной алгоритм, реализующий вышеуказанный метод.

В общем случае алгоритм прогноза на основе элементарных нечетких тенденций будет состоять из следующих шагов.

Шаг 1. Получить нечеткий временной ряд из исходного четкого временного ряда.

Шаг 2. Из нечеткого временного ряда получить временной ряд нечетких элементарных тенденций.

Шаг 3. Извлечь знания из ряда нечетких элементарных тенденций.

Шаг 4. Построить прогноз следующего значения временного ряда.

Для получения нечеткого временного ряда необходимо сформировать набор используемых нечетких меток, а также определить функцию принадлежности для каждой из них. Для получения ряда нечетких элементарных тенденций необходимо задать отношения на сформированном наборе нечетких меток, с помощью которых можно будет фиксировать характер изменения величины. К характеру изменения величины можно отнести два параметра: направление

изменения и степень изменения. С точки зрения интервала, элементарные тенденции могут быть разделены на два типа: ожидаемые и зафиксированные. Данная классификация сделана исходя из семантической интерпретации меток, описывающих тенденции относительно моментов времени. Если мы рассматриваем интервал (t_i, t_{i+1}) и тенденция принадлежит моменту времени t_i , то мы говорим об ожидаемой тенденции. Если же рассматривать интервал (t_{i-1}, t_i) и тот же момент времени t_i , то тенденция будет зафиксирована. В данном алгоритме мы будем использовать зафиксированные тенденции.

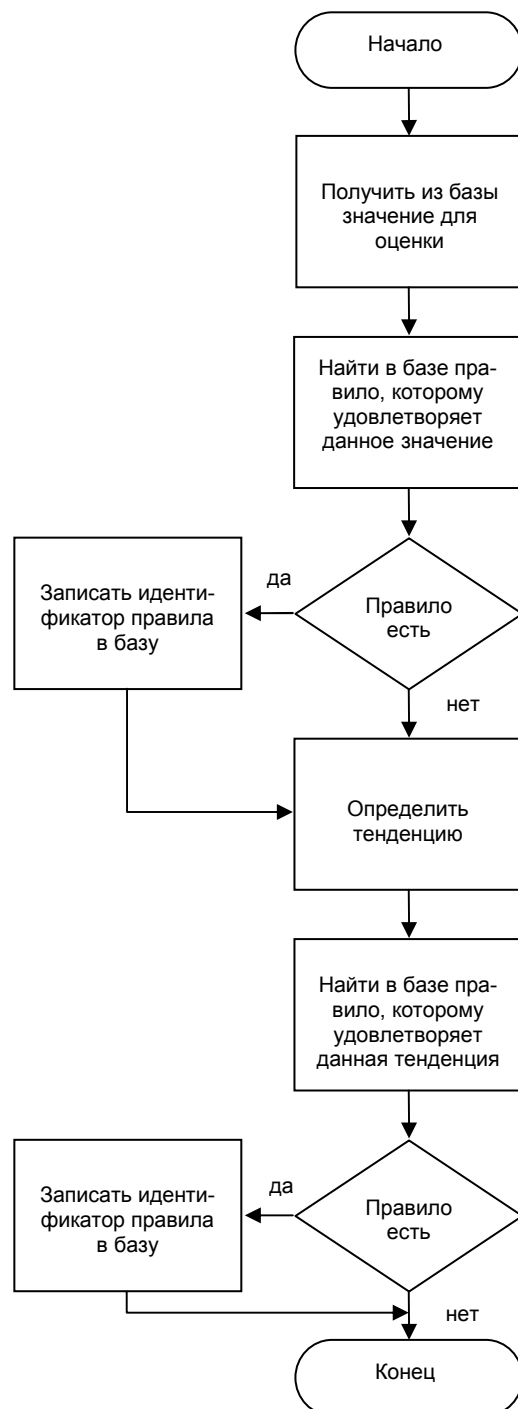


Рис. 2. Общий алгоритм экспресс-анализа

Для задания набора нечетких меток и отношений между ними воспользуемся понятием ACL-шкалы [3].

Для работы с ACL-шкалой необходимо реализовать следующий набор операций:

1. Операция фаззификации — определение абсолютной лингвистической оценки \tilde{x}_i по значению характеристики оцениваемого объекта \tilde{x}_j .

2. Операция дефаззификации — определение значения характеристики оцениваемого объекта

\tilde{x}_j по абсолютной лингвистической оценке \tilde{x}_i .

3. Операция определения типа различия.
4. Операция определения интенсивности различия.

АРХИТЕКТУРА INTERNET-СЕРВИСА НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Система управления Internet-сервисом реализует следующие функции (рис. 2):

- 1) управление доступом к Internet-системе;
- 2) управление пользователями;

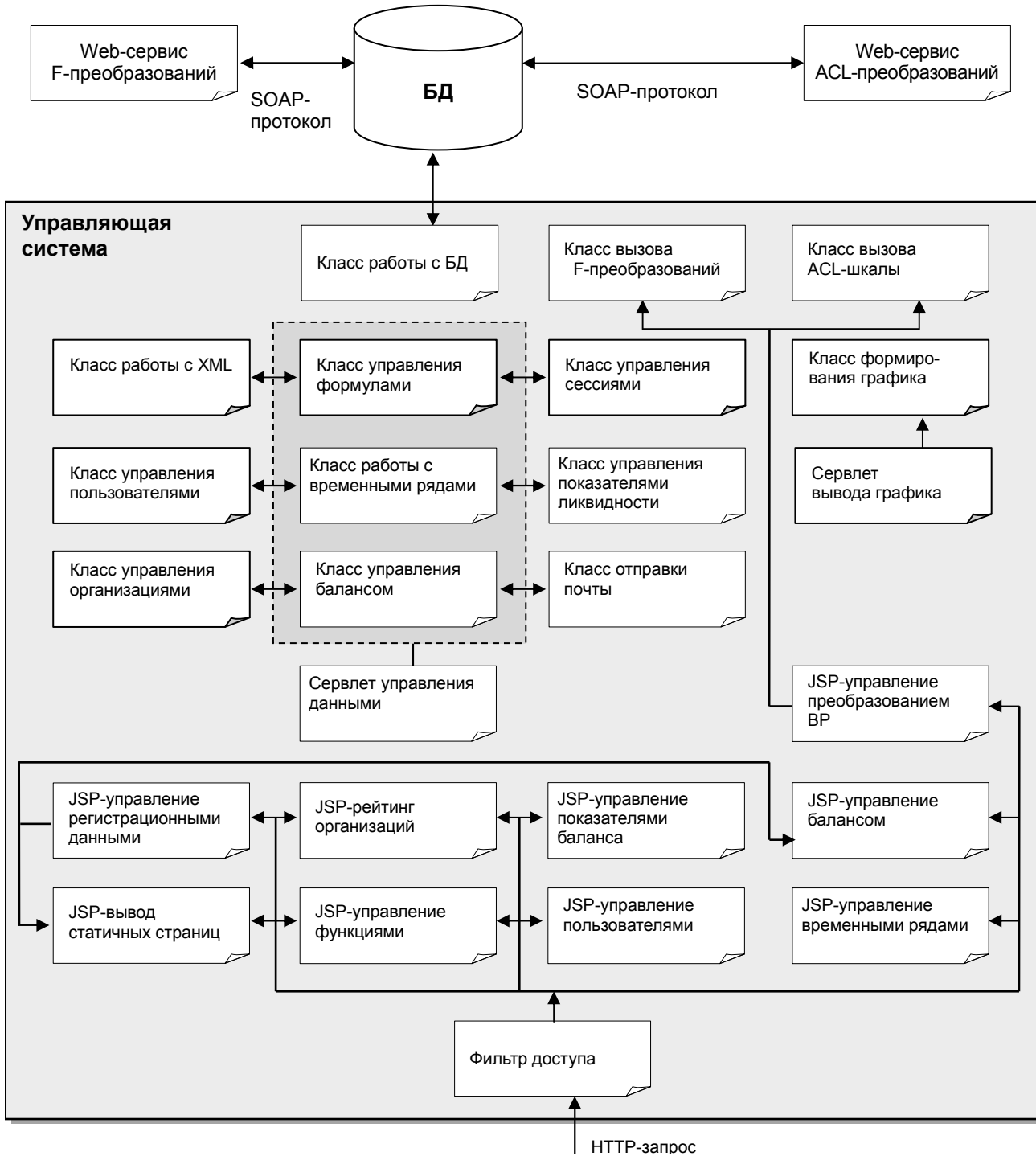


Рис. 3. Структурно-функциональная схема Internet-сервиса моделирования ВР и анализа нечетких тенденций

3) ввод и редактирование в БД временных рядов экономических показателей, извлеченных из бухгалтерской отчетности о доходах и расходах зарегистрированного предприятия;

4) ввод и редактирование стандартизованных расчетных формул для вычисления производных экономических показателей с привязкой к строкам бухгалтерской отчетности;

5) расчет временных рядов производных экономических показателей по стандартным формулам, хранимым в БД;

6) активизация сервисов F- и ACL-преобразований;

7) вывод результатов экспресс-анализа в графическом, табличном и лингвистическом видах, выражающих экономическую интерпретацию (рекомендацию) результатов экспресс-анализа.

Структурно-функциональная схема Internet-сервиса представлена на рисунке 3.

Оценка качества прогнозирования временных рядов

Важнейшей задачей методов обработки полученной в ходе эксперимента информации о функционировании интегрального метода нечеткого моделирования, объединяющего F-преобразование и анализ нечетких тенденций, является задача выявления зависимости показателей качества метода от ряда факторов, таких как способ нечеткого разбиения, количество значений временного ряда, вид используемой модели, класс временного ряда. Важнейшей среди параметров сервиса является длина временного ряда, так как задача предлагаемого метода — анализ краткосрочных рядов.

Таким образом, процедура вычислительного эксперимента, выполняемая после успешного тестирования специализированной программной системы нечеткого моделирования ВР, будет включать эксперименты, нацеленные на исследование влияния такого параметра исходных временных рядов, как их длина, на оценки показателей качества результатов MAPE [2, 3].

Основные результаты приведены в таблице 1.

На рисунке 4 изображена зависимость показателя точности прогноза MAPE от количества точек ВР. По рисунку 4 можно выделить область, когда ошибка MAPE стабилизируется. Это наступает после **26 точек ВР**, используемых для обучения, когда в прогнозе проявляется линейная зависимость от тренда, участвующего в обучении. На графиках ошибок также (за ред-

Таблица 1
Результаты аппроксимации временных рядов

Название ВР	MAPE	Лингвистическая оценка основной тенденции ВР
2-6 F (17)	5,1	Колебание
2-6 (52)	15,4	Колебание
2-8 (38)	12,7	Колебание
2-8 F (27)	4,8	Колебание-хаос
2-9 (37)	2,1	Колебание-хаос
2-9 F (24)	1,6	Рост
2-10 (100)	1,8	Колебание
2-10 F (69)	0,9	Колебание
2-11 (72)	4,8	Колебание
2-11 F (46)	22,5	Колебание-хаос
2-12 (67)	1,9	Рост
2-12 F (82)	1,6	Рост
2-16 (40)	1,5	Рост
2-13 (40)	1,6	Рост
2-13 F (50)	1,7	Рост
3-15 (33)	3,2	Колебание
5-15 F (15)	2,7	Колебание-хаос
2-16 F (86)	0,77	Колебание-хаос
2-17 (41)	1,7	Колебание
2-17 F (27)	1,3	Колебание-хаос
3-24 (33)	3,6	Колебание
3-24 F (17)	1,7	Колебание
Среднее	4,45	

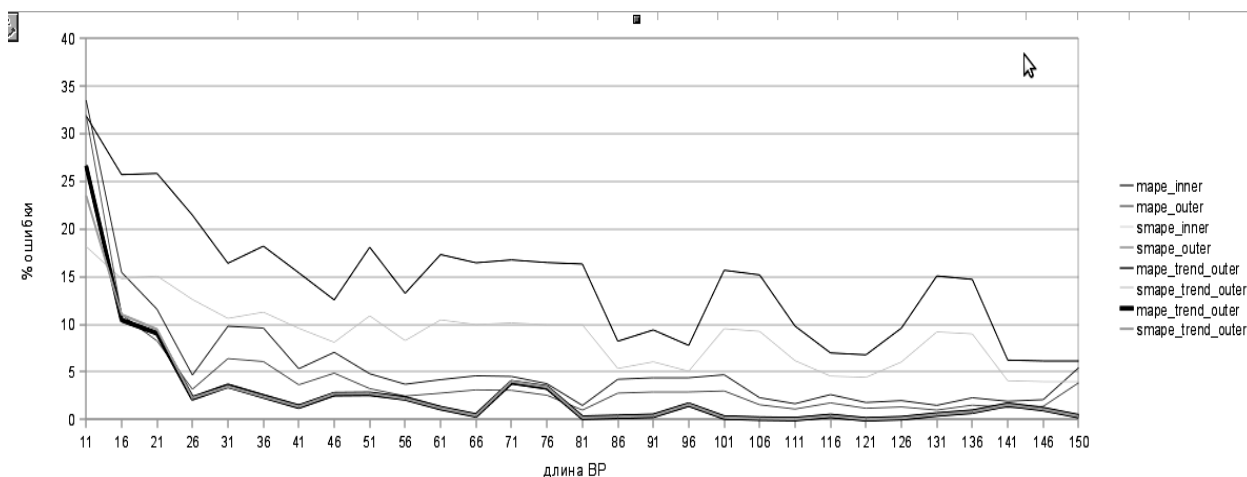


Рис. 4. Зависимость MAPE от длины ВР 2-12

ким исключением) проявляется линейная зависимость: чем больше длина ВР для обучения, тем точнее прогноз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование результативности нового интегрального метода нечеткого моделирования временных рядов на основе вычислительных экспериментов с разработанным специализированным программным продуктом показывает, что метод:

1) отличается от известных методов моделирования временных рядов извлечением новых знаний о зависимостях в нечетких тенденциях, позволяющих повысить информативность результатов моделирования и прогнозирования временных рядов;

2) обеспечивает многоуровневое моделирование временного ряда для получения прогноза в числовых оценках на основе F-преобразования и в лингвистических оценках динамики ряда на основе моделей нечетких тенденций;

3) соответствует значениям показателей точности моделирования временных рядов, установленных в требованиях технического задания.

Полученные результаты в форме Internet-сервиса экспресс-анализа предприятия по временным рядам экономических показателей доступны любым предприятиям без ограничений (<http://tsas.ulstu.ru>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новак В. Интегральный метод принятия решений и анализа нечетких временных рядов / В. Новак, И. Г. Перфильева, Н. Г. Ярушкина [и др.] // Программные продукты и системы. — 2008. — № 4. — С. 65–68.

2. Ярушкина Н. Г. Интегральный метод нечеткого моделирования и анализа нечетких тенденций / Н. Г. Ярушкина, Т. В. Афанасьева, И. Г. Перфильева // Автоматизация процессов управления. — 2010. — № 2 (20). — С. 59–63.

3. Афанасьева Т. В. Решение задач интеллектуального анализа ВР в рамках структурно-лингвистического подхода / Т. В. Афанасьева // Автоматизация процессов управления. — 2010. — № 2 (20). — С. 54–58

4. Ярушкина Н. Г. Современный интеллектуальный анализ нечетких временных рядов / Н. Г. Ярушкина // Труды V-й Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления» (Коломна, 20-30 мая 2009 г.). В 2 т. Т. 1. — М. : Физматлит, 2009. — С. 19 – 30.

5. Zadeh Lotfi A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. / Lotfi A. Zadeh // Fuzzy Sets and Systems. — 1997. — Vol. 90. — pp. 111–127.