

На правах рукописи



**НГУЕН ВАН ДЫК**

**МОДЕЛИ ИМИТАЦИОННОЙ АППРОКСИМАЦИИ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иркутск – 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»

Научный руководитель: **Елохин Владислав Романович**,  
доктор технических наук, доцент, профессор  
кафедры «Экономической теории и финансов»,  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»

Официальные оппоненты: **Батурин Владимир Александрович**,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
главный научный сотрудник ФГБУН «Институт  
динамики систем и теории управления имени  
В.М. Матросова» Сибирского отделения  
Российской академии наук;

**Попов Сергей Петрович**,  
кандидат технических наук, ведущий научный  
сотрудник ФГБУН «Институт систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения  
Российской академии наук

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный  
университет»

Защита состоится 03 февраля 2016 г. в 15.00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.070.07 при Байкальском государственном  
университете экономики и права по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса,  
д. 24, зал заседаний ученого совета БГУЭП.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Байкальского  
государственного университета экономики и права по адресу: 664003,  
г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУЭП, корпус 2, аудитория 101, ([www.isea.ru](http://www.isea.ru)).

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 664003, г. Иркутск,  
ул. Ленина, 11, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан «\_\_» декабря 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Проблемы современной экономики иллюстрируют потребность и необходимость прогнозирования её развития. Одним из важнейших направлений совершенствования систем управления в экономике является использование математических методов. Математические методы способствуют более полному учету влияния различных факторов на результаты экономической деятельности, повышению точности прогнозирования, ускоряют проведение экономического анализа и позволяют проводить вычислительные эксперименты с моделями экономических систем, не прибегая к экспериментам на реальных объектах. Такие преимущества находят выражение в увеличении количества экономических исследований, в которых используются математические модели, опирающихся на статистические данные. В частности, такими статистиками могут выступать накопленные решения систем моделей народнохозяйственного прогнозирования, описывающие множества возможных сочетаний условий функционирования экономических объектов, и их соответствующих реакций-откликов.

Моделирование экономических систем статистическими методами позволяет изучать целостные макроэкономические системы на национальном и региональном уровнях, а также взаимодействие таких систем, в том числе на одном иерархическом уровне.

В основе диссертации лежит статистический метод имитационной аппроксимации (СМИА), представляющий комплекс специальных математико-статистических методов. Согласно классификации моделирования экономических систем, они могут быть как многооткликовые, так и однооткликовые. Однооткликковая ситуация описана в достаточно большом количестве литературы, в том числе в работах следующих авторов: Н. Дрейпер, Г. Смит, В.Ю. Бурмин, Е.В. Маркова, Дж. Джонстон и др.

Многооткликность – случай одновременного измерения нескольких выходных величин. В многооткликковом моделировании имеется значительное разнообразие возможных типов моделей, которые могут быть использованы для описания поведения объекта исследования. Однако методы и алгоритмы многооткликкового моделирования не достаточно исследованы. Видный вклад в исследование многооткликковых статистических моделей внесли В.В. Фёдоров, В.Р. Елохин, Б. Г. Санеев и др.

Применение статистического метода имитационной аппроксимации особенно важно на стадии прогнозирования сложных экономических систем, поскольку позволяет изучить влияние нескольких ключевых переменных (факторов) на поведение моделируемой системы.

Среди основных этапов построения математической модели по анализу статистических данных можно выделить оценивание неизвестных коэффициентов, планирование эксперимента и выбор структуры модели.

В дополнение к развитию методологии многооткликкового статистического метода имитационной аппроксимации, необходимо наличие инструментария, который позволит практически применять разрабатываемый аппарат

моделирования экономических систем. Таким общепризнанным инструментарием в настоящее время выступают специальным образом разрабатываемые модели и проблемно-ориентированные программные комплексы, позволяющие разрабатывать, создавать такие модели, проводить вычислительные эксперименты и анализировать их результаты.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью разработки методов, математических моделей имитационной аппроксимации экономических систем в случае одновременного измерения нескольких выходных величин.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является разработка метода и моделей имитационной аппроксимации экономических систем, и создания инструментария для практического применения таких методов и моделей. Данная цель достигается путем решения следующих задач:

- 1) разработка схемы реализации статистического метода имитационной аппроксимации для экономических систем;
- 2) разработка математического метода для построения многооткликowej математической модели;
- 3) разработка критериев проверки адекватности многооткликowej математической модели;
- 4) разработка программно-алгоритмического обеспечения статистического метода имитационной аппроксимации;
- 5) апробация статистического метода имитационной аппроксимации экономических систем на примере экономической системы Вьетнама.

**Научная новизна** заключается в следующем:

- 1) разработана модификация статистического метода имитационной аппроксимации экономических систем, основанного на использовании многооткликowej модели;
- 2) разработана модификация метода наименьших квадратов для определения коэффициентов многооткликowej математической модели имитационной аппроксимации экономических систем по результатам статистической отчетности;
- 3) предложены три критерия проверки адекватности многооткликowej математической модели имитационной аппроксимации экономической системы, основанные на методах ошибки аппроксимации, коэффициента детерминации и анализа стабильности коэффициентов;
- 4) разработан оригинальный программный комплекс для многооткликowej моделирования экономической системы. Программный комплекс создан в среде MATLAB;
- 5) предложена методика использования статистического метода имитационной аппроксимации при прогнозировании развития экономической системы, а также для согласования одноуровневых отраслевых систем.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в следующем:

- 1) предложена многооткликowej математическая модель имитационной аппроксимации реальной экономической системы;

2) создан программный комплекс, позволяющий выполнять проведение вычислительных экспериментов на основе статистического метода имитационной аппроксимации экономических систем.

Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «Математические модели в экономике» и «Эконометрика». Получен акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс ФГБОУ ВО «ИРНИТУ».

**Объектом исследования** является многооткликовая модель имитационной аппроксимации экономической системы.

**Предметом исследования** являются методы построения многооткликовых моделей имитационной аппроксимации экономических систем, численный метод их исследования и инструментальные средства поддержки моделирования.

**Методы исследования.** При выполнении исследования использовались методы математического и имитационного моделирования, теории вероятностей, математической статистики и системного анализа. Для реализации программного комплекса использована среда разработки MATLAB.

**Тематика работы** соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18: п. 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений», п. 2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей», п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования были представлены на следующих конференциях: VII Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» (г. Томск, 2014 г.); на конференции «Ляпуновские чтения» ИДСТУ СО РАН (2014 г.); на Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Винеровские чтения» Иркутского национального исследовательского технического университета (2015 г.); на XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (2015 г.). Результаты диссертационного исследования неоднократно излагались на научных семинарах кафедры «Экономической теории и финансов» Иркутского национального исследовательского технического университета (рук. к.э.н., доцент Г.Е Дыкусов).

**Сведения о публикациях.** Результаты диссертационного исследования опубликованы в 13 научных работах, из них 5 статей в следующих изданиях, входящих в перечень ВАК: «Вестник ИрГТУ», «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование», электронный научный журнал «Известия ИГЭА». Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617485 (2014 г.) и № 2015616208 (2015 г.).

**Личный вклад.** Все выносимые на защиту результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 105 наименований и приложений. Объем работы составляет 134 страниц, 25 рисунка и 16 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована его цель и перечислены задачи, раскрыта научная новизна и практическая значимость полученных результатов, изложены основные научные положения, выносимые на защиту, приведены структура и краткий обзор содержания работы.

**В первой главе** рассматриваются общие понятия и определения, используемые в теоретических исследованиях экономических систем. В главе даны обзор системных исследований в экономике, приведены особенности имитационного моделирования экономических систем. Обсуждены принципы разработки имитационных систем, их преимущества и недостатки, поставлены и сформулированы задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** описывается разработанная автором модификация статистического метода имитационной аппроксимации сложных экономических систем с большим количеством входов и несколькими выходами (откликами) (рисунок 1). Основными его этапами являются построение и проверка адекватности многооткликowych моделей имитационной аппроксимации экономических систем.

В главе рассматривается многооткликовая математическая модель имитационной аппроксимации экономической системы. Подробно изучены особенности статистических методов в многооткликовой ситуации. Предложен способ построения многооткликowych моделей имитационной аппроксимации.

### **Построение многооткликowych математических моделей имитационной аппроксимации экономических систем**

Рассматриваются некоторые частные, но важные в имитационных экспериментах варианты модели:

$$y_i = \eta(x, \Theta) + \varepsilon_i, (i = \overline{1, n}), \quad (1)$$

где  $x^T = \|x_1, \dots, x_q\|$  – независимые переменные (факторы);

$y^T = \|y_1, \dots, y_\ell\|$  – зависимые переменные (отклики);

$\Theta^T = \|\theta_1, \dots, \theta_m\|$  – неизвестные коэффициенты;

$\eta^T(x_i, \Theta) = \|\eta_1(x, \Theta), \dots, \eta_\ell(x, \Theta)\|$  – заданные функции;

$\varepsilon$  – матрица ошибок измерений откликов размерности  $n \times l$ , удовлетворяющая стандартным требованиям, в соответствии с которыми строки матрицы  $\varepsilon$  имеют нулевой вектор математического ожидания, а элементы различных строк матрицы  $\varepsilon$  некоррелированы (это влечет некоррелированность их различных измерений):

$E[\varepsilon_i] = 0, E[\varepsilon_i \varepsilon_i^T] = d(x_i), E[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0, i \neq j, |d(x_i)| \neq 0, i = \overline{1, n}$  – количество наблюдений,  $j = \overline{1, \ell}$  – количество откликов.



Рисунок 1 – Блок-схема статистического метода имитационной аппроксимации

Пусть

$$\eta(x, \Theta) = F^T(x)\Theta,$$

$$\text{где } F(x) = \|f_1(x), \dots, f_\ell(x)\| = \begin{vmatrix} f_{11}(x) & \dots & f_{1\ell}(x) \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{m1}(x) & \dots & f_{m\ell}(x) \end{vmatrix}.$$

Здесь  $f_{\alpha j} = (x)$  – непрерывные функции,  $x \in X$ , область  $X$  – компактная.

Чтобы оценки  $\theta$  имели практическую ценность, они должны обладать, по возможности, такими свойствами, как состоятельность, несмещенность, эффективность.

При линейной параметризации наилучшие линейные несмещенные оценки (НЛНО) имеют вид:

$$\hat{\Theta} = M^{-1}Y, \quad (2)$$

$$\text{где } M = \sum_{i=1}^n F(x_i)\omega_i F^T(x_i), \quad Y = \sum_{i=1}^n F(x_i)\omega_i y_i, \quad \omega_i = d^{-1}(x_i).$$

$$\text{или подробнее } M = \|M_{jk}\|, \quad j, k = \overline{1, \ell}, \quad Y^T = \|Y_1, \dots, Y_\ell\|, \quad \text{где}$$

$$M_{jk} = \sum_{i=1}^n \omega_{jki} f_j(x_i) f_k^T(x_i); \quad Y_j = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l \omega_{jki} y_{ki} f_j(x_i).$$

Наилучшими линейными оценками функций  $\eta_j(x, \Theta)$ , ( $j = \overline{1, \ell}$ ) являются функции

$$\hat{\eta}_j(x) = \hat{\Theta}_j^T f_j(x).$$

Если матрица  $d(x_i)$  диагональна, то

$$\hat{\Theta}_j = M_{jj}^{-1} Y_j, \quad j = \overline{1, \ell} \quad (3)$$

$$\text{где } M_{jj} = \sum_{i=1}^n \omega_{jji} f_j(x_i) f_j^T(x_i); \quad Y_j = \sum_{i=1}^n \omega_{jji} y_{ji} f_j(x_i).$$

Если функции  $f_j(x)$ , ( $j = \overline{1, \ell}$ ) совпадают для всех откликов и  $d(x_i) \equiv d$ , то НЛНО имеют вид:

$$\hat{\Theta}_j = \mu^{-1} Y_j, \quad (4)$$

$$\text{где } \mu = \sum_{i=1}^n f(x_i) f^T(x_i); \quad Y_j = \sum_{i=1}^n y_{ji} f(x_i).$$

**Проверка адекватности многооткликной математической модели имитационной аппроксимации экономической системы**

После того, как найдены оценки параметров аппроксимирующих моделей, проверяется адекватность каждого конкретного уравнение. Для этой цели



используются  $t$ -,  $\chi^2$ -,  $F$ -критерии и т.д., предполагающими, прежде всего, однооткликтовую ситуацию.

Для проверки адекватности многооткликтовых моделей автором предлагается использовать три критерия.

Первый из них является аналогом ошибки аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{sum} |y_i - \hat{y}_i|}{\text{sum}(y_i)} \cdot 100\% . \quad (5)$$

Если  $\bar{A}$  меньше 5%, то модель имеет высокую точность.

Аналог коэффициента детерминации вида используется для оценки качества модели:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum \text{tr} E_i^T \omega_i E_i}{\sum \text{tr} (E_i^0)^T \omega_i E_i^0} , \quad (6)$$

где  $\text{tr}$  – след матрицы;  $E_i = \hat{y}_i - y_i$ ;  $E_i^0 = \hat{y}_i - \bar{y}$ .

Чем ближе коэффициент детерминации к единице, тем лучше качество модели.

Предлагаемый автором третий критерий основан на анализе стабильности коэффициентов моделей.

При изучении стабильности параметров многооткликтовой математической модели будем различать два вида массивов данных:

- данные, собранные за длительное время;
- данные, собранные в течение короткого отрезка времени.

В первом случае возможно проверить устойчивость коэффициентов, строя модели для более коротких отрезков времени и сравнивая их оценки. Если оцениваемые коэффициенты моделей проявят тенденция к нестабильности, то использование предсказывающей модели, построенной на полном множестве данных, будет неразумным.

Во втором случае необходимо разделить имеющийся массив данных на подмножества, а зачем использовать одну часть данных для построения предсказывающей модели, а оставшуюся часть – для верификации этой модели. Таким образом, можно оценить качество предсказания модели.

**В третьей главе** представлено описание программного комплекса для многооткликтового моделирования экономических систем. Проблемно-ориентированный комплекс программ содержит четыре основных блока: выбор структуры модели, построение математической модели, проверка адекватности и прогнозирование. На рисунке 2 показана его технологическая структура.

Программный комплекс реализован в среде MATLAB и содержит в себе следующие модули:

- модуль ввода, просмотра и редактора данных наблюдения (значение факторов, откликов) и функций зависимости;
- модуль сохранения и загрузки всех данных эксперимента и расчета;
- модуль выбора структуры модели;

– модуль построения математической модели: производит расчет коэффициентов многооткликowych моделей с фактическими и с кодированными данными, строит график расчетных значений;

– модуль проверки адекватности модели: осуществляет расчет коэффициента детерминации, расчет ошибки аппроксимации, расчет значения критерия Фишера и т.д.;

– модуль прогнозирования: производит расчет прогнозных значений откликов при изменении значений факторов, расчет доверительного интервала прогноза, строит графики прогнозных значений откликов.

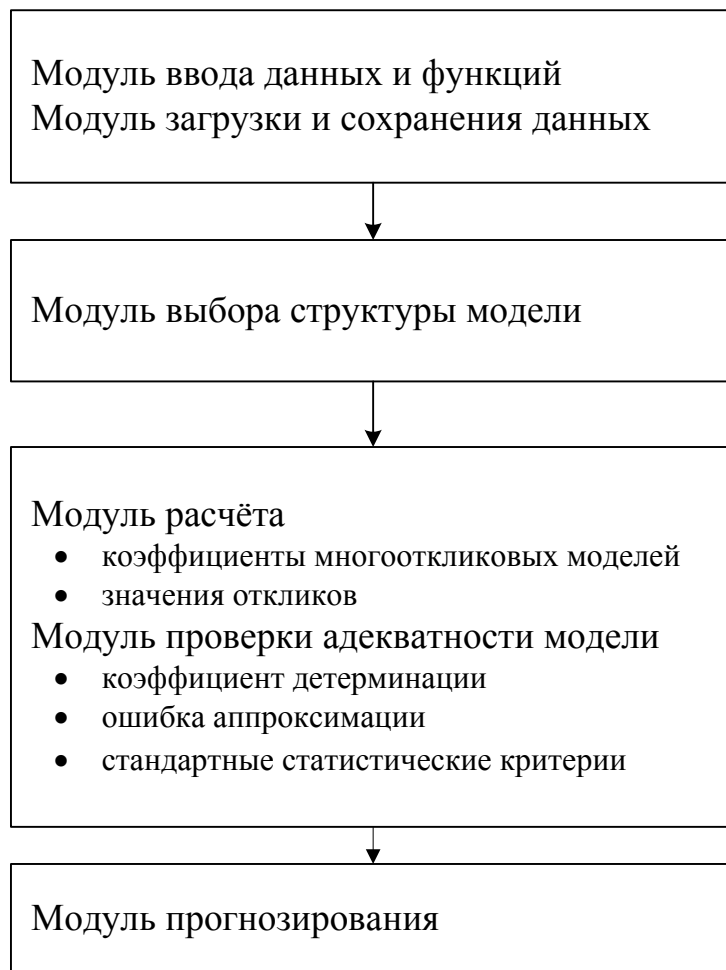


Рисунок 2 – Технологическая структура комплекса программ статистического метода имитационной аппроксимации

**В четвертой главе** даётся описание разработанной автором модели имитационной аппроксимации для решения задач анализа и прогнозирования развития социально-экономической системы Вьетнама. Предложенная модель была верифицирована на базе статистических данных факторов развития экономической системы Вьетнама за период с 1995 по 2014 гг.

В качестве откликов выбраны следующие показатели:  $Y_1$  – валовый внутренний продукт (ВВП миллиард донгов),  $Y_2$  – валовое накопление капитала (ВНК миллиард донгов).

В качестве факторов, влияющих на отклики, выбраны 11 следующих показателей:  $X_1$  – население,  $X_2$  – валовая продукция промышленности,  $X_3$  – количество работающих,  $X_4$  – количество безработных,  $X_5$  – уровень инфляции,  $X_6$  – количество выпускников вузов,  $X_7$  – количество вузов,  $X_8$  – государственные инвестиции,  $X_9$  – частные инвестиции,  $X_{10}$  – иностранные инвестиции,  $X_{11}$  – индекс потребительских цен (ИПЦ).

За основу исследований взята модель

$$\begin{cases} Y_1 = \theta_{11}f_{11}(X) + \theta_{12}f_{12}(X) + \dots + \theta_{1m_1}f_{1m_1}(X) \\ Y_2 = \theta_{21}f_{21}(X) + \theta_{22}f_{22}(X) + \dots + \theta_{2m_2}f_{2m_2}(X) \end{cases} \quad (7)$$

При использовании метода Байесовского усреднения моделей получено субоптимальное множество моделей имитационной аппроксимации. На рисунке 3 показаны структуры моделей для каждого отклика.

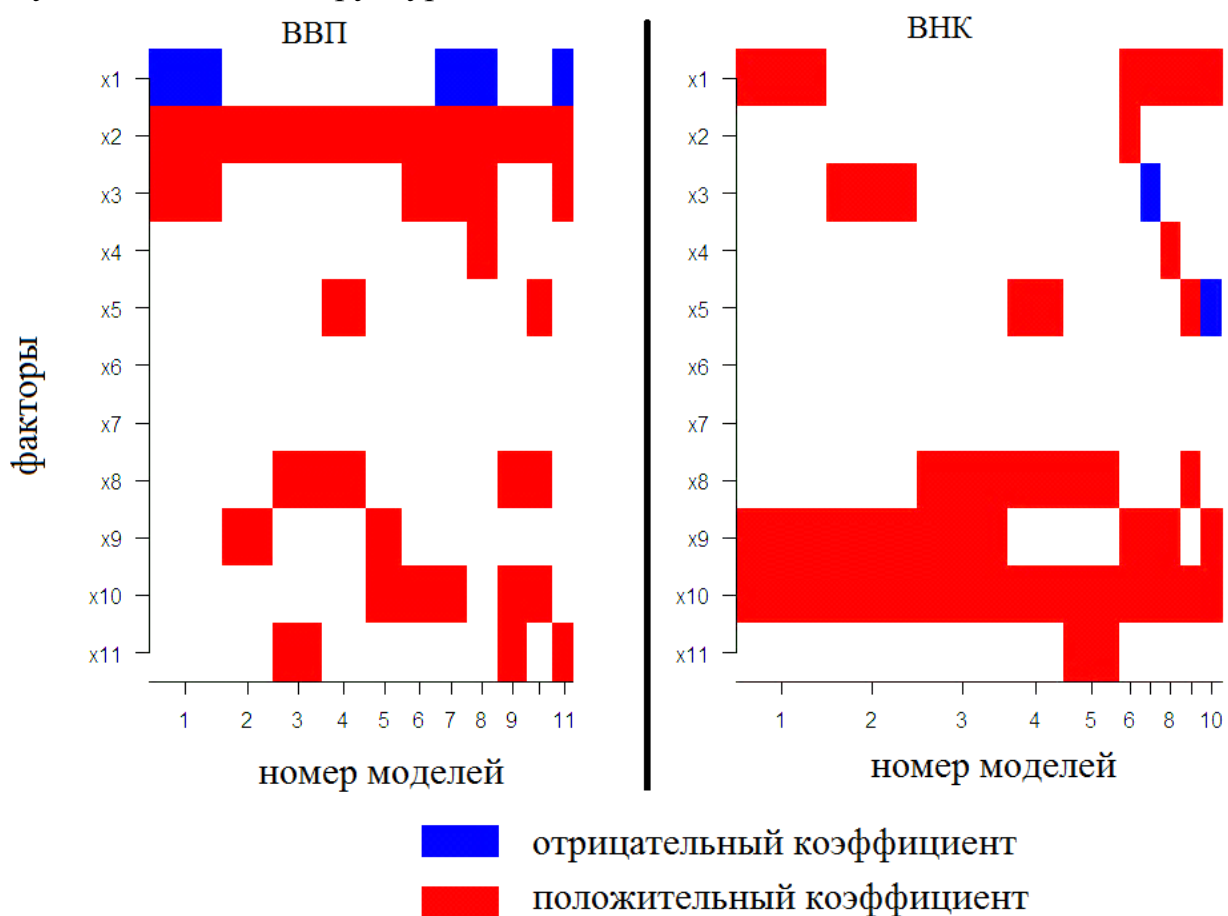


Рисунок 3. Структуры моделей для каждого отклика

После проверки адекватности моделей выбрана оптимальная структура модели имитационной аппроксимации экономической системы Вьетнама:

$$f_{11}(X) = 1, f_{12}(X) = X_2, f_{13}(X) = X_9;$$

$$f_{21}(X) = 1, f_{22}(X) = X_1, f_{23}(X) = X_9, f_{24}(X) = X_{10}.$$

На основе представленных в главе 2 методов и при помощи проблемно-ориентированного программного комплекса, описанного в главе 3 получены оценки коэффициентов многооткликовых математических моделей.

Модель с фактическими данными факторов

$$\begin{cases} Y_1 = 156024 + 0.4446X_2 + 2.4662X_9 \\ Y_2 = -501073 + 7.1012X_1 + 1.2272X_9 + 1.2352X_{10} \end{cases} \quad (8)$$

Значения, рассчитанные с помощью уравнений регрессии для фактических значений факторов, можно назвать расчетными. На рисунке 4 представлен график расчетных значений откликов. Пунктирные линии соответствуют коридорам ошибок.

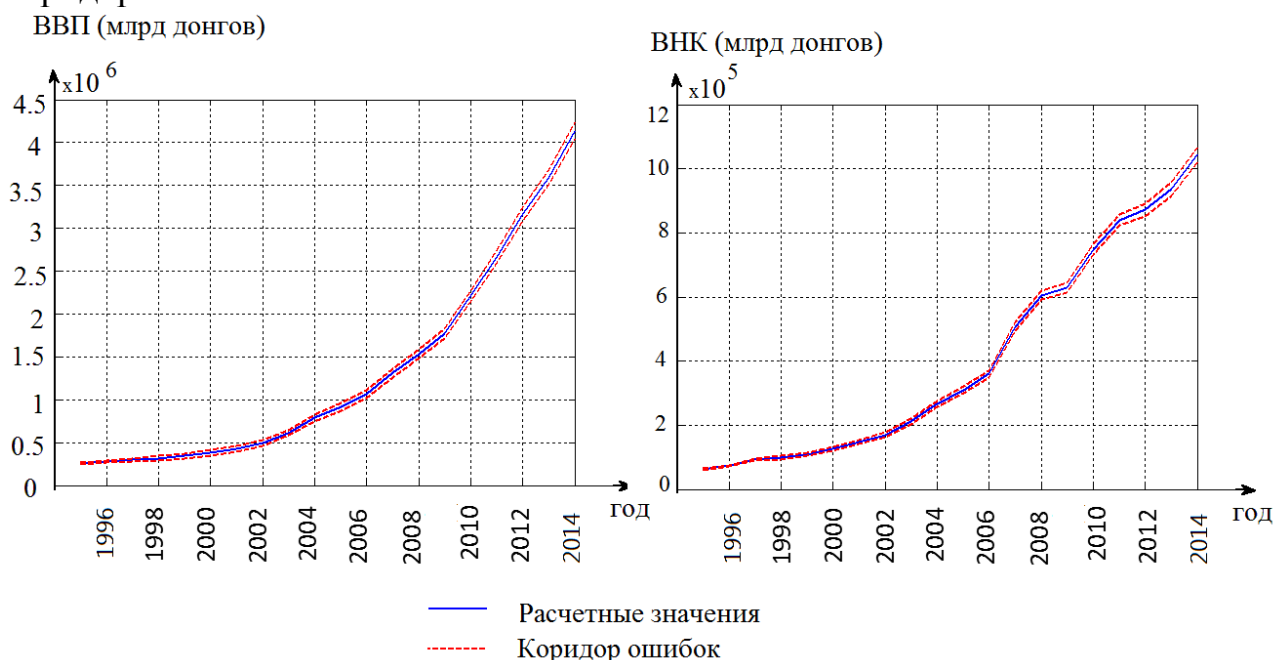


Рисунок 4 – Расчетные значения ВВП и ВНК

Модель с кодированными данными факторов

$$\begin{cases} Y_1 = 2201062 + 1392616 X_2^{(k)} + 553046 X_9^{(k)} \\ Y_2 = -553938 + 66514 X_1^{(k)} + 275201 X_9^{(k)} + 150324 X_{10}^{(k)} \end{cases} \quad (9)$$

С помощью данной модели можно устанавливаться, в какой мере каждый из факторов влияет на отклики. Чем больше оценка коэффициентов, тем сильнее влияет фактор. На рисунке 5 показано влияние факторов на отклики. Значение откликов прямо пропорционально значению факторов, выраженных соответствующими коэффициентами системы уравнений регрессии.

Прогнозные значение откликов многооткликовой модели Вьетнама – валового внутреннего продукта и валового накопления капитала при заданных значениях факторов, а также их доверительные интервалы, представлены на рисунке 6.

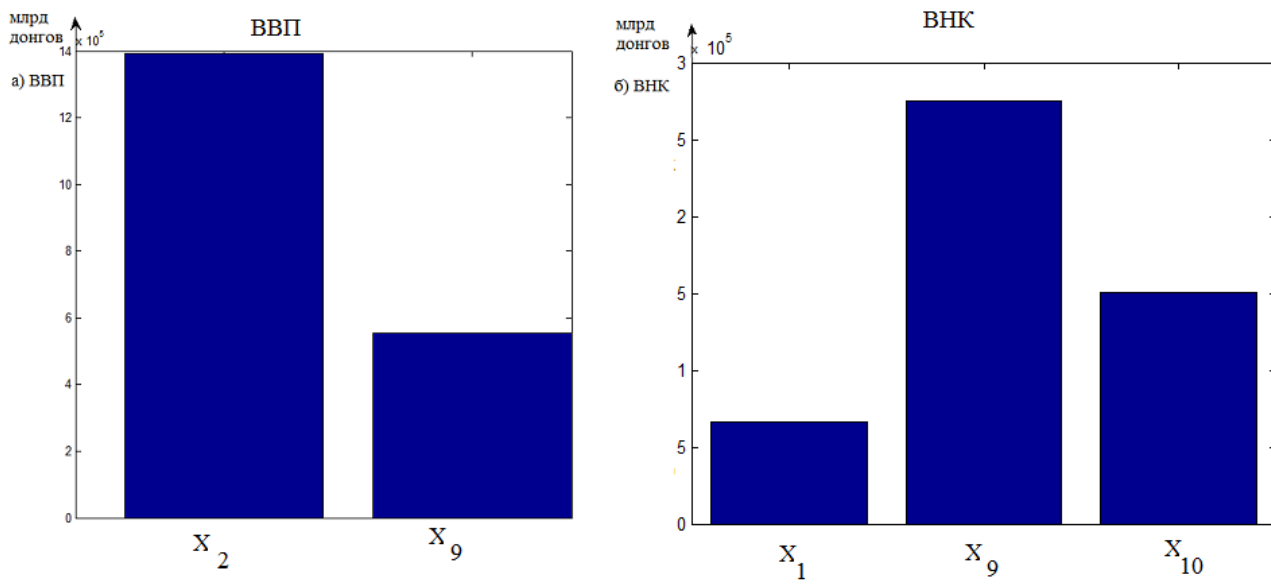


Рисунок 5 – Влияние факторов на отклики

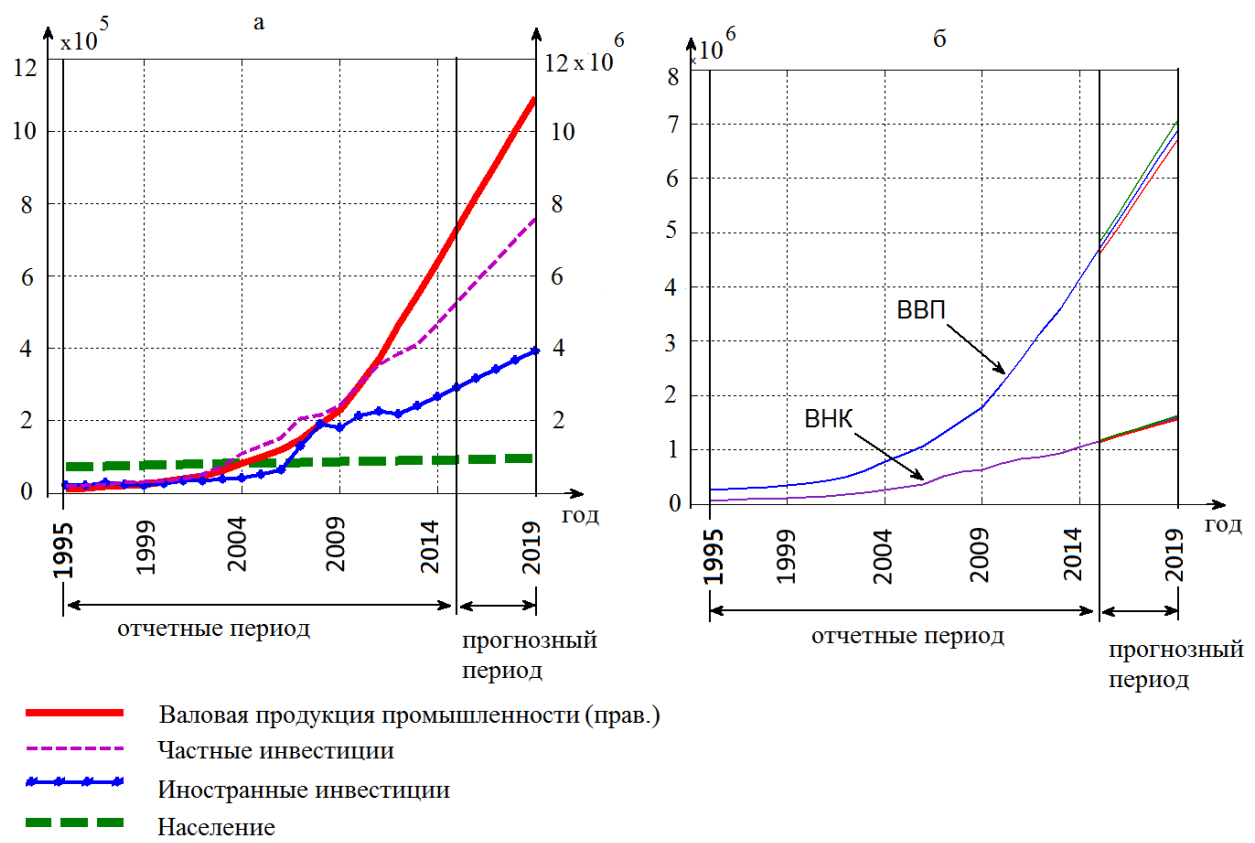


Рисунок 6 – Иллюстрация прогнозирования  
 а) факторы б) отклики

Модифицированный автором статистический метод имитационной аппроксимации и разработанный им проблемно-ориентированный программный комплекс были использованы для согласования моделей одноуровневых отраслевых систем.

Схема взаимодействия экономических систем на одном иерархическом уровне предполагает наличие моделей (планов развития)  $S$  отраслевых систем обменивающихся информацией (обменными показателями).

Каждая система имеет две совокупности векторов:

а) совокупность входных обменных показателей:

$$\{U_S\}_{N_S} := \{U_S^{n_S} / U_S^{n_S} = (u_{s1}^{n_S}, \dots, u_{sP_S}^{n_S}), \quad n_S = 1, \dots, N_S\}; \quad (10)$$

б) совокупность выходных обменных показателей:

$$\{V_S\}_{N_S} := \{V_S^{n_S} / V_S^{n_S} = (v_{s1}^{n_S}, \dots, v_{sL_S}^{n_S}), \quad n_S = 1, \dots, N_S\}, \quad (11)$$

где  $P_s, L_s$  – количество соответственно входных и выходных обменных показателей системы  $s$ .

В основу здесь положена линейная зависимость между входными и выходными показателями вида

$$v_{sl} = \sum_{k=0}^{P_s} \theta_{lk}^s u_{sk}, \quad s = \overline{1, S}, \quad l = \overline{1, L_S}. \quad (12)$$

Предлагаемый подход позволяет, с использованием статистической зависимости, найти согласованное решение в условиях неполноты исходной информации.

В диссертации был использован алгоритм согласования моделей одноуровневых отраслевых систем для определения согласованного решения функционирования двух отраслей Вьетнама – «сельское хозяйство» и «транспортные и почтовые услуги».

В качестве обменных показателей были выбраны:

$v_1$  – количество сельскохозяйственных предприятий (штука),

$v_2$  – валовая продукция сельского хозяйства (млрд донгов),

$u_1$  – объем грузовых перевозок (тыс. тонн),

$u_2$  – оборот транспортных и почтовых услуг (млрд донгов).

Путем использования метода определения коэффициентов многооткликовых математических моделей были получены две модели имитационной аппроксимации. В результате решения систем линейных уравнений удалось найти «точки равновесия» входных и выходных показателей моделей

$$(v_1, v_2, u_1, u_2) = (1.02 \cdot 10^5, 2.69 \cdot 10^5, 4.99 \cdot 10^5, 3.7 \cdot 10^4) \quad (13)$$

Продемонстрированный опыт использования метода и программного комплекса могут иметь практическое применение в системе управления народным хозяйством Вьетнама.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Основные результаты выполненного исследования состоят в следующем:

1) разработана схема реализации статистического метода имитационной аппроксимации, этапы которого, в отличие от известных подходов, рассмотрены с учетом многооткликовости;

- 2) предложена многооткликовая математическая модель имитационной аппроксимации реальной экономической системы;
- 3) разработан метод определения коэффициентов многооткликовой математической модели имитационной аппроксимации экономической системы по результатам статистической отчетности;
- 4) предложены критерия проверки адекватности многооткликовой математической модели имитационной аппроксимации экономической системы;
- 5) разработан оригинальный программный комплекс для многооткликового моделирования экономической системы. Программный комплекс создан в среде MATLAB;
- 6) предложенные методы использованы при прогнозировании развития экономической системы и для согласования моделей одноуровневых отраслевых систем.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Нгуен Ван Дык. Методы построения систем многооткликовых аппроксимирующих моделей / Г.Е. Дыкусов, В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Вестник ИрГТУ. – 2014. – №6 (89). – С. 208–210.
  2. Нгуен Ван Дык. Многооткликовая математическая модель экономических систем / Г.Е. Дыкусов, В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Вестник ИрГТУ. – 2014. – №8 (91). – С.170–174.
  3. Нгуен Ван Дык. Имитационное моделирование экономических процессов во Вьетнаме / Г.Е. Дыкусов, В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – №3. – С. 171–176.
  4. Нгуен Ван Дык. Многооткликовое моделирование при прогнозировании экономических систем / Нгуен Ван Дык // Известия ИГЭА [Электронный ресурс]. – 2015. – Т.6. – №1. – URL: [izvestia.isea.ru](http://izvestia.isea.ru).
  5. Нгуен Ван Дык. Математическая модель и программная система для прогнозирования макроэкономических показателей во Вьетнаме / Г.Е. Дыкусов, В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Вестник ИрГТУ. – 2015. – №3 (98). – С. 12–17.
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ**
6. Нгуен Ван Дык. Программа для построения системы многооткликовых аппроксимирующих моделей / Г.Е. Дыкусов, В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014617485 от 23 июля 2014 г. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2014.
  7. Нгуен Ван Дык. Программа для многооткликового моделирования и прогнозирования экономических систем / Г.Е. Дыкусов, В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616208 от 03 июля 2015 г. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2015.

### **В других изданиях**

8. Нгуен Ван Дык. Об одной математической модели экономической системы во Вьетнаме / Нгуен Ван Дык // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов Российских вузов: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. (Томск, 24 – 27 апреля 2014 г.). – Томск: ТПУ, 2014. – Т.3 – С. 446–452.

9. Нгуен Ван Дык. О методе определения математической модели экономических процессов во Вьетнаме / Нгуен Ван Дык // Винеровские чтения : мат-лы Всерос. молодежной науч.-практ. конф. (Иркутск, 3-5 апреля 2014 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – С.29

10. Нгуен Ван Дык. Оценка параметров многооткликовых аппроксимирующих моделей / В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Тезисы на Ляпуновские чтения: (Иркутск, 1–3 декабря 2014 г.). ИДСТУ СО РАН, 2014. – С. 29.

11. Нгуен Ван Дык. Прогнозирование развития экономических процессов во Вьетнаме / В.Р. Елохин, Нгуен Ван Дык // Финансовая система РФ проблемы и тенденции развития в период глобализации и интеграции мирового сообщества: мат-лы IV регион. науч.-практ. конф. (Иркутск, 17 декабря 2014 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – С.175–178.

12. Нгуен Ван Дык. Построение многооткликовых моделей экономических систем / Нгуен Ван Дык // Винеровские чтения : мат-лы Всерос. молодежной науч.-практ. конф. (Иркутск, 16-17 апреля 2015 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – С. 50

13. Нгуен Ван Дык. Моделирование экономических систем в случае одновременного измерения нескольких выходных величин / Нгуен Ван Дык, В.Р. Елохин // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XX Байкальской Всерос. конф. (Иркутск, 30 июня – 07 июля 2015 г.). – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – Т. 1. – С. 57–64.

Подписано в печать 17.11.2015. Формат 60 x 90 / 16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,25.  
Тираж 100 экз. Зак. 262. Поз. плана 9н.

Отпечатано в типографии Издательства  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83