

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра автоматизированных систем управления

ТЕОРИЯ СИСТЕМ и СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебно -методическое пособие по лабораторным работам, курсовому проектированию и самостоятельной работе для студентов направления подготовки
09.03.01- «Информатика и вычислительная техника»

Автор и составитель: Сергеев В.Л. Теория систем и системный анализ: Учебно - методическое пособие по лабораторным работам, курсовому проектированию и самостоятельной работе для студентов направления подготовки 09.03.01- «Информатика и вычислительная техника»

Томск , 2018. - 28 с.

Настоящее учебно - методическое пособие по выполнению лабораторных работ, курсовому проектированию и самостоятельной работе составлено с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 09.03.01- «Информатика и вычислительная техника» по профилю Программное обеспечение средств вычислительной техники и автоматизированных систем «Бакалавриат». Учебно - методическое пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Теория систем и системный анализ» и содержит необходимую информацию для самостоятельного выполнения и оформления лабораторных работ и курсовых проектов.

Содержание

Стр.

1. Введение, цели и задачи лабораторных работ и курсового проектирования.....	4
2. Требования к содержанию, оформлению пояснительных записок и защите лабораторных работ и курсовых проектов.....	4
3. Лабораторная работа № 1.....	6
4. Лабораторная работа № 2.....	12
5. Цель задачи и варианты индивидуальных заданий курсового проектирования.....	19
6. Список рекомендуемой литературы.....	23
Приложение 1. Теоретические основы, модели и алгоритмы прогнозирования жизненного цикла инновационного товара	24
Приложение 2. Задание по курсовому проектированию.....	28

1. Введение, цели и задачи лабораторных работ и курсового проектирования

Лабораторные работы и курсовое проектирование предназначено для решения задач системного анализа и теории систем на примерах прогнозирования жизненного цикла инновационного товара (объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка) в условиях неопределенности факторов внешней и внутренней среды [1-3]. Теоретические основы, модели и алгоритмы прогнозирования жизненного цикла инновационного товара приведены в приложении 1.

Целью лабораторных работ является решение задач моделирования и параметрического синтеза (идентификации) моделей жизненного цикла инновационного товара, анализ точности соответствующих моделей и алгоритмов прогнозирования объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка.

Задачами лабораторных работ являются:

1. Имитационное моделирование жизненного цикла инновационного товара (объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка).
2. Решение задачи параметрического синтеза моделей объемов реализованной продукции, текущей емкости рынка.
3. Анализ точности оценок прогноза объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка.
4. Составление пояснительной записки.

Целью курсового проектирования является совершенствование моделей и алгоритмов прогнозирования жизненного цикла инновационного товара путем использования дополнительной априорной информации и экспертных оценок конечной емкости рынка. Использование экспертных оценок позволяет получить более точные оценки конечной емкости рынка и прогнозные значения объемов реализованной продукции, текущей емкости рынка при малом объеме исходных данных на первой начальной стадии инновационного процесса.

Задачами курсового проектирования являются:

1. Моделирование жизненного цикла инновационного товара (объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка) с учетом дополнительной априорной информации и экспертных оценок.
2. Решение многокритериальных задач параметрического синтеза интегрированных систем моделей объемов реализованной продукции, текущей емкости рынка.
3. Анализ точности оценок прогноза объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка при наличии ошибок задания экспертных оценок.

2. Требования к содержанию, оформлению пояснительных записок и защите лабораторных работ и курсовых проектов

Пояснительная записка к лабораторным работам и курсовому проекту должна содержать:

1. Введение.
2. Основная часть. Модели и алгоритмы имитационного моделирования, параметрического синтеза и прогноза жизненного цикла инновационного товара.
3. Результаты анализа точности алгоритмов прогноза на тестовых примерах.
4. Заключение.

Во введении отмечается актуальность проблемы адаптивной идентификации и прогноза производственных показателей фирмы (объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка) с учетом факторов внешней среды, цели и задачи лабораторной работы.

В основной части приводятся модели и алгоритмы идентификации и прогноза жизненного цикла товара в соответствии с вариантом задания.

Результаты тестовых примеров следует поместить в отдельный раздел, где привести соответствующие таблицы и графики.

В заключении отмечаются основные результаты работы с указанием проблемных моментов и предложений по развитию моделей и алгоритмов для повышения точности прогноза жизненного цикла инновационного товара.

Пояснительная записка по лабораторным работам предоставляется в электронной форме. Защита лабораторных работ проводится в форме собеседования.

Пояснительная записка по курсовому проекту должна включать в указанной ниже последовательности следующие документы:

- 1) титульный лист;
- 2) реферат;
- 3) задание;
- 4) содержание;
- 5) введение
- б) основную часть;
- 7) заключение;
- 8) список использованных источников;
- 9) приложения.

Титульный лист курсового проекта должен содержать следующие указания:

- 1) название министерства;
- 2) название учебного заведения;
- 3) название факультета;
- 4) название кафедры;
- 5) название курсовой работы;
- б) название дисциплины;
- 7) фамилию, имя и отчество студента, выполнившего работу, указание курса, группы;
- 8) фамилию, инициалы, ученую степень и ученое звание научного руководителя;
- 9) штамп о защите курсовой работы с указанием числа защиты и оценки, на которую работа защищена;
- 10) фамилию, инициалы заведующего кафедрой.

Пример оформления задания по курсовому проекту приведен в приложении 2.

Требования к написанию и оформлению пояснительной записки курсового проекта изложены в [8,9] и образовательном стандарте ОС ТАСУР 6.1 - 97.

Курсовой проект должна быть сдан на кафедру для рецензирования и защиты в сроки, установленные графиком учебного процесса университета.

Курсовые проекты подлежат обязательному рецензированию. В рецензии должны быть отмечены:

- а) степень раскрытия студентом темы работы;
- б) отличительные особенности работы, положительно ее характеризующие (нестандартный подход к анализу проблемы, изучение большого количества источников, анализ судебной практики и т.д.);
- в) недостатки работы (использование устаревшего или недостаточного круга источников, наличие ошибок или неточностей и т.д.);
- г) рекомендации по устранению ошибок в процессе защиты курсовой работы или при написании новой (в случае получения неудовлетворительной оценки). Курсовая работа вместе с рецензией выдается студенту для подготовки к защите.

Защита курсового проекта состоит в кратком докладе (8-10 минут) студента по выполненному проекту и ответах на поставленные вопросы. В докладе студент должен отразить основные выводы, сделанные в работе. В процессе защиты студент должен дать объяснения по существу представленной им работы и ответить на все замечания, отмеченные в рецензии, и вопросы.

По всем курсовым работам, включенным в учебный план, должна выставляться итоговая оценка (отлично, хорошо, удовлетворительно или неудовлетворительно). Оценка за курсовую работу может быть поставлена по результатам выступления студента с докладом по теме курсовой работы на ежегодной научной студенческой конференции университета.

Проверка и оценка курсовых работ позволяет осуществлять контроль за процессом обучения студентов. Студенты, не представившие в установленный срок курсовые работы, или не защитившие их по неуважительным причинам, считаются имеющими академическую задолженность. Выполненные курсовые работы после их защиты сдаются на кафедру, где хранятся 2 года. После этого все курсовые работы списываются по акту. Студент может обратиться на кафедру для получения своей курсовой работы, если она необходима ему для написания дипломной работы (проекта).

3. Лабораторная работа № 1

Целью лабораторной работы является прогнозирование объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка инновационного товара с решением задачи параметрического синтеза.

Задачи лабораторной работы:

1. Имитационное моделирование объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка.
2. Решение задачи параметрического синтеза моделей объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка.
3. Анализ точности оценок прогноза объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка.
4. Составление пояснительной записки.

3.1. Имитационное моделирование объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка.

Для пояснения метода имитационного статистического моделирования представим модель объемов реализованной продукции в виде:

$$y_i^* = f(t_i, \mathbf{a}_u)(1 + c \xi_i), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $\mathbf{a}_u = (\alpha_{1u}, \alpha_{2u}, \dots, \alpha_{mu})$ - вектор заданных (истинных) значений параметров модели жизненного цикла товара;

$y_i^* = f(t_i, \mathbf{a}_u), i = \overline{1, n}$ - имитируемые значения объемов реализованной продукции за время работы фирмы $\Delta t = (t_i - t_{i-1}), i = \overline{1, n}$ (для простоты принимаем $t_i = i, i = \overline{1, n}$).

ξ_i - случайные величины, полученные с использованием датчика псевдослучайных чисел, распределенных по нормальному закону с нулевыми средними значениями и единичной дисперсией – $N(0, 1)$;

c - константа, представляющая относительный уровень случайных неконтролируемых факторов внешней и внутренней среды ξ_i .

Конечная емкость рынка за T лет работы фирмы определяется по формуле

$$S(T) = \int_0^T f(t, \mathbf{a}_u) dt \cong \sum_{i=1}^n f(t_i, \mathbf{a}_u) \quad (2)$$

где T - экспертная оценка времени «жизни» товара (его рентабельного производства);

3.2. Параметрический синтез модели объемов реализованной продукции. Прогнозирование объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка

Параметрический синтез (идентификация) модели объемов реализованной продукции $f(t, \mathbf{a})$ определяется путем решения оптимизационной задачи [1,4,5]:

$$\mathbf{a}_n^* = \arg \min_{\mathbf{a}_n} (J(\mathbf{a}_n)); \quad (3)$$

где $\mathbf{a}_n^* = (\alpha_1^*, \alpha_2^*, \dots, \alpha_m^*)$ - оценки параметров, полученные с использованием имитируемых либо фактических значений объемов реализованной фирмой продукции $y^*(t_i) = y_i^*, i = \overline{1, n}$ за n лет работы фирмы. $J(\mathbf{a}_n)$ - показатель качества модели

$$J(\mathbf{a}_n) = \sum_{i=1}^n (y_i^* - f(t_i, \mathbf{a}_n))^2 \quad (4)$$

Оценки параметров \mathbf{a}_n^* (3) используются для прогнозирования объемов реализованной продукции

$$\hat{y}_{t+\tau} = f(t_n + \tau, \mathbf{a}_n^*), \quad (5)$$

и определения конечной емкости рынка

$$S_n^*(T) = \int_0^T f(t, \mathbf{a}_n^*) dt \cong \sum_{i=1}^n f(t_i, \mathbf{a}_n^*), \quad (6)$$

где $\tau = \Delta t \cdot m$ - прогнозный интервал, где Δt - отчетный период (месяц, год), $m = 1, 2, 3, \dots$). Для упрощения часто выбирают $\Delta t = 1$.

Важным практическим результатом на стадии роста жизненного цикла является прогноз времени t_m максимального объема реализованной продукции $y_{\max}^*(t_m) = f(t_m, \mathbf{a}_n^*)$

$$t_m = \max_{t \in R} f(t, \mathbf{a}_n^*) \quad (7)$$

и прогноз спада объема продаж на время τ .

$$y_{\max}^*(t_m + \tau) = f(t_m + \tau, \mathbf{a}_n^*). \quad (8)$$

Процедура решения оптимизационной задачи (3) по определению параметров модели объемов реализованной продукции должна быть выполнена в двух вариантах:

1. Режим «ручного» подбора параметров.
2. Режим автоматического подбора параметров.

1. Режим «ручного» подбора параметров

Режим «ручного» подбора параметров заключается в совмещении графика фактических значений объемов реализованной продукции $y^*(t_i), i = \overline{1, n}$ с графиком значений объемов реализованной продукции, полученных на основе модели $y(t_i) = f(t_i, \mathbf{a}), i = \overline{1, n}$ путем подбора параметров $\mathbf{a}^0 = (\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_m^0)$. Подобранные параметры \mathbf{a}^0 могут использоваться в качестве начальных приближений при решении оптимизационных задач параметрического синтеза в режиме автоматического подбора параметров. Критерием точности модели объемов реализованной продукции при начальных значениях параметров (например, за первые три года работы фирмы) является показатель качества $J(\mathbf{a}_n^0)$ при $n=3$ (4). Показатель качества $J(\mathbf{a}_n^0)$ для подобранных начальных значений параметров \mathbf{a}_n^0 должен принимать минимальное значение

$$J(\mathbf{a}_n^0) = \min_{\mathbf{a}_n} (J(\mathbf{a}_n)).$$

2. Режим автоматического подбора параметров

Данным режимом предусматривается решение задачи параметрического синтеза (идеен

тификации), а именно, расчет оптимальных оценок параметров \mathbf{a}_n^* (3) модели объемов реализованной продукции $f(t, \mathbf{a}_u)$ с использованием методов оптимизации функций [5,6] в зависимости от выбранного варианта:

1. Вариант № 1 предусматривает решение оптимизационной задачи (2) методом Гаусса- Ньютона [4].
2. Вариант № 2 предусматривает решение оптимизационной задачи (2) методами деформированного многогранника (метод Нелдера и Мида) [6].
3. Вариант № 3 предусматривает решение оптимизационной задачи (2) методом Левенберга (Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову) [4].

3.3. Анализ точности оценок

Для анализа точности оценок емкости рынка и прогноза объемов реализованной продукции (3),(4) используем их относительные ошибки:

$$\delta_n(S_n^*(T)) = \text{abs}((S_n^*(T) - S(T, \mathbf{a}_u)) / S(T, \mathbf{a}_u)), \quad (7)$$

$$\delta_n(\hat{y}_{t+\tau}) = \text{abs}((f((t_n + \tau), \mathbf{a}_n^*) - f((t + \tau), \mathbf{a}_u)) / f((t + \tau), \mathbf{a}_u)). \quad (8)$$

где $S(T, \mathbf{a}_u)$, $f(t + \tau, \mathbf{a}_u)$, $\tau = \overline{1, n\tau}$ -точные (заданные) значения конечной емкости рынка и объем реализованной продукции, $S_n^*(T)$ и $f((t_n + \tau), \mathbf{a}_n^*)$ прогнозные значения конечной емкости рынка и объем реализованной продукции. Результаты расчета помещаются в соответствующие таблицы, приведенные в задании по лабораторным работам.

4. Задания по лабораторной работе №1

Задание 1. Составить алгоритм и написать программу для получения фактических объемов реализованной продукции и конечной емкости методом имитационного моделирования (1), (2).

Исходные данные для решения задачи имитационного моделирования приведены в табл. 1. Результаты имитационного моделирования объемов реализованной продукции за 18 лет работы фирмы привести в табл. 2 и представить в графическом виде (см. рис. 1) за 30 лет работы фирмы. В табл. 2, для примера, приведены результаты имитационного моделирования объемов реализованной продукции за 18 лет работы фирмы с использованием показательно степенной модели (см. модель 1 пункт 3.5). Приведены также значения конечной емкости рынка за 30 лет работы фирмы.

Задание 2. Составить алгоритмы и написать программу параметрического синтеза объемов реализованной продукции в режиме ручного и автоматического подбора параметров с использованием выбранного метода оптимизации согласно варианту задания. Оценки конечной емкости рынка в зависимости от числа лет работы фирмы и прогнозные значения объемов реализованной продукции при оптимальных значениях параметров модели на период времени $\tau = 3$ привести в отчете по лабораторным работам.

Задание 3. Составить алгоритмы и написать программу анализа точности оценок конечной емкости рынка и прогноза реализованной продукции. Полученные значения относительных ошибок оценок конечной емкости рынка и объемов реализованной продукции представить в табличном виде табл. 4 при решении первого тестового примера и табл. 7 при решении второго тестового примера. Полученные начальные значения параметров $\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0$ при минимальном значении показателя качества $J(\mathbf{a}_n)$ при $n=3$ привести в табл. 3 и 6.

Задание 4. Составить пояснительную записку согласно требованиям, приведенным в пункте 2.

В качестве модели объемов реализованной продукции использовать функцию из банка моделей (см. пункт 3.5 – банка малопараметрических моделей объемов реализованной продукции).

Всего предлагается два тестовых примера.

В качестве исходных данных для первого тестового примера использовать результаты имитационного моделирования объемов реализованной продукции, приведенные в табл.1. Исходные данные второго контрольного тестового примера приведены в табл. 5. Результаты решения второго контрольного тестового примера привести в табл.6,7.

Задание 4. Составить пояснительную записку.

Номер варианта лабораторной работы состоит из двух цифр. Первая цифра до точки соответствует номеру модели продукции. Вторая цифра после точки соответствует методу решения оптимизационной задачи (1- метод Гаусса- Ньютона; 2- метод деформированного многогранника (метод Нелдера и Мида); 3 - метод Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову).

Так, например, вариант 1.1 означает использование показательно- степенной модели объемов реализованной продукции из банка моделей (см. пункт 5) и метод оптимизации Гаусса- Ньютона, а вариант 1.2 соответствует использованию показательно- степенной модели объемов реализованной продукции и метод деформированного многогранника.

Лабораторная работа №1 содержит 25 вариантов. Каждый вариант предусматривает выполнение 4 указанных выше заданий.

3.5. Банк малопараметрических моделей объемов реализованной продукции:

1. $f(t, \alpha) = \alpha_1 \exp(-\alpha_2 t) t^{\alpha_3}$ - показательно - степенная модель-1;
2. $f(t, \alpha) = \alpha_1 \exp(\alpha_2 t) t^{-\alpha_3}$ - показательно - степенная модель -2;
3. $f(t, \alpha) = \alpha_1 \exp(-\alpha_2 (\ln(t) - \alpha_3)^2)$ - Релея;
4. $f(t, \alpha) = \alpha_1 (1 - \exp(-\alpha_2 t))^{\alpha_3} \exp(-\alpha_3 t)$ - Берталанфи-1;
5. $f(t, \alpha) = \alpha_1 (1 - \exp(-\alpha_2 t)) \exp(-\alpha_3 t)$ - Берталанфи-2;
6. $f(t, \alpha) = \alpha_1 \exp(\alpha_2 t) \exp(t^{-\alpha_3})$ - Гольрауш;
7. $f(t, \alpha) = \alpha_1 \exp(-\exp(\alpha_2 t)) \exp(-\alpha_3 t)$ - Гопрерц;
8. $f(t, \alpha) = \frac{\alpha_1 \exp(-\alpha_3 t)}{1 + \exp(-\alpha_2 t)}$ - показательно - логистическая.

3.6. Таблицы, рисунки результатов решения задач лабораторной работы №1 для первого тестового примера

Таблица 1. Исходные данные для имитационного моделирования объемов реализованной продукции и конечной емкости рынка (1), (2)

Наименование показателей	Значения
1. Закон распределения случайных величин в (1)	Нормальное распределение - $N(0,1)$
2. Относительный уровень вариаций (ошибок) объемов реализованной продукции (1)	$c = 0,05$
3. Периоды времени	$t_n = n$
4. Периоды прогноза	$\tau = 3$

Таблица 2 Значения объемов реализованной продукции первого тестового примера, полученные методом имитационного моделирования за 18 лет работы фирмы.

Номер периода (года) работы фирмы	Реализованная продукция
1	86
2	171
3	260
4	381
5	374
6	432
7	442
8	391
9	431
10	428
11	358
12	374
13	348
14	307
15	282
16	255
17	212
18	186

Конечная емкость рынка $S(T) = 6830,37$ при $T=30$ (2).

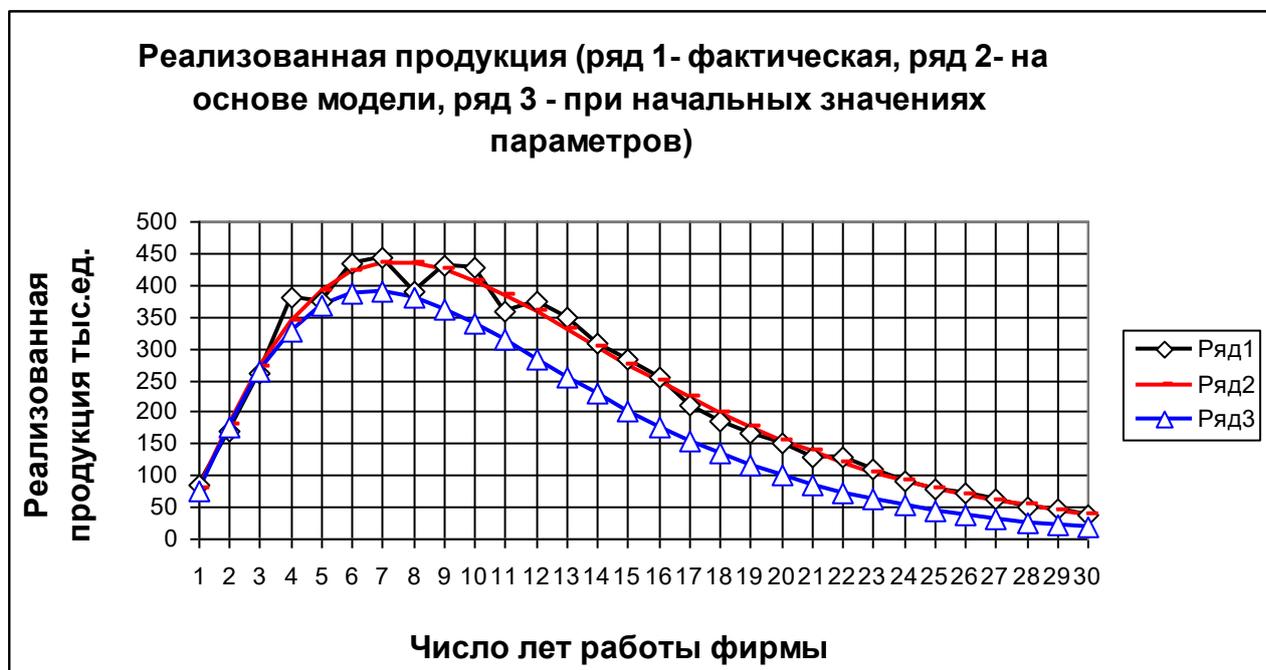


Рис.1. Результаты имитационного моделирования объемов реализованной продукции за 30 лет работы фирмы.

Таблица 3. Начальные значения параметров модели объемов реализованной продукции, полученные за первые три года работы фирмы методом «ручного» подбора параметров

Показатель качества $J(\alpha_n^0)$ (4) при $n=3$	Начальные значения параметров		
	α_1^0	α_2^0	α_3^0
$J(\alpha_n^0)$	95,50	0,23	1,55

Таблица 4. Относительные ошибки оценок емкости и прогноза реализованной продукции (на период времени $\tau = 3$)

Оценки	Метод оптимизации Гаусса-Ньютона	Номер периода (года) работы фирмы								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Емкость рынка										
2. Реализованная продукция										

3.7. Таблицы, рисунки результатов решения задач лабораторной работы №1 для второго тестового примера

Таблица 5. Исходные данные фактических значений объемов реализованной продукции второго тестового примера

Номер периода (года) работы фирмы	Реализованная продукция
1	80,00
2	280,00
3	400,00
4	680,00
5	740,00
6	720,00
7	660,00
8	512,00
9	520,00
10	420,00
11	320,00
12	240,00
13	340,00
14	180,00
15	160,00
16	152,00
17	125,00
18	110,00

Конечная емкость рынка второго тестового примера $S(T) = 7000$ тыс.ед. при $T=30$.

Таблица 6. Начальные значения параметров модели объемов реализованной продукции, полученные за первые три года работы фирмы методом «ручного» подбора параметров

Показатель качества модели $J(\alpha_n)$ (4) при $n=3$	Значения параметров		
	α_1^0	α_2^0	α_3^0

Таблица 7. Относительные ошибки оценок емкости и прогноза реализованной продукции (на период времени $\tau = 3$)

Оценки	Метод оптимизации Гаусса-Ньютона	Номер периода (года) работы фирмы								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Емкость рынка										
2. Реализованная продукция										

4 Лабораторная работа № 2

Целью лабораторной работы является прогнозирование текущей и конечной емкости рынка инновационного товара с решением задачи параметрического синтеза.

Задачи лабораторной работы:

1. Имитационное моделирование текущей и конечной емкости рынка.
2. Решение задачи параметрического синтеза моделей текущей и конечной емкости рынка.
3. Анализ точности оценок прогноза текущей и конечной емкости рынка.
4. Составление пояснительной записки.

4.1. Имитационное моделирование текущей и конечной емкости рынка

Для пояснения метода имитационного статистического моделирования представим модель текущей емкости рынка в виде [4]:

$$v_i^* = f(t_i, \alpha_u)(1 + c \xi_i), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $\alpha_u = (\alpha_{1u}, \alpha_{2u}, \dots, \alpha_{mu})$ - вектор заданных (истинных) значений параметров модели жизненного цикла товара;

$v_i^* = f(t_i, \alpha_u), i = \overline{1, n}$ - имитируемые значения текущей емкости рынка за время работы фирмы; $\Delta t = (t_i - t_{i-1}), i = \overline{1, n}$ (для простоты принимаем $t_i = i, i = \overline{1, n}$);

ξ_i - случайные величины, полученные с использованием датчика псевдослучайных чисел, распределенных по нормальному закону с нулевыми средними значениями и единичной дисперсией – $N(0, 1)$;

c - константа, представляющая относительный уровень случайных неконтролируемых факторов внешней и внутренней среды ξ_i .

Конечная емкости рынка за T лет работы фирмы определяется по формуле

$$S(T) = f(T, \mathbf{a}_n) \quad (2)$$

где T - экспертная оценка времени «жизни» товара (его рентабельного производства);

4.2. Параметрический синтез модели текущей емкости рынка. Прогнозирование текущей и конечной емкости рынка

Параметрический синтез (идентификация) модели текущей емкости рынка $f(t, \mathbf{a})$ определяется путем решения оптимизационной задачи [1,4,5]:

$$\mathbf{a}_n^* = \arg \min_{\mathbf{a}_n} (J(\mathbf{a}_n)); \quad (3)$$

где $\mathbf{a}_n^* = (\alpha_1^*, \alpha_2^*, \dots, \alpha_m^*)$ - оценки параметров, полученные с использованием имитируемых значений текущей емкости рынка $v^*(t_i) = v_i^*, i = \overline{1, n}$ за n лет работы фирмы. $J(\mathbf{a}_n)$ - показатель качества модели

$$J(\mathbf{a}_n) = \sum_{i=1}^n (v_i^* - f(t_i, \mathbf{a}_n))^2 \quad (4)$$

Оценки параметров \mathbf{a}_n^* (3) используются для прогнозирования текущей емкости рынка

$$\hat{v}_{t+\tau} = f(t_n + \tau, \mathbf{a}_n^*), \quad (5)$$

и определения конечной емкости рынка

$$S_n^*(T) = f(T, \mathbf{a}_n^*), \quad (6)$$

где $\tau = \Delta t \cdot m$ - прогнозный интервал, где Δt - отчетный период (месяц, год), $m = 1, 2, 3, \dots$. Для упрощения часто выбирают $\Delta t = 1$.

Важным практическим результатом на стадии роста жизненного цикла является прогноз времени t_m максимального объема реализованной продукции

$$y_{\max}^*(t_m) = \frac{df(t, \mathbf{a}_n^*)}{dt} \text{ при } t = t_m \quad (7)$$

и прогноз спада объема продаж на время τ .

$$y_{\max}^*(t_m + \tau) = \frac{df(t, \mathbf{a}_n^*)}{dt} \text{ при } t = t_m + \tau. \quad (8)$$

где

$$t_m = \max_{t \in R} f(t, \mathbf{a}_n^*). \quad (9)$$

Процедура решения оптимизационной задачи (3) по определению параметров модели текущей емкости рынка должна быть реализована в двух вариантах:

1. режим «ручного» подбора параметров;
2. режим автоматического подбора параметров.

1. Режим «ручного» подбора параметров

Режим «ручного» подбора параметров заключается в совмещении графика фактических значений текущей емкости рынка $v^*(t_i), i = \overline{1, n}$ с графиком значений объемов реализованной продукции, полученных на основе модели $v(t_i) = f(t_i, \mathbf{a}), i = \overline{1, n}$ путем подбора параметров $\mathbf{a}^0 = (\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_m^0)$. Подобранные параметры \mathbf{a}^0 могут использоваться в качестве начальных приближений при решении оптимизационных задач параметрического синтеза в режиме автоматического подбора параметров. Критерием точности модели объемов реализованной продукции при начальных значениях параметров (например, за первые три года

работы фирмы) является показатель качества $J(\alpha_n^0)$ при $n=3$ (4). Показатель качества $J(\alpha_n^0)$ для подобранных начальных значений параметров α_n^0 должен принимать минимальное значение

$$J(\alpha_n^0) = \min_{\alpha_n} (J(\alpha_n))$$

2. Режим автоматического подбора параметров

Данным режимом предусматривается решение задачи параметрического синтеза (идентификации), а именно, расчет оптимальных оценок параметров α_n^* (3) модели текущей емкости рынка $f(t, \alpha_u)$ с использованием методов оптимизации функций [4-6] в зависимости от выбранного варианта:

1. вариант № 1 предусматривает решение оптимизационной задачи (2) методом Гаусса- Ньютона [4];
2. вариант № 2 предусматривает решение оптимизационной задачи (2) методами деформированного многогранника (метод Нелдера и Мида) [6];
3. вариант № 3 предусматривает решение оптимизационной задачи (2) методом Левенберга (Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову) [4].

4.3. Анализ точности оценок

Для анализа точности оценок конечной емкости рынка и прогноза текущей емкости рынка (3),(4) используем их относительные ошибки:

$$\delta_n(S_n^*(T)) = \text{abs}((S_n^*(T) - S(T, \alpha_u)) / S(T, \alpha_u)), \quad (9)$$

$$\delta_n(\hat{y}_{t+\tau}) = \text{abs}((f((t_n + \tau), \alpha_n^*) - f((t + \tau), \alpha_u)) / f((t + \tau), \alpha_u)). \quad (11)$$

где $S(T, \alpha_u)$, $f(t + \tau, \alpha_u)$, $\tau = \overline{1, n\tau}$ -точные (заданные) значения конечной и текущей емкости рынка, $S_n^*(T)$ и $f((t_n + \tau), \alpha_n^*)$ прогнозные значения конечной и текущей емкости. Результаты расчета помещаются в соответствующие таблицы, приведенные в задании по лабораторной работе №2.

4.4. Задания по лабораторной работе №2

Задание 1. Составить алгоритм и написать программу для получения фактических значений текущей и конечной емкости методом имитационного моделирования (1), (2).

Исходные данные для решения задачи имитационного моделирования приведены в табл. 8. Результаты имитационного моделирования текущей емкости рынка за 18 лет работы фирмы привести в табл. 9 и представить в графическом виде (см. рис. 2) за 30 лет работы фирмы. В табл. 9, для примера, приведены результаты имитационного моделирования текущей емкости рынка за 18 лет работы фирмы с использованием показательной степенной модели (см. модель 1 пункт 4.5). Приведены также значения конечной емкости рынка за 30 лет работы фирмы.

Задание 2. Составить алгоритмы и написать программу параметрического синтеза текущей емкости рынка в режиме ручного и автоматического подбора параметров с использованием выбранного метода оптимизации согласно варианту задания. Оценки конечной емкости рынка в зависимости от числа лет работы фирмы и прогнозные значения текущей емкости рынка при оптимальных значениях параметров модели на период времени $\tau = 3$ привести в отчете по лабораторной работе на соответствующих рисунках.

Задание 3. Составить алгоритмы и написать программу анализа точности оценок конечной емкости рынка и прогноза текущей емкости рынка. Полученные значения относительных ошибок оценок конечной емкости рынка и текущей емкости рынка представить в таб-

личном виде табл. 11 при решении первого тестового примера прогнозирования текущей емкости рынка, полученные методом имитационного моделирования, и табл. 14. при решении второго тестового примера прогнозирования фактических значений текущей емкости рынка. Полученные начальные значения параметров $\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0$ при минимальном значении показателя качества $J(\alpha_n)$ при $n=3$ привести в табл. 11.и.13.

Задание 4. Составить пояснительную записку согласно требованиям, приведенным в пункте 2.

В качестве модели объемов реализованной продукции использовать функцию из банка моделей (см. пункт 4. 5 – банка малопараметрических моделей объемов реализованной продукции).

Всего предлагается два тестовых примера.

В качестве исходных данных для первого тестового примера использовать результаты имитационного моделирования текущей емкости рынка, приведенные в табл.9. Исходные данные второго контрольного тестового примера приведены в табл. 12.

Результаты решения второго контрольного тестового примера привести в табл.13 и 14.

Задание 4. Составить пояснительную записку.

Номер варианта лабораторной работы состоит из двух цифр. Первая цифра до точки соответствует номеру модели продукции (см. пункт 4..5). Вторая цифра после точки соответствует методу решения оптимизационной задачи (1- метод Гаусса- Ньютона; 2- метод деформированного многогранника (метод Нелдера и Мида); 3 - метод Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову).

Так, например, вариант 1.1 означает использование показательно- степенной модели текущей емкости рынка из банка моделей (см. пункт 5) и метод оптимизации Гаусса- Ньютона, а вариант 1.2 соответствует использованию показательно- степенной модели текущей емкости рынка и метод деформированного многогранника.

Лабораторная работа №2 содержит 25 вариантов. Каждый вариант предусматривает выполнение 4 указанных выше заданий.

4.5. Банк малопараметрических моделей текущей емкости рынка:

$$1. f(t, \alpha) = \int_0^t \alpha_1 \exp(-\alpha_3 t) t^{\alpha_3} dt - \text{показательно- степенная -1.}$$

$$2. f(t, \alpha) = \int_0^t \alpha_1 \exp(\alpha_3 t) t^{-\alpha_3} dt - \text{показательно- степенная -2.}$$

$$3. f(t, \alpha) = \int_0^t \alpha_1 \exp(-\alpha_2 (\ln(t) - \alpha_3)^2) dt - \text{Релея.}$$

$$4. f(t, \alpha) = \alpha_1 (1 - \exp(-\alpha_2 t))^{\alpha_3} - \text{Берталанфи-1;}$$

$$5. f(t, \alpha) = \alpha_1 (1 - \exp(-\alpha_2 t)) \exp(-\alpha_3 t) - \text{Берталанфи-2;}$$

$$6. f(t, \alpha) = \int_0^t \alpha_1 \exp(\alpha_2 t) \exp(t^{-\alpha_3}) dt - \text{Гольрауш.}$$

$$7. f(t, \alpha) = \int_0^t \alpha_1 \exp(-\exp(\alpha_2 t)) \exp(-\alpha_3 t) dt - \text{Гоперрц.}$$

$$8. f(t, \alpha) = \alpha_1 \int_0^t \frac{\exp(-\alpha_3 t)}{1 + \exp(-\alpha_2 t)} dt - \text{показательно- логистическая.}$$

4.6. Таблицы, рисунки результатов решения задач лабораторной работы №2 для первого тестового примера

Таблица 8. Исходные данные для имитационного моделирования текущей и конечной емкости рынка (1), (2)

Наименование показателей	Значения
1. Закон распределения случайных величин в (1)	Нормальное распределение - $N(0,1)$
2. Относительный уровень вариаций (ошибок) объемов реализованной продукции (1)	$c = 0,02$
3. Периоды времени	$t_n = n$
4. Периоды прогноза	$\tau = 3$

Таблица 9. Значения объемов реализованной продукции первого тестового примера, полученные методом имитационного моделирования за 18 лет работы фирмы.

Номер периода (года) работы фирмы	Реализованная продукция
1	86
2	171
3	260
4	381
5	374
6	432
7	442
8	391
9	431
10	428
11	358
12	374
13	348
14	307
15	282
16	255
17	212
18	186

Конечная емкость рынка $S(T) = 6830,37$ при $T=30$ (2).

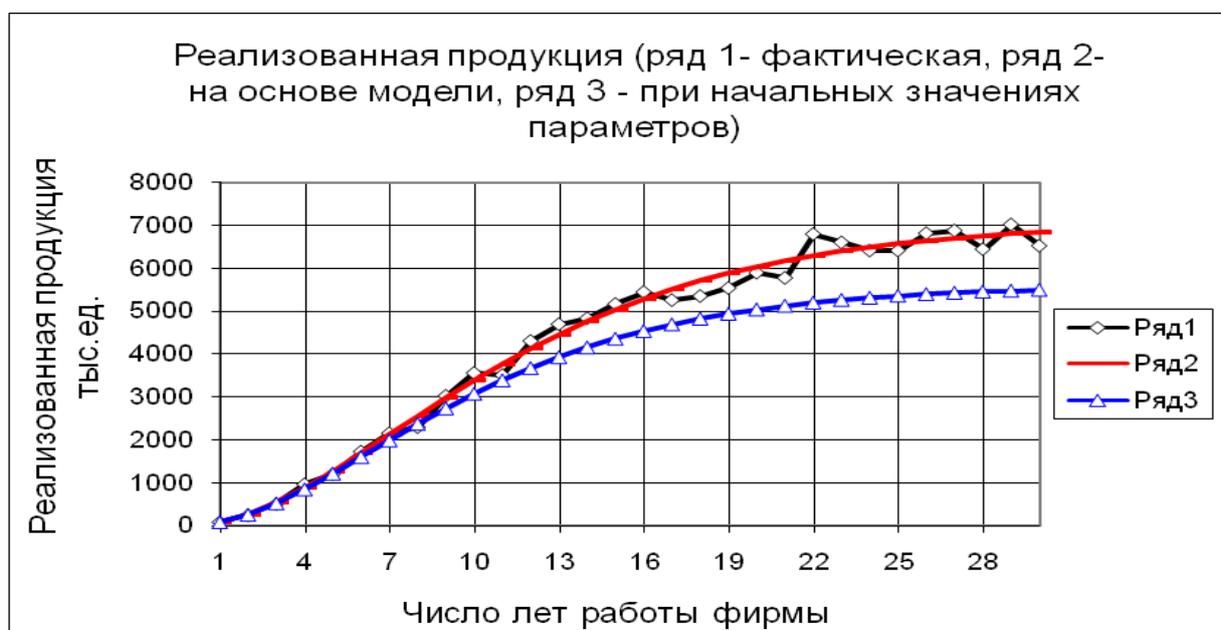


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования объемов реализованной продукции за 30 лет работы фирмы

Таблица 10. Начальные значения параметров модели объемов реализованной продукции, полученные за первые три года работы фирмы методом «ручного» подбора параметров

Показатель качества $J(\alpha_n^0)$ (4) при $n=3$	Начальные значения параметров		
	α_1^0	α_2^0	α_3^0
$J(\alpha_n^0)$	95,50	0,23	1,55

Таблица 11. Относительные ошибки оценок емкости и прогноза реализованной продукции (на период времени $\tau = 3$)

Оценки	Метод оптимизации Гаусса-Ньютона	Номер периода (года) работы фирмы									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1. Емкость рынка											
2. Реализованная продукция											

3.7. Таблицы, рисунки результатов решения задач лабораторной работы № 2 для второго тестового примера

Таблица 12. Исходные данные фактических значений объемов реализованной продукции второго тестового примера

Номер периода (года) работы фирмы	Реализованная продукция
1	80,00
2	280,00
3	400,00
4	680,00
5	740,00
6	720,00
7	660,00
8	512,00
9	520,00
10	420,00
11	320,00
12	240,00
13	340,00
14	180,00
15	160,00
16	152,00
17	125,00
18	110,00

Конечная емкость рынка второго тестового примера $S(T) = 7000$ тыс.ед. при $T=30$.

Таблица 13. Начальные значения параметров модели объемов реализованной продукции, полученные за первые три года работы фирмы методом «ручного» подбора параметров

Показатель качества модели $J(\alpha_n)$ (4) при $n=3$	Значения параметров		
	α_1^0	α_2^0	α_3^0

Таблица 14. Относительные ошибки оценок емкости и прогноза реализованной продукции (на период времени $\tau = 3$)

Оценки	Метод оптимизации Гаусса-Ньютона	Номер периода (года) работы фирмы								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Емкость рынка										
2. Реализованная продукция										

5. Цель, задачи и варианты индивидуальных заданий курсового проектирования

Целью курсового проектирования является совершенствование моделей и алгоритмов прогнозирования жизненного цикла инновационного товара, рассмотренных в лабораторных работах, путем использования дополнительной априорной информации и экспертных оценок конечной емкости рынка.

Задачи курсового проектирования:

1. Моделирование жизненного цикла инновационного товара (объемов реализованной продукции, текущей и конечной емкости рынка) с учетом дополнительной априорной информации и экспертных оценок.
2. Параметрический синтез интегрированных систем моделей объемов реализованной продукции, текущей емкости рынка с учетом экспертных оценок конечной емкости рынка.
3. Анализ точности оценок прогноза объемов реализованной продукции, текущей емкости рынка с учетом ошибок экспертных оценок конечной емкости рынка.
4. Составление пояснительной записки.

5.1. Задания по курсовому проекту № 1

Задание 1. Составить алгоритм и написать программу для получения фактических объемов реализованной продукции конечной емкости с учетом экспертных оценок конечной емкости рынка методом имитационного моделирования (1), (2). Исходные данные для решения задачи имитационного моделирования приведены в табл. 19.

Задание 2. Составить алгоритмы и написать программу решения оптимизационной задачи параметрического синтеза интегрированных моделей объемов реализованной продукции в режиме ручного и автоматического подбора параметров с использованием выбранного метода оптимизации, согласно варианту задания. Оценки конечной емкости рынка в зависимости от числа лет работы фирмы и прогнозные значения объемов реализованной продукции при оптимальных значениях параметров модели на период времени $\tau = 3$ привести в отчете по курсовой работе на соответствующих рисунках. Полученные начальные значения параметров $\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0$ при минимальном значении показателя качества $J(\alpha_n)$ при $n=3$ привести в табл. 16. И 19.

Задание 3. Составить алгоритмы и написать программу анализа точности оценок конечной емкости рынка и прогноза реализованной продукции с учетом ошибок задания экспертных оценок. Полученные значения относительных ошибок оценок конечной емкости рынка и объемов реализованной продукции представить в табличном виде табл. 17 при решении первого тестового примера прогнозирования объемов реализованной продукции, полученные методом имитационного моделирования, и табл. 20 при решении второго тестового примера прогнозирования фактических значений объемов реализованной продукции. **Задание 4.** Составить пояснительную записку согласно требованиям, приведенным в пункте 2.

В качестве модели объемов реализованной продукции использовать функцию из банка моделей (см. пункт 3. 5 – банка малопараметрических моделей объемов реализованной продукции).

Всего предлагается два тестовых примера.

В качестве исходных данных для первого тестового примера использовать результаты имитационного моделирования объемов реализованной продукции, приведенные в табл. 5.3.1. Исходные данные второго контрольного тестового примера приведены в табл. 6.3.1.

Результаты решения второго контрольного тестового примера привести в табл. 19., 20.

Задание 4. Составить пояснительную записку.

Номер варианта курсовых проектов по аналогии с лабораторными работами состоит из двух цифр. Первая цифра до точки соответствует номеру модели объемов реали-

зованной продукции (см. пункт 3.5 лабораторной работы № 1). Вторая цифра после точки соответствует методу решения оптимизационной задачи (1- метод Гаусса- Ньютона; 2- метод деформированного многогранника (метод Нелдера и Мида); 3 - метод Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову).

Курсовой проект № 1 содержит 24 варианта (см. пункт 5.2). Каждый вариант предусматривает выполнение 4 указанных выше заданий.

Курсовой проект № 2 выполняется по аналогии с лабораторной работой № 2 и содержит 24 варианта индивидуальных заданий подобно курсовому проекту № 1. Задания по курсовой работе № 2, список тем и представление результатов в виде таблиц и графиков аналогичны курсовому проекту № 1.

5.2. Список тем индивидуальных заданий (для курсового проекта № 1)

1. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе показательно- степенной модели -1 и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.

2. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе показательно- степенной-1 модели и метода оптимизации деформированного многогранника.

3. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе показательно – степенной-1 модели и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову

4. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка (на основе показательно- степенной -2 модели -и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.

5. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе показательно- степенной-2 модели и метода оптимизации деформированного многогранника.

6. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе показательно – степенной-2 модели и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.

7. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Релея и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.

8. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Релея и метода оптимизации деформированного многогранника.

9. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Релея и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.

10. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Берталанфи -1 и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.

11. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Берталанфи-1 и метода оптимизации деформированного многогранника.

12. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Берталанфи-1 и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.

13. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Берталанфи-2 и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.

14. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Берталанфи-2 и метода оптимизации деформированного многогранника.

15. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Берталанфи- 2 и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.

16. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Гольбрауш и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.
17. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Гольбрауш и метода оптимизации деформированного многогранника.
18. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Гольбрауш и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.
19. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Гомперц и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.
20. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Гомперц и метода оптимизации деформированного многогранника.
21. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе модели Гомперц и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.
22. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе логистической модели и метода оптимизации Гаусса- Ньютона.
23. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе логистической модели и метода оптимизации деформированного многогранника.
24. Системный анализ проблемы прогноза текущей и конечной емкости рынка на основе логистической модели и метода оптимизации Гаусса- Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову.

5.3. Таблицы, рисунки результатов решения курсовых проектов для первого тестового примера

Таблица 15. Исходные данные для имитационного моделирования объемов реализованной продукции и текущей емкости рынка

Наименование показателей	Значения
1. Закон распределения случайных величин	Нормальное распределение - $N(0,1)$
2. Относительный уровень вариаций (ошибок) объемов реализованной продукции	$c_1 = 0,02$
3. Периоды времени	$t_n = n$
4. Периоды прогноза	$\tau = 3$
5. Относительный уровень ошибок экспертных оценок емкости рынка	$c_2 = 0; c_2 = 0,5; c_2 = 1$

Таблица 16. Начальные значения параметров модели объемов реализованной продукции, полученные за первые три года работы фирмы методом «ручного» подбора параметров

Показатель качества $J(\alpha_n^0)$ (4) при $n=3$	Начальные значения параметров		
	α_1^0	α_2^0	α_3^0
$J(\alpha_n^0)$			

Таблица 17. Относительные ошибки оценок емкости рынка и прогноза реализованной продукции (на период времени $\tau = 3$)

Оценки	Управляющие параметры	Ошибки экспертных оценок емкости рынка	Номер периода (года) работы фирмы										
			3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1.Емкость рынка	$\beta_1 = \beta_2 = 0$												
	$\beta_1 = \beta_1^*, \beta_2 = \beta_2^*$	$c_2 = 0$											
		$c_2 = 0,5$											
		$c_2 = 1$											
2.Реализованная продукция	$\beta_1 = \beta_2 = 0$												
	$\beta_1 = \beta_1^*, \beta_2 = \beta_2^*$	$c_2 = 0$											
		$c_2 = 0,5$											
		$c_2 = 1$											

5.4. Таблицы результатов решения индивидуальных задач курсового проекта №1 для второго тестового примера

Таблица 18. Исходные данные фактических значений объемов реализованной продукции второго тестового примера

Номер периода (года) работы фирмы	Реализованная продукция
1	80,00
2	280,00
3	400,00
4	680,00
5	740,00
6	720,00
7	660,00
8	512,00
9	520,00
10	420,00
11	320,00
12	240,00
13	340,00
14	180,00
15	160,00
16	152,00
17	125,00
18	110,00

Конечная емкость рынка второго тестового примера $S(T) = 7000$ тыс.ед при $T=30$.

Таблица 19. Начальные значения параметров модели объемов реализованной продукции, полученные за первые три года работы фирмы методом «ручного» подбора параметров

Показатель качества модели $J(\alpha_n)$ (4) при $n=3$	Значения параметров		
	α_1^0	α_2^0	α_3^0
$J(\alpha_n^0)$			

Таблица 20. Относительные ошибки оценок емкости и прогноза реализованной продукции (на период времени $\tau = 3$)

Оценки	Управляющие параметры	Ошибки экспертных оценок емкости рынка	Номер периода (года) работы фирмы										
			3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1.Емкость рынка	$\beta_1 = \beta_2 = 0$												
	$\beta_1 = \beta_1^*, \beta_2 = \beta_2^*$	$c_2 = 0$											
		$c_2 = 0,5$											
		$c_2 = 1$											
2.Реализованная продукция	$\beta_1 = \beta_2 = 0$												
	$\beta_1 = \beta_1^*, \beta_2 = \beta_2^*$	$c_2 = 0$											
		$c_2 = 0,5$											
		$c_2 = 1$											

6. Список рекомендуемой литература

1. Корилов А.М. Теория систем и системный анализ: учебн. пособие. – / А.М. Корилов, С.Н. Павлов. – Томск: ТУСУР, 2007.- 344 с.
2. Семиглазов В.А. Прогнозирование жизненного цикла инновационного товара. Практический маркетинг.- №12 (118), 2006.- 19-27.
3. Бушмилова Г.А. Мониторинг жизненного цикла товара. Практический маркетинг.- №7 (113), 2006.- с. 18-20 .
4. Сергеев В.Л. Адаптивные системы идентификации: учебн. пособие. – Томск:ТУСУР, 2007.-236 с.
5. Сергеев В.Л. Системные основы управления процессами нефтегазодобычи; учебн. пособие. – Томск:Изд-во Томского политехнического университета, 2013.-144 с.
6. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах.- М.: «Высшая школа», 2002.- 544 с.
7. Мицель А.А., Шелестов А.А. Методы оптимизации. Часть 1: Учебн. пособие. -Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002.-192 с.
8. ГОСТ 7.32-2001 СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления (с Изменением N 1, с Поправкой). [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200026224>
9. ОС ТУСУР 01-2013. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/40668/rules_tech_01-2013.pdf

Приложение 1. Теоретические основы, модели и алгоритмы прогнозирования жизненного цикла инновационного товара.

1. Феноменологические модели жизненного цикла инновационного товара с учетом дополнительной априорной информации и экспертных оценок

В настоящее время в связи с возрастающей ролью системного подхода при проектировании и управлении в условиях неопределенности актуальным является решение задач параметрического и структурного синтеза (идентификации) и прогноза эволюционных процессов жизненного цикла сложных технических и социально – экономических систем. Именно проблема синтеза модели занимает исключительно важную роль, поскольку является наиболее «узким местом» при проектировании наукоемких и интеллектуальных систем идентификации, управления и принятия решений [1,4,5].

Для решения задачи прогнозирования жизненного цикла систем большое внимание уделяется феноменологическим моделям

$$y_t^* = f(t, \mathbf{a}) + \xi_t \quad (1)$$

отражающих их целостные системные свойства. Здесь $y_t^*, t = \overline{1, n}$ – фактические значения процесса жизненного цикла в различные моменты времени t ; $f(t, \mathbf{a})$ – известная с точностью до вектора параметров $\mathbf{a} = (\alpha_j, j = \overline{1, m})$ функция; $\xi_t, t = \overline{1, n}$ – различного рода случайные факторы внешней и внутренней среды,

Примерами эволюционных моделей (1) являются объемы реализованной продукции, текущая емкость рынка инновационного товара, добыча нефти и газа в процессе разработки месторождений углеводородов и т.д. [4,5].

Однако при решении задачи синтеза модели (1), связанной с определением ее параметров $\mathbf{a} = (\alpha_j, j = \overline{1, m})$ традиционными методами системного анализа и идентификации систем возникают проблемы обеспечения стабильности оценок, повышения их точности, особенно на начальной (первой) стадии развития процесса, когда объем исходных данных истории работы фирмы мал.

В курсовых работах для решения отмеченных выше проблем, повышения стабильности и точности прогноза жизненного цикла товара предлагается использовать интегрированные системы феноменологических моделей с учетом дополнительной априорной информации вида [4]:

$$\begin{cases} y_t^* = f_0(t, \mathbf{a}) + \xi_t, t = \overline{1, n}, \\ \bar{x}_j = f_{aj}(y_t, \mathbf{a}) + \eta_j, j = \overline{1, d}, \end{cases} \quad (2)$$

где первая система из n уравнений - это стохастическая модель исследуемого эволюционного процесса жизненного цикла (1), а вторая система из d уравнений представляет модели объектов аналогов, позволяющих учитывать дополнительную априорную информацию \bar{x}_j , известную к моменту времени t . В качестве дополнительной априорной информации могут быть использованы данные о параметрах эволюционного процесса $\bar{x}_j = \alpha_j, j = \overline{1, m}$, известные к моменту времени t с погрешностью η_j , будущие значения траектории эволюционного процесса $\bar{x}_{(n+j)} = \bar{y}_{n+j}, j = \overline{1, l}$, в том числе и его предельные значения (аттракторы $\bar{x}_\infty = y_\infty$). Модели объектов аналогов $f_{aj}(y_t, \mathbf{a})$ могут представлять функции, функционалы, а в общем

виде операторы f_{aj} от переменных y_t в классах линейных, нелинейных параметрических либо непараметрических моделей; ξ_t, η_j – случайные неконтролируемые факторы.

Интегрированные системы моделей (2) обладают системными свойствами, что позволяет обеспечить устойчивость и повышает точность оценок параметров и прогноза процесса жизненного цикла при малом объеме исходных данных.

Примером модели (2) являются интегрированные системы феноменологических моделей объемов реализованной продукции с учетом дополнительной априорной информации и экспертных оценок емкости рынка \bar{S} и прогнозных значений реализованной продукции \bar{y}_τ на время $t_n + \tau$,

$$\begin{cases} y_i^* = f(t_i, \mathbf{a}) + \xi_i, i = \overline{1, n}, \\ \bar{S} = S(T, \mathbf{a}) + \eta = \int_{t_0}^T f(\tau, \mathbf{a}) d\tau + \eta, \bar{y}_\tau = f(t_n + \tau, \mathbf{a}) + v_\tau, \tau = \overline{1, n\tau}, \end{cases} \quad (3)$$

Определение параметров $\mathbf{a} = (\alpha_j, j = \overline{1, m})$ моделей вида (2),(3) методами системного анализа для уточнения экспертной оценки емкости рынка, прогноза объемов реализованной продукции, текущей емкости рынка, исследование точности оценок методом имитационного статистического моделирования и на реальных процессах жизненного цикла являются основными задачами лабораторных и курсовых работ.

2. Алгоритмы параметрического синтеза интегрированных систем моделей жизненного цикла инновационного товара

Задача параметрического синтеза интегрированных систем моделей жизненного цикла товара (2),(3), с учетом дополнительных априорных данных и экспертных оценок $\bar{x}_j, j = \overline{1, m}$ (которую часто называют задачей параметрической идентификации), заключается в определении ее параметров \mathbf{a} по данным истории работы фирмы $y_t^*, t = \overline{1, n}$ путем решения оптимизационных задач [4-7]

$$\mathbf{a}_n^* (\mathbf{\beta}) = \arg \min_{\mathbf{a}} \Phi(\mathbf{a}, \mathbf{\beta}), \quad (4)$$

$$\mathbf{\beta}_n^* = \arg \min_{\mathbf{\beta}} J_0(\mathbf{a}_n^*(\mathbf{\beta})), \quad (5)$$

где запись $\arg \min_x f(x)$ означает точку минимума x^* функции $f(x)$ ($f(x^*) = \min_x f(x)$);

$\Phi(\mathbf{a}, \mathbf{\beta}) = J_0(\mathbf{a}) + \sum_{k=1}^d \beta_k J_{a,k}(\mathbf{a})$, – комбинированный показатель качества системы модели (2), представляющий заданную функцию (функционал) Φ от частного показателя качества $J_0(\mathbf{a})$ модели процесса жизненного цикла и взвешенных с весами $\mathbf{\beta} = (\beta_k, k = \overline{1, d})$ частных показателей качества $J_{a,k}(\mathbf{a})$ моделей дополнительных априорных данных и экспертных оценок $\bar{x}_j, j = \overline{1, d}$.

Например, для линейной по параметрам \mathbf{a} интегрированной системы моделей эволюционного процесса жизненного цикла

$$\begin{cases} y_t^* = \sum_{j=1}^m f_{0,j}(t) \alpha_j + \xi_t, t = \overline{1, n}, \\ \bar{x}_k = \sum_{j=1}^m f_{a,k,j}(t) \alpha_j + \eta_k, k = \overline{1, d}, \end{cases}$$

представленной для удобства в матричном виде

$$\begin{cases} \mathbf{y}^* = F_0 \mathbf{a} + \xi, \\ \bar{\mathbf{x}} = F_a \mathbf{a} + \eta, \end{cases} \quad (6)$$

и комбинированного показателя качества

$$\Phi(\mathbf{a}, \boldsymbol{\beta}) = \sum_{t=1}^n (y_t^* - \sum_{j=1}^m f_{0,j}(t) \alpha_j)^2 + \sum_{k=1}^d \beta_k (\bar{x}_k - \sum_{j=1}^m f_{a,k,j}(t) \alpha_j)^2, \quad (7)$$

представленного также в матричном виде

$$\Phi(\mathbf{a}, \boldsymbol{\beta}) = \|\mathbf{y}^* - F_0 \mathbf{a}\|^2 + \|\bar{\mathbf{x}} - F_a \mathbf{a}\|_{W(\boldsymbol{\beta})}^2 \quad (8)$$

оптимизационная задача по определению параметров модели (4) сводится к решению систем линейных уравнений вида

$$(F_0^T F_0 + F_a^T W(\boldsymbol{\beta}) F_a) \cdot \mathbf{a}^*(\boldsymbol{\beta}) = (F_0^T \mathbf{y}^* + F_a^T W(\boldsymbol{\beta}) \bar{\mathbf{x}}), \quad (9)$$

где запись $\|X\|_W^2$ означает квадратичную форму $X^T W X$; $\mathbf{y}^* = (y_t^*, t = \overline{1, n})$ – вектор фактических значений эволюционного процесса; $\bar{\mathbf{x}} = (\bar{x}_j, j = \overline{1, d})$ – вектор дополнительных априорных сведений и экспертных оценок; $F_0 = (f_{0,j}(t), j = \overline{1, m}, t = \overline{1, n})$ – матрица известных функций в модели исследуемого процесса жизненного цикла размерности $(m \times n)$; $F_a = (f_{a,k,j}(t), k = \overline{1, d}, j = \overline{1, m})$ – матрица известных функций в модели $f_{a,k,j}(t)$ объектов аналогов размерности $(d \times m)$; $W(\boldsymbol{\beta}) = \text{diag}(\beta_k, k = \overline{1, m})$ – диагональная матрица весовых функций (часто их называют управляющими параметрами, параметры регуляризации), определяющих значимость (вес) априорных данных $\bar{\mathbf{x}}$.

Для получения системы линейных уравнений (9) достаточно взять частные производные по параметрам \mathbf{a} от комбинированного функционала (8) и приравнять их к нулю.

Для нелинейной интегрированной системы моделей эволюционных процессов жизненного цикла вида, представленной в матричном виде

$$\begin{cases} \mathbf{y}^* = \mathbf{f}_0(\mathbf{a}) + \xi, \\ \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{f}_a(\mathbf{a}) + \eta, \end{cases}$$

и комбинированного показателя качества Φ

$$\Phi(\mathbf{a}, \boldsymbol{\beta}) = \|\mathbf{y}^* - \mathbf{f}_0(\mathbf{a})\|^2 + \|\bar{\mathbf{x}} - \mathbf{f}_a(\mathbf{a})\|_{W(\boldsymbol{\beta})}^2 \quad (11)$$

оптимизационная задача (4) при использовании метода Гаусса – Ньютона [1,] сводится к последовательному решению систем линейных уравнений вида [4]

$$\begin{cases} \mathbf{a}_i^* = \mathbf{a}_{i-1}^* + h_i \Delta \mathbf{a}_{i-1}^*, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \\ (D_0^T D_0 + D_a^T W(\boldsymbol{\beta}) D_a)_{i-1} \cdot \Delta \mathbf{a}_{i-1}^* = (D_0^T \mathbf{e}_0 + D_a^T W(\boldsymbol{\beta}) \bar{\mathbf{e}}_a)_{i-1}, \end{cases} \quad (12)$$

где $D_0 = \left(\frac{\partial f_{0,j}(t, \mathbf{a})}{\partial \alpha_j}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m} \right)_{n,m}$, $D_a = \left(\frac{\partial f_{a,k,j}(t, \mathbf{a})}{\partial \alpha_j}, k = \overline{1, d}, j = \overline{1, m} \right)_{lm}$ – матрица частных

производных от моделей исследуемого процесса и моделей объектов аналогов; $\mathbf{e}_0 = (\mathbf{y}^* - \mathbf{f}_0(\mathbf{a}))$, $\bar{\mathbf{e}}_a = (\bar{\mathbf{x}} - \mathbf{f}_a(\mathbf{a}))$ – векторы невязок, h_i – параметр шага.

Отметим, что приведенные выше оценки параметров интегрированных систем феноменологических моделей (9), (12) при определенных значениях управляющих параметров и дополнительных априорных сведений соответствуют многим традиционным методам идентификации. Например, из (9) при нулевых значениях априорных данных $\bar{x}_j = 0, j = \overline{1, d}$ и

$F_a = W = I, \beta_k = \beta, k = \overline{1, m}$ (где I – единичная матрица) следуют известные Ridge – приближения и регуляризирующие по А.Н. Тихонову оценки параметров линейных моделей

$$\mathbf{a}^* = (F_0^T F_0 + I\beta)^{-1} \cdot F_0^T \mathbf{y}^*, \quad (13)$$

позволяющие получать устойчивые решения при вырожденности либо плохой обусловленности матрицы $F_0^T F_0$. Следует отметить, что оценки (13) являются оптимальными приближениями параметров линейных систем, доставляющие минимум стабилизирующего функционала А.Н.Тихонова

$$\Phi(\mathbf{a}, \beta) = \|\mathbf{y}^* - F_0 \mathbf{a}\|_W^2 + \beta \|\mathbf{a}\|^2,$$

являющегося частным случаем комбинированного показателя качества (8).

При аналогичных условиях (нулевых значениях априорных данных $\overline{x_j} = 0, j = \overline{1, d}$ и $F_a = I, \beta_k = \beta, k = \overline{1, m}$) оценки параметров (12) для нелинейных моделей процессов жизненного цикла совпадают с устойчивыми оценками метода Гаусса – Ньютона с регуляризацией по А.Н. Тихонову (в зарубежной литературе эти оценки называют приближениями Левенберга)

$$\begin{cases} \mathbf{a}_i^* = \mathbf{a}_{i-1}^* + h_i \Delta \mathbf{a}_{i-1}^*, & i = 1, 2, 3, \dots, \\ (D_0^T D_0 + I\beta)_{i-1} \cdot \Delta \mathbf{a}_{i-1}^* = (D_0^T \mathbf{e}_0 + W(\beta) \overline{\mathbf{e}}_a)_{i-1}, \end{cases} \quad (14)$$

При управляющих параметрах $\beta = 0$ оценки (12) совпадают с традиционными оценками методом Гаусса – Ньютона, не учитывающие дополнительные априорные данные и экспертные оценки.

$$\begin{cases} \mathbf{a}_i^* = \mathbf{a}_{i-1}^* + h_i \Delta \mathbf{a}_{i-1}^*, & i = 1, 2, 3, \dots, \\ (D_0^T D_0)_{i-1} \cdot \Delta \mathbf{a}_{i-1}^* = (D_0^T \mathbf{e}_0)_{i-1}, \end{cases} \quad (15)$$

Следует также отметить, что задача (5) по определению оптимальных значений вектора управляющих параметров β_n^* не имеет аналитического решения и решается методами последовательных приближений [6,7].

Приложения 2 Задание по курсовой работе

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РА-
ДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра автоматизированных систем управления (АСУ)

Утверждаю
Заведующий кафедрой АСУ
профессор, доктор технических наук
_____ Корилов А. М.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Студент (Фамилия И.О.) _____

группа _____ факультета _____

1. Тема индивидуального задания: _____
2. Срок сдачи студентом законченного проекта : _____
3. Перечень вопросов, подлежащих разработке: _____
 - ознакомиться с предметной областью курсового проекта; _____
 - сформулировать задачи и требования к программе; _____
 - определить инструменты для разработки программы; _____
 - изучить алгоритмы и модели, используемые при решении задачи;
 - разработать интерфейс программы; _____
 - составить программу на алгоритмическом языке; _____
 - отладить программу на компьютере (протестировать); _____
 - предусмотреть в программе обработку ошибочных ситуаций. _____
4. Содержание пояснительной записки:
 - задание к курсовому проекту; _____
 - введение, актуальность, цель и задачи; _____
 - основная часть (техническое задание и результаты исследования алгоритмов и решения тестовых задач) _____
 - заключение; _____
 - приложения. _____
5. Дата выдачи задания: _____

Руководитель курсового проекта:
должность, ученая степень, звание
_____ Фамилия И.О.

Задание принял к исполнению:
_____ Студент Ф.И.О.
«__» _____ 20__ г.