

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средствам массовой коммуникации
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-57975
от 28 апреля 2014 г.

ISSN 2409-1650

Главный редактор
**Артюшенко
Владимир
Михайлович,**
д.т.н., профессор

Над выпуском работали:
Паршина Ю.С.
Пирогова Е.В.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31

При перепечатке любых материалов ссылка на журнал «Информационно-технологический вестник» обязательна

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, предоставленных авторами для публикации

Материалы авторам не возвращаются

Подписано в печать
28.09.2017.

Отпечатано
в типографии

Тираж 500 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

- Аббасов Э.М.
**АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ДАННЫМ
О ЕГО СОСТОЯНИИ.....3**
- Вокин Г.Г.
**ЭЛЕМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА,
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА И РОБОТЫ
КАК КЛЮЧЕВЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ
ДИСТАНЦИОННО-КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО
ОРУЖИЯ.....14**
- Горбаткин Ю.Б., Чернышев В.А., Севостьянов С.С.,
Гладков А.В.
**БОРТОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ
ИНДУКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ЧИСЛА
ОБОРОТОВ ИС-1165М1 С ПОВЫШЕННОЙ
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ.....30**
- Панин И.Г., Волкова Е.К., Щурин К.В.
**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.....39**

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- Кукушкин С.С., Кочемасов В.В., Лазаренко С.В.
**МЕТОДЫ БЕЗЫЗЫТОЧНОГО
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ
ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ НА ЭТАПАХ
ЕЕ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ.....56**
- Павлов А.А., Датьев И.О., Шишаев М.Г.
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОШАГОВЫХ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....68**
- Филиппович П.А.
**МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ МАЛОИНЕРЦИОННОГО
ВЫСОКОПРОЧНОГО ТЕРМОПАРНОГО КАБЕЛЯ.....79**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Барканов Е.Н.**, *Dr.sc.ing.*
2. **Васильев Н.А.**, *д.т.н., профессор*
3. **Леоненко Д.В.**, *д.ф.-м.н., профессор*
4. **Ставровский М.Е.**, *д.т.н., профессор*
5. **Тимофеев А.Н.**, *д.т.н., профессор*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Аббасова Т.С.**, *к.т.н., доцент*
2. **Бухаров С.В.**, *д.т.н., профессор*
3. **Вокин Г.Г.**, *д.т.н., профессор*
4. **Воловач В.И.**, *д.т.н., профессор*
5. **Логачева А.И.**, *д.т.н., профессор*
6. **Матвиенко Ю.Г.**, *д.т.н., профессор*
7. **Мороз А.П.**, *д.т.н., профессор*
8. **Разумовский И.М.**, *д.ф.-м.н., профессор*
9. **Рудаков В.Б.**, *д.т.н., профессор*
10. **Самаров К.Л.**, *д.ф.-м.н., профессор*
11. **Смердов А.А.**, *д.т.н., профессор*
12. **Стрелянок Ю.В.**, *д.т.н., профессор*
13. **Фоминский В.Ю.**, *д.ф.-м.н., профессор*
14. **Щурин К.В.**, *д.т.н., профессор*

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Акимова Э.Э.
МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЕКТА ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ.....85

Коптилин Р.М., Гайнутдинов А.В.
ОБЗОР РЫНКА САЕ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГИДРО-, ГАЗОДИНАМИКИ ТУРБОМАШИН.....94

Неустроев М.Ю.
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ УРОВЕНЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ВЫЗОВОВ С АДАПТАЦИЕЙ СЕРВЕРОВ.....106

Сидорова Н.П., Демина Д.С.
МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ.....118

Соляной В.Н.
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....127

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Щеглов П.А., Шестаков А.С., Вялов А.И.
СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРА В ЭПОКСИДНЫХ СМОЛАХ И ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ.....137

УДК 004.021

**Алгоритмы оценивания движения космического аппарата
по данным о его состоянии**

Э.М. Аббасов, к.т.н., доцент,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Управление процессами обработки о состоянии космического аппарата (КА) представлено схемами инвариантного контура управления сложным динамическим объектом. На основе анализа алгоритмов оценивания параметров поступательного движения летательного аппарата по результатам внешнетраекторных измерений сформулирована итерационная процедура Гаусса-Ньютона, реализующая подход непосредственного отыскания экстремальной точки поверхности отклика, описанной многомерной функцией применительно к задаче оценивания начальных условий движения ЛА. Исследованы особенности реализации алгоритма оценивания начальных условий орбитального движения аппарата на основе метода наименьших квадратов.

Контур управления космическим аппаратом, информационно-расчётное обеспечение, информационно-телеметрическое обеспечение.

Algorithms for estimating the motion of a spacecraft from its state data

E.M. Abbasov, Ph.D. assistant professor

State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Control of processing processes on the state of the spacecraft (SC) is represented by schemes of the invariant control loop of a complex dynamic object. Based on the analysis of the algorithms for estimating the parameters of the translational motion of an aircraft (LA), based on the results of external trajectory measurements, an iterative Gauss-Newton procedure is formulated that implements the approach of directly finding the extremal point of the response surface described by a multidimensional function. Applied to the problem of estimating the initial conditions of motion of an aircraft. The features of the implementation of the algorithm for estimating the initial conditions of the orbital motion of the apparatus based on the method of least squares are investigated.

Spacecraft control loop, information and settlement support, information telemetry.

Введение

В процессе оперативного управления полётом космических средств особенно важно получить в максимально короткое время наиболее полные данные о состоянии космического аппарата (КА) и его бортовых систем (БС) [1...3], проанализировать и спрогнозировать их качественное функционирование, выработать и реализовать необходимые решения по испытаниям и целевому использованию космического объекта [4,5].

Метод наименьших квадратов (МНК) был разработан и впервые использован еще в начале XIX столетия для обработки результатов геодезических измерений и астрономических наблюдений за движением естественных небесных тел. Он впервые был апробирован и при решении задач экспериментальной баллистики по определению начальных условий движения искусственных небесных тел – КЛА в конце 50-х XX века. В наиболее полном виде методика определения параметров движения ИСЗ по результатам ВТИ впервые была изложена в статье Аким Э. Л., Энеева Т. М. «Определение параметров движения космического ЛА по данным траекторных измерений» журнала «Космические исследования» 1963 г. [6]. В ней подробно описана процедура последовательного уточнения начального приближения, аналогичная рассмотренной выше.

В задачах экспериментальной баллистики необходимо выявить ряд особенностей реализации алгоритма МНК в условиях нелинейных задач оценивания.

Результаты исследования

Анализ информации о состоянии КА

В контуре управления КА циркулируют различные виды данных (виды информации) [7,8]:

- 1) **телеметрическая (ТМИ)**, определяющая состояние бортовых систем космических средств (БС);
- 2) **траекторная**, позволяющая по измерениям текущих навигационных параметров (**ИТНП**) определять параметры движения в пространстве центра масс КА. К траекторной информации также относят различные формы обмена между ее потребителями (например, начальные условия (НУ) движения космических объектов и дополнительные данные, позволяющие уточнять измерения наземными средствами различного типа;
- 3) **командно-программная (КПИ)**, вырабатываемая на основе информационно-расчетных данных (ТМИ и ИТНП) и определяющая стратегию работы БС для целевого применения космических средств.

Система управления полётом КА включает [9]:

- 1) наземные комплексы управления;
- 2) центры управления полетами (ЦУП);
- 3) объекты общего предназначения наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ), в том числе, баллистический и телеметрический центры;
- 4) наземные радиотехнические центры и специальные комплексы;

5) системы обмена данными и связи.

Для анализа информации о состоянии КА заменим понятие «космический аппарат» на понятие «сложный динамический объект» (СДО)

Инвариантный контур управления СДО представлен на рисунке 1.

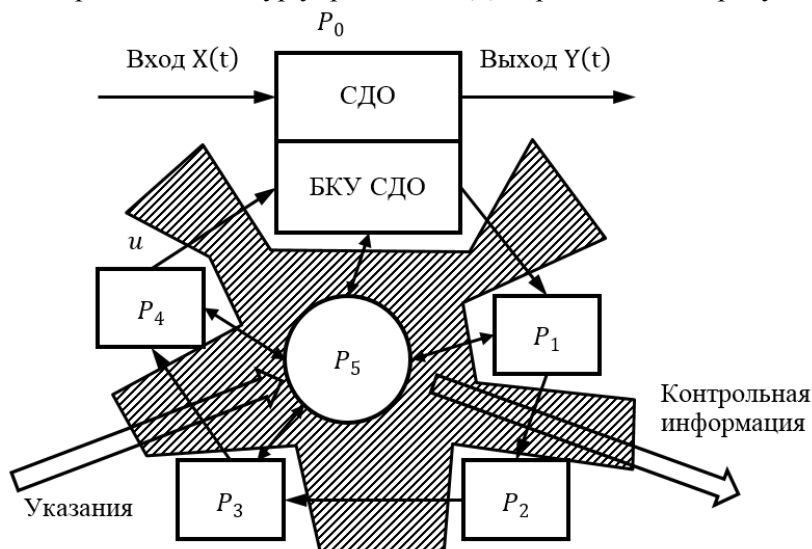


Рисунок 1 – Схема инвариантного контура управления СДО

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: $X(t)$ – входная информация; $Y(t)$ – выходная информация; P_1 – оператор, характеризующий измерения, которые проводят службы, над СДО (оператор измерений); P_2 – оператор оценивания (обработка измерений и оценка некоторых параметров); P_3 – оператор идентификации; P_4 – оператор управления (условно); u – управляющее воздействие; P_5 – оператор организационного управления; P_6 – оператор информационного обмена (операционный обмен должен быть «виден» другим элементам).

Есть системы двигательных установок (ДУ) движения СДО, но неточно известны баллистический коэффициент S_6 и коэффициент светового давления μ ; на высоте 1000-1500 км влияние светового давления соизмеримо с влиянием атмосферы; путём ввода дополнительных параметров можно уточнить (идентифицировать) S_6 и μ . Оператор идентификации нужен не всегда. Иногда элементы управления СДО известны изначально хорошо, т.е. их не надо уточнять.

Схема инвариантного контура управления (КУ) не зависящего от типа СДО, приведена на рисунке 2.

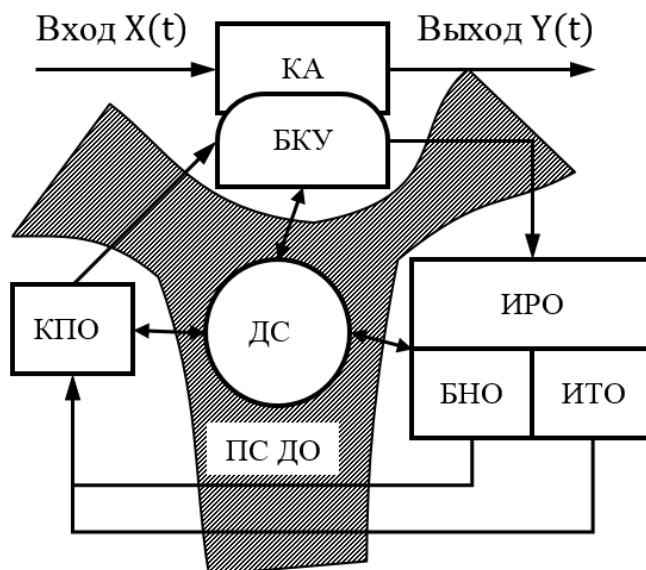


Рисунок 2 – Схема обобщённого инвариантного контура управления КА

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: ИРО – информационно-расчётное обеспечение; ИТО – информационно-телеметрическое обеспечение; КПО – командно-программное обеспечение; ПС ДО – подсистема информационного обмена; ДС – дежурная смена.

Часто из-за дороговизны целевое использование и испытание производится параллельно, особенно на пилотируемых КА.

Одной из основных задач навигационно-баллистического обеспечения космических полетов (КП) является оценивание параметров поступательного движения ЛА по результатам внешнетраекторных измерений.

Определение скоростных параметров КА методом скользящего численного дифференцирования

Для некоторых типов измерительных средств алгоритмом оценивания параметров движения ЛА, аналогичных рассмотренному выше, не представляется возможным, в том случае, если измеряются координатные параметры, а определяются скоростные параметры движения (например $\mathcal{G}_{xzz}, \mathcal{G}_{yzz}, \mathcal{G}_{zzz}$). В

этих случаях для получения оценок $\hat{D}, \hat{\gamma}, \hat{\alpha}$ можно воспользоваться методом скользящего численного дифференцирования результатов измерений D, γ, α . Рассмотрим суть этого метода на примере произвольного измеряемого параметра y скалярного вида.

Пусть y_i – расчетное значение координатного параметра y в момент времени t_i , причем интервал дискретности $\Delta t = t_{in} - t_i = const$. $z_i = y_i + h_i$ – результат измерения этого параметра со случайной ошибкой h_i , дисперсия

которой постоянна $\sigma_n^2 = const$ и известны. Измерения полагаются некоррелированными.

Требуется численным дифференцированием определить производную \hat{y}_i (скоростной параметр) с максимально возможной в данных условиях.

Для решения сформулированной задачи оценки скоростных параметров воспользуемся идеей разложения функции в ряд по степеням аргумента (ряд Тейлора) и рассмотрим временную последовательность $y_1, y_2, \dots, y_{i-1}, \dots, y_i, \dots, y_{i+1}, y_{k-1}, y_k$, как показано на рисунке 3.

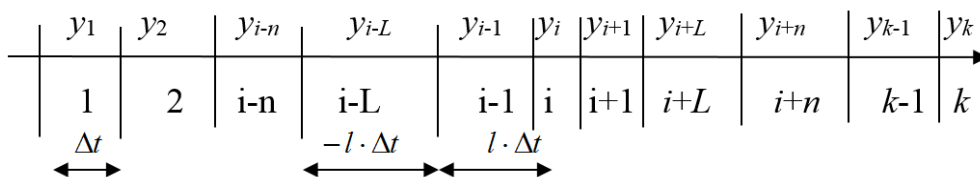


Рисунок 3 – Структура разложения функции в ряд по степеням

Для произвольных моментов времени t_{i-1}, t_{i+1} можно записать

$$\begin{cases} y_{i+1} = y_i + y_i^{(1)} \cdot (l \cdot \Delta t) + \frac{1}{2!} y_i^{(2)} \cdot (l \cdot \Delta t)^2 + \frac{1}{3!} y_i^{(3)} \cdot (l \cdot \Delta t)^3 + \dots \\ y_{i-1} = y_i - y_i^{(1)} \cdot (l \cdot \Delta t) + \frac{1}{2!} y_i^{(2)} \cdot (l \cdot \Delta t)^2 - \frac{1}{3!} y_i^{(3)} \cdot (l \cdot \Delta t)^3 + \dots \end{cases}$$

Вычитая из первого уравнения второе, получим

$$y_{i+1} - y_{i-1} = 2 \cdot \dot{y}_i \cdot (l \cdot \Delta t) + \frac{2}{3!} y_i^{(3)} \cdot (l \cdot \Delta t)^3 + \dots$$

Откуда

$$\dot{y}_i^{(1)} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2l \cdot \Delta t} - \frac{1}{3!} y_i^{(3)} \cdot (l \cdot \Delta t)^2 - \dots$$

Отбросив второе и последующие слагаемые, в первом приближении можно записать

$$\dot{y}_i \approx \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2l \cdot \Delta t} \tag{1}$$

с погрешностью, описываемой остаточным членом

$$\nu_i^{(l)} = \frac{1}{3!} \left| y_i^{(3)\max} \right| \cdot (l \cdot \Delta t)^2 \tag{2}$$

где

$$\left| y_i^{(3)\max} \right| = \max \left\{ \left| y_{i-1}^{(3)} \right|, \left| y_i^{(3)} \right|, \left| y_{i+1}^{(3)} \right| \right\}.$$

Так как истинные значения координатного параметра y в формуле (1) неизвестны, то в качестве оценки скоростного параметра \dot{y} в момент времени t можно принять

$$\hat{y}_i^{(l)} = \frac{z_{i+l} - z_{i-l}}{2l \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Проанализируем случайные составляющие ошибки оценивания. Точность получения оценки вида (3) характеризует дисперсия

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{y}_i^{cp}}^2 &= D\{\hat{y}_i^{(l)}\} = \frac{1}{4(l \cdot \Delta t)^2} \cdot [D\{z_{i+l}\} + D\{z_{i-l}\}] = \\ &= \frac{2\sigma_h^2}{4(l \cdot \Delta t)^2} = \frac{\sigma_h^2}{2(l \cdot \Delta t)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

По формуле (3) могут быть получены $l=1, \dots, n$ оценок и найдена средневзвешенная оценка с весами, обратно пропорциональными дисперсиям (4) т.е.

$$\hat{y}_i^{cp} = \frac{\sum_{l=1}^n \omega_l \cdot \hat{y}_i^{(l)}}{\sum_{l=1}^n \omega_l}, \quad (5)$$

где $\omega_l = \frac{1}{\sigma_{\hat{y}_i^{(l)}}^2}$ – вес l -ой оценки.

Точность такой средневзвешенной оценки (5), в свою очередь, характеризуется дисперсией:

$$\sigma_{\hat{y}_i^{cp}}^2 = D\{\hat{y}_i^{cp}\} = \frac{1}{\left(\sum_{l=1}^n \omega_l\right)^2} \cdot \sum_{l=1}^n \omega_l^2 \cdot \sigma_{\hat{y}_i^{(l)}}^2 \quad (6)$$

Из анализа формулы (6) следует, что с увеличением числа привлекаемых опытных данных n дисперсия средневзвешенной оценки (5) скоростного параметра уменьшается по нелинейному закону, что является очевидным с точки зрения математической статистики. Однако здесь речь идет лишь о случайной составляющей ошибки оценивания. Вместе с тем существует и методическая составляющая, обусловленная отбрасыванием остаточного члена разложения в ряд Тейлора (2), и она должна возрастать с увеличением числа n , поскольку пропорциональна квадрату интервала.

Анализ алгоритмов оценивания параметров поступательного движения ЛА по результатам внешнетраекторных измерений

Задачи, связанные с определением и анализом неуправляемого движения КА вне атмосферы по результатам измерений, решаются в целях:

- прогнозирования движения КА;

- уточнение используемых математических моделей движения (ММД);
- исследование процесса функционирования системы отделения ЛА от ракеты-носителя и др.

В силу большой важности перечисленных проблем этими задачами стали заниматься практически с моментов первых запусков КА и начала летных испытаний РСН и до настоящего времени они остаются наиболее распространенными задачами экспериментальной баллистики, хотя методы их решения за прошедшие годы претерпели существенное изменение, так как значительно увеличилось число типов КА, сменилось несколько поколений ЭВМ и существенно изменились возможности вычислительной техники, возросли требования к точности прогнозирования движения, появились качественно новые подходы к исследованию околоземного пространства с помощью ИСЗ (например, уточнение структуры гравитационного поля Земли посредством анализа возмущенного движения спутников) и т.д.

В принципе, для орбитального участка траектории полета ЛА характерны те же самые вопросы, которые были присущи управляемому движению: восстановление опытной траектории ЛА по результатам ВТИ, идентификация параметров ММД (характеристик ЛА и среды полета) и др., однако разрешаются они принципиально иными способами. Это обуславливается, с одной стороны, свойствами модели движения ЛА вне атмосферы, а с другой стороны, особенностями процесса измерений на орбитальном участке. Известно, например, что вне атмосферы можно отдельно рассматривать поступательное движение ЦМ и угловое движение ЛА относительно ЦМ, причем структуры этих моделей изучены с достаточно высокой степенью подробности.

Для решения задач прогнозирования полета ЛА на орбитальном участке достаточно знания начальных условий поступательного движения или постоянных параметров орбиты, поэтому задача определения движения ЛА не представляет особых сложностей в методологическом отношении, так как сводится к классической задаче оценивания начального состояния динамической системы и использует при этом только ВТИ. Задача анализа вращательного движения ЛА по результатам ТМИ, выглядит еще проще, поскольку эти измерения получаются в ходе прямых наблюдений интересующих нас параметров. Однако здесь должна быть предварительно решена проблема наблюдаемости искомых параметров по конкретному составу измерений.

Алгоритмы оценивания начальных условий орбитального движения ЛА на основе метода наименьших квадратов

Известно, что для оценивания начального состояния линейных ДС с помощью МНК используются алгоритмы вида

$$\hat{x}_0 = (\Phi^T W \Phi)^{-1} \cdot \Phi^T W \bar{Z}, \quad (7)$$

где \bar{x}_0 – вектор начальных условий; \hat{x}_0 – его оценка, получаемая по результатам измерений \bar{Z} ; Φ – матрица функций влияния (частная производ-

ная от измеряемых параметров \bar{y} по определяемым параметрам \bar{x}_0)

$$\Phi = \left[\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{x}_0} \right]; W - \text{весовая матрица.}$$

В частном случае, когда известна ковариационная матрица ошибок измерений K_h (закон распределения ошибок при этом может быть и не задан), получаем алгоритм так называемого обобщенного метода наименьших квадратов, где $W = K_h^{-1}$;

$$\hat{x}_0 = (\Phi^T K_h^{-1} \Phi)^{-1} \cdot \Phi^T K_h^{-1} \bar{Z}, \quad (8)$$

по структуре совпадающей с алгоритмом ММП при нормальном законе распределения случайных ошибок измерений.

В практических ситуациях довольно часто полагают ошибки измерений некоррелированными, а их дисперсии известными величинами (они определяются в начале по паспортным данным измерительного средства, а затем уточняются в ходе измерительного процесса). С этой точки зрения непосредственное использование формулы (18) было бы корректным при оценивании НУ движения ЛА или параметров его орбиты вне атмосферы, если бы ММД имела линейную структуру, однако как уравнения, описывающие полет ЛА, так и уравнения измерений нелинейные, т.е.

$$G: \bar{X}(t) = \bar{F}(\bar{x}_0, t),$$

$$S: \bar{y}(t) = \bar{\varphi}(\bar{x}, t) = \bar{\varphi}(\bar{F}(\bar{x}_0, t); t) = \bar{\varphi}(\bar{x}_0, t)$$

Следовательно, прямое применение алгоритма (18) будет давать в общем случае большую методическую ошибку, обусловленную погрешностью линеаризации ММД ЛА и уравнений функционирования измерительной системы.

Возвращаясь к исходной формуле записи критерия ОМНК

$$\alpha_{\text{ОМНК}} = [\bar{Z} - \bar{\varphi}(\hat{x}_0)]^T \cdot K_h^{-1} \cdot [\bar{Z} - \bar{\varphi}(\hat{x}_0)] \rightarrow \min \quad (9)$$

заметим, что имеем дело с классической задачей нелинейного программирования на экстремум (минимум) функции нескольких переменных, т.е.

$$\hat{x}_0^{\text{онм}} = \arg \min \alpha(\bar{x}_0).$$

К решению подобных задач существует два основных подхода.

1. Непосредственное отыскание экстремальной точки поверхности отклика, описанной многомерной функцией $\alpha(\hat{x}_0)$.

2. использование необходимых условий экстремума функции нескольких переменных $\frac{\partial \alpha}{\partial \hat{x}_0} = 0$ – функциональный подход.

Если критериальная функция дифференцируема (как это имеет место в МНК), то оба подхода приводят к вычислительным процедурам примерно одинаковой сложности, которые представляют собой процесс последовательных приближений (уточнений задаваемого приближения).

При решении задач экспериментальной баллистики наиболее удобной оказалась итерационная процедура Гаусса-Ньютона, реализующая первый подход. Применительно к задаче оценивания НУ движения ЛА она выглядит следующим образом:

Шаг 1. Задается «нулевое» приближение НУ движения ЛА, например, их расчетные значения $\hat{x}_0^{(0)} := \bar{x}_0^p, l_i = 0$

Шаг 2. Рассчитываются элементы матрицы функций влияния $\Phi_{(l)}$ при значениях $\hat{x}_0^{(l)}$ $\Phi_{(l)} = \left[\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{x}_0} \right]_{\bar{x}_0 = \hat{x}_0^{(l)}}$

Шаг 3. Вычисление невязки l -го цикла: $\Delta \bar{Z}_{(l)} = \bar{Z}^* - \bar{y}(\hat{x}_0^{(l)})$

Шаг 4. Определяется поправка к предыдущему приближению искомого вектора НУ с применением формулы вида (18):

$$\Delta \hat{x}_0^{(l)} = (\Phi_{(l)}^T K_h^{-1} \Phi_{(l)})^{-1} \cdot \Phi_{(l)}^T K_h^{-1} \Delta \bar{Z}_{(l)}$$

Шаг 5. Уточняется предыдущее приближение: $\hat{x}_0^{(l+1)} = \hat{x}_0^{(l)} + \Delta \hat{x}_0^{(l)}$

Шаг 6. Проверяются условия окончания процесса последовательных уточнений НУ, например, если выполнены одновременно все неравенства $|\Delta \hat{x}_{0j}^{(l)}| < \varepsilon_{kj} \quad (j = \overline{1, n})$, то считается, что НУ движения ЛА определены с заданной точностью ε_{xj} . Более простым условием выхода может служить неравенство вида $\alpha_{(l)}^{ocm} = \Delta \bar{Z}_{(l)}^T K_h^{-1} \Delta \bar{Z}_{(l)} < \varepsilon_\alpha$. При невыполнении условий выхода из итерационного процесса, $l := l + 1$ и осуществляется переход к пункту В.

Возможны модификации процедуры, когда $\Phi_{(l)}$ уточняется не на каждом цикле итерационного процесса.

Особенности реализации алгоритма метода наименьших квадратов

Накопленный опыт практического применения алгоритма МНК в задачах экспериментальной баллистики позволил выявить ряд особенностей его реализации в условиях нелинейных задач оценивания. Отметим некоторые из них.

1. Итерационный процесс поиска оптимального решения не является, безусловно сходящимся, причины его расходимости весьма разнообразны (большая погрешность задания начального приближения, топологические особенности поверхности отклика, неадекватность математических моделей

движения ЛА и условий опыта и др.); причем область устойчивой работы алгоритма оценивания, как правило, удастся определить лишь экспериментальным путем.

2. Для обеспечения нормальной работы алгоритма требуется построение и использование специальной процедуры выявления аномальных результатов измерений (и их обработки), к которым МНК весьма чувствителен.

3. Алгоритм МНК, реализованный в задачах оценивания начальных условий орбитального движения, рассчитан на применение высокопроизводительных ЭВМ (специализированных или универсальных), так как количество циклов итерационного процесса может превышать 10. Характерно, что при обработке результатов наблюдений за КА (ИСЗ) число итераций уменьшается от витка к витку вследствие постепенной отбраковки аномальных результатов. Значительное количество машинного времени на каждом цикле расходуется на обращение матрицы Грама и, особенно на вычисление элементов матрицы функций влияния. Иногда ее элементы «замораживают» на несколько циклов, но такой подход может привести к затягиванию вычислительного процесса в результате ухудшается сходимости.

4. В ряде задач матрица функций влияния может быть получена в аналитическом виде. Это легко заметить, если воспользоваться ее разложением

$$\Phi = \left[\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{x}_0} \right] = \left[\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{x}} \right] \cdot \left[\frac{\partial \bar{x}}{\partial \bar{x}_0} \right] = \dot{I} \cdot M \quad (20)$$

где $\dot{I} = \left[\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{x}} \right]$ – так называемая измерительная матрица, элементами которой являются частные производные от измеренных параметров по текущим значениям параметров движения. Как правило, зависимость $\bar{y} = \bar{\varphi}(\bar{x}, t)$ имеет, конечно-аналитическую форму, поэтому вид частных производных может

быть определен заранее; $M = \left[\frac{\partial \bar{x}}{\partial \bar{x}_0} \right]$ – матрицант движения (матрица частных

производных от текущих параметров движения по начальным условиям) для некоторых схем полета (Галилея, Кеплера, ...) также может быть получена в аналитическом виде.

Выводы

На основе анализа накопленного опыта практического применения алгоритма метода наименьших квадратов в задачах экспериментальной баллистики выявлен ряд особенностей его реализации в условиях нелинейных задач оценивания. прямое применение алгоритма обобщенного метода наименьших квадратов будет давать в общем случае большую методическую ошибку, обусловленную погрешностью линеаризации математических моделей движения летательного аппарата и уравнений функционирования измерительной системы. Для обеспечения нормальной работы алгоритма требуется построение

ние и использование специальной процедуры выявления аномальных результатов измерений (и их обработки).

Литература

1. Артюшенко В.М., Васильев Н.А., Аббасова Т.С. Комплекс полунатурного моделирования систем автоматического управления летательных аппаратов и ракетно-космической техники // Современные образовательные технологии, используемые в очном, заочном и дополнительном образовании / Сборник // Королев МО: Изд-во «Канцлер». Финансово-технологическая академия. ФТА. 2014. С. 17-22 (426 с.).
2. Кучеров Б.А. Адаптация мощности земных станций узловой сети узловой сети спутниковой связи при работе в стволе с прямой ретрансляцией // Двойные технологии. № 1. 2015. С. 53 - 58.
3. Аббасова Т.С., Комраков А.А. Восстановление и проверка корректности телеметрических данных // Информационно-технологический Вестник. № 2(04). 2015. С. 55-64.
4. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Кучеров Б.А. Повышение эффективности систем спутниковой связи путем оптимизации параметров земных станций // Радиотехника. 2015. № 2. С. 76-82.
5. Артюшенко В.М. Исследование параметров модели потока ошибок в дискретных каналах связи // Вопросы региональной экономики. № 1(6). 2011. С. 96-107.
6. Аким Э.Л., Энеев Э.Л. Определение параметров движения космического летательного аппарата по данным траекторных измерений // Космические исследования. Т. 1 Вып. 1. 1963. С. 5-50.
7. Комраков А.А. Унификация программного обеспечения для декомпозиции телеметрических данных // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 5-3. С. 71-74.
8. Белюченко И.М., Зиновьев В.Н., Стрэналюк Ю.В., Самаров К.Л. Анализ электромагнитной совместимости излучающих радиосистем малого радиуса действия в системах сбора телеметрической информации // Двойные технологии. № 4. 2014. С. 6-9.
9. Ступнев В.Ю., Комраков А.А. Система информационного сопровождения изделий на этапе проведения опытно-конструкторских работ // Труды МАИ. 2011. № 45. С. 65.

УКД 629.782

**Элементы искусственного интеллекта, информационные средства
и роботы как ключевые составные части
дистанционно-кибернетического оружия**

Г.Г. Вокин, д.т.н., профессор, зав. базовой кафедрой
«Управление и информационные технологии в космических системах»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В статье излагаются общие принципы построения и приводятся характерные особенности дистанционно-кибернетического оружия как оружия нового класса, основанного на совместном использовании при его создании широкого спектра ключевых элементов, технологий и новых научно-технических решений из различных областей науки и техники.

Дистанционно-кибернетическое оружие, принципы построения, элементы искусственного интеллекта, технологии и технические решения, информационные средства, варианты оснащения, функционально-боевой потенциал, сценарии применения, ожидаемый эффект, этапы создания.

Elements of artificial intelligence, information means and robots as key components remote-cyber weapon

G.G. Vokin, Doctor of Technical Sciences Head of the basic department
«Management and Information Technologies in Space Systems»,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The article outlines the general principles of construction and describes the characteristic features of remote-cybernetic weapons as weapons of a new class based on the joint use in the creation of a broad spectrum of key elements, technologies and new scientific and technical solutions from various fields of science and technology.

Remote cyber weapons, principles of construction, elements of artificial intelligence, technologies and technical solutions, information tools, equipment options, functional and combat potential, application scenarios, expected effect, stages of creation.

Введение

Спустя почти 12 лет после окончания второй мировой войны маршал Советского Союза Г.К. Жуков, выступая 4 февраля 1957 года в городе Утака-мунд перед слушателями штабного колледжа вооруженных сил республики Индии, опираясь на свой уникальный полководческий опыт, сказал: «У меня

часто спрашивают о характере войны будущего: будет ли применяться ядерное оружие, какую роль в будущих войнах будут играть сухопутные, военноморские и военно-воздушные силы?» Чтобы ответить на эти вопросы, «... надо прозорливо смотреть в будущее, не быть в плену у опыта минувшей войны, не исходить из данных, которые соответствовали условиям прошлой войны и которые, очень возможно, не будут соответствовать требованиям и обстановке новой войны». Вещие и справедливые слова, содержание и смысл которых также актуальны в настоящее время, как и 58 лет назад. Эти мысли должны безусловно оставаться методологическим руководством в практической деятельности по обеспечению безопасности страны и в настоящее время.

Новые научно-технические достижения и разрабатываемые на их основе новые технологии, как правило, служат основой для совершенствования традиционных видов оружия или создания новых средств поражения, обладающих более широкими функциональными возможностями и позволяющих более эффективно решать тактические и стратегические задачи. Можно не сомневаться, что только научные достижения и изобретения на их основе в области военной техники сделают нападение на нашу Родину невозможным.

1. Зачем необходимо иметь наукоёмкое оружие. Элементы искусственного интеллекта, информационные средства и роботы – в образцы ракетно-космического вооружения. Дистанционно-кибернетическое оружие (ДКО) – новый класс оружия будущего

Как показывает анализ, будущие военные столкновения и войны – это, во многом, войны не только моторов, как говорили раньше, а это – войны с широким использованием интеллектуализированных и робототизированных средств поражения (боевых роботов), а также интеллектуализированных пространственно-распределенных систем военного и двойного назначения, управляемых военными специалистами. Это – не предположение, это – тенденция перспектив развития средств поражения, поэтому к такому направлению развития вооружений следует готовиться заблаговременно.

Опираясь на результаты военно-технического анализа и обобщая их с учетом современных научно-технических достижений и требований к перспективным средствам поражения, автор предпринял попытку сформулировать основные принципы построения и способы применения оружия нового класса, которое названо дистанционно-кибернетическим оружием (ДКО). При этом ДКО рассматривается как продукт синергетического использования прорывных научно-технических инноваций в качестве интеллектуальной основы для создания перспективных средств поражения нового класса. Под дистанционно-кибернетическим оружием понимаются главным образом средства поражения, возможности и уровень характеристик которых во многом определяется использованием новейших кибернетических, а также промышленных технологий. При этом ключевыми технологиями, обеспечивающими достижение упомянутых характеристик средств поражения, являются, как показывает анализ, прежде всего, технологии создания и применения широкого спектра малогабаритных и высокочувствительных датчиков, работающих на раз-

личных физических принципах и использующих при обработке и анализе измерительной информации наряду с математическими методами и элементы искусственного интеллекта.

В отличие от традиционных классов оружия носители дистанционно-кибернетического оружия в район цели доставляют не классические снаряды, бомбы, головные части, боевые блоки, мины и т.п.; упомянутые носители доставляют боевые роботы, образно говоря, роботы-истребители. Говоря иными словами, одним из самых важных отличительных свойств дистанционно-кибернетического оружия является то обстоятельство, что оно «стреляет» интеллектуализированными боевыми роботами (боеприпасами), поэтому ДКО – это оружие качественно нового класса, оружие с принципиально новыми и расширенными функциональными и боевыми возможностями.

В боевых роботах к основным составным частям традиционных средств поражения добавляются интеллектуализированные средства и подсистемы, обеспечивающие выполнение целого ряда функций по адаптивному поведению средств поражения ДКО в районе цели (доразведка и распознавание целей, поиск наиболее уязвимых частей целей, обход зон противодействия и препятствий, принятие решения на подрыв заряда и т.д.), что направлено, в конечном итоге, на повышение эффективности и надежности поражения цели зарядами возможно меньшей мощности, причем, в первую очередь, зарядами в обычном оснащении. По замыслу, в перспективе, конструкции платформ боевых роботов должны обеспечивать роботам возможность, в зависимости от назначения, в районе цели летать, перемещаться по поверхности земли или плавать в надводном и подводном положениях.

ДКО – это оружие нового класса с новыми функционально-боевыми возможностями. Принципы его построения основаны на синергетическом использовании новых научно-технических решений, элементов искусственного интеллекта, измерительных и информационных технологий широкого спектра. Средства поражения ДКО могут доставляться в район целей разного рода носителями на малые, средние и большие дальности, могут быть многофункциональными, а также самыми высокоэффективными при решении даже трудновыполнимых боевых задач в силу их уникальных качеств, свойств и функционально-боевых возможностей.

2. Принципы построения, основные составные части ДКО и возможные сценарии ее применения

В статье в качестве примера излагаются принципы построения и способы боевого применения этого оружия, в частности, для варианта базирования на ракетах, как наиболее трудного для реализации варианта, хотя платформы базирования – пусковые установки могут располагаться на авиационных и морских носителях, а также на сухопутных мобильных и стационарных средствах.

Ставшие уже по существу классическими боевыми блоками (ББ) -ББ баллистического типа, которыми оснащены отечественные ракеты стратегического назначения, способны эффективно поражать в основном только ста-

ационарные цели с точно известными координатами (шахтные пусковые установки, военные базы, города и т.п.). На траектории полета к цели ББ этого типа все время находятся в поле зрения средств обзора систем противодействия, а при входе в зону досягаемости огневых средств противодействия могут быть поражены с очень высокой вероятностью. На пути к цели ББ баллистического типа должны преодолеть в общем случае до 7 потенциальных рубежей перехвата (космический рубеж, три яруса системы ПРО, систему ПВО и две системы активной защиты). В связи с этим ББ баллистического типа не способны в должной мере вывести из строя основной ядерный потенциал вероятного противника. Дело в том, что, например, более 80 % ядерного потенциала США находится на мобильном базировании (подводные лодки, самолеты, крылатые ракеты, боевые корабли), причем координаты этих целей могут быть известны в лучшем случае только с точностью до района базирования. Многие цели находятся в местах, закрытых по баллистическим траекториям подхода (обратные склоны горной местности, каньоны и т.п.). Из этих обстоятельств можно сделать вывод о том, что лишить противника ядерного потенциала очень затруднительно (даже ракеты в шахтных пусковых установках вряд ли удастся поразить, так как они уйдут в первую очередь), при этом остаются по существу под прицелом только крупные города и стационарные объекты (военные базы, арсеналы, крупные гидростанции и т.п.). Конечно, для противника даже такая ситуация неприемлема, несмотря на то, что при использовании противником внезапной агрессии, внезапного ядерного удара или обезоруживающего удара обычными средствами, мы будем лишены возможности нанести в полном объеме неприемлемый для противника ответный удар.

По современным концепциям боевые действия должны быть такими, чтобы можно было уничтожить стратегическое оружие противника и его важнейшие объекты военного и гражданского назначения дистанционно и лучше с применением только неядерных средств поражения, причем со своей территории.

Как видно из этого краткого анализа, с помощью боевых блоков баллистического типа задачи уничтожения ядерного потенциала противника решить не удастся, особенно, если число отечественных ББ будет резко сокращено (в соответствии с договорами СНВ-2 и СНВ-3) и будут усилены системы ПРО и ПВО потенциальных противников.

Выходом из создавшегося положения может явиться создание и использование крылатых боевых блоков, которые обладают предельно высокой точностью попадания (вплоть до прямого попадания, поэтому возможно эффективное использование обычных ВВ), способны доразведывать и поражать стратегические цели с неточно известными координатами, могут обходить зоны обзора и зоны досягаемости огневых средств ПРО и ПВО, а также поражать цели, закрытые по баллистическим траекториям подхода. Конечно, при этом не исключается возможное противодействие со стороны противника выполнению этих функций. Следует отметить, что в дальнейшем изложении в качестве идейно-теоретической основы будут использованы подходы и прин-

ципиальные научно-технические решения, изложенных в работах [1, 3-6,8], а также в других источниках информации [2, 7].

Крылатый ББ состоит из теплозащитного корпуса (ТЗК), по форме близкого к традиционному ББ, внутри которого находится крылатый боевой субблок (КБСБ) со сложными крыльями. КББ в общем случае должен быть оснащен боевым зарядом (ядерным или обычным); двигательной установкой (например, воздушно-реактивным двигателем с определенным запасом топлива), инерциальной системой управления в сочетании с космической навигационной системой «Глонасс» и с подсистемами коррекции по рельефу, оптическим и радиолокационным картам местности; системой терминального самонаведения по излучениям и системой доразведки целей по аномалиям, создаваемых ими на фоне подстилающей поверхности. КББ могут быть выполнены как в моноблочном исполнении, так и устанавливаться в разделяющуюся головную часть. В зависимости от состава структуры КБСБ по функциональному назначению могут быть разных вариантов: автономно-универсальные, ударные, разведывательно-информационные и т.д., что показано на рисунке 1. Полет к цели осуществляется следующим образом (рис.2).

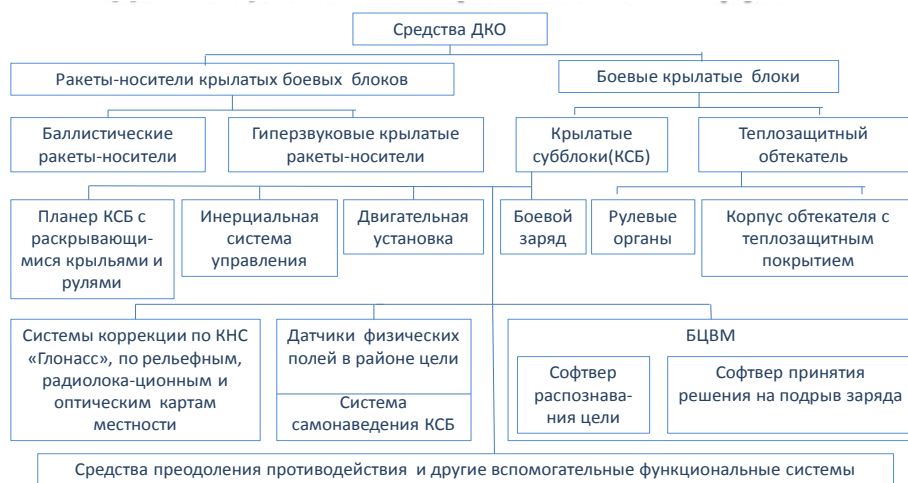


Рисунок 1 – Структурный состав средств дистанционно-кибернетического оружия

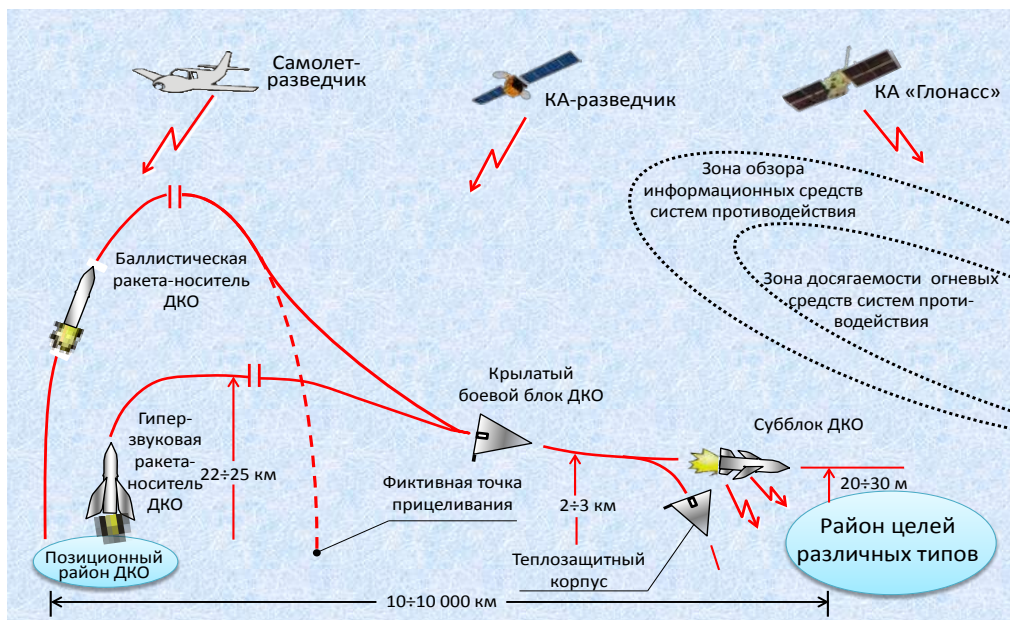


Рисунок 2 – Варианты возможных траекторий полета средств ДКО к районам целей, расположенных на малых, средних и больших дальностях

Стратегическая ракета запускается, например, со стационарной или подвижной пусковых установок в направлении цели с неизвестной для противника точкой прицеливания, расположенной до подхода к цели и к зонам досягаемости огневых средств противодействия, либо в стороне от них. С помощью рулевых щитков боевой блок переводят на горизонтальный полет на высоте 2-3 км, после спада скорости до дозвуковой отделяют днище ТЗК и с помощью пиротолкателей выводят КБСБ из ТЗК, раскрывают крылья, запускают двигатель и включают все подсистемы системы управления. Крылатый боевой субблок выходит из ТЗК холодным и летит с дозвуковой скоростью, поэтому могут работать все системы, корректирующие инерциальную систему. Упомянутые подсистемы коррекции используют внешнюю информацию в районе цели (оптические и радиолокационные карты местности и рельефа; магнитные, радиационные, химические и др. аномалии). КБСБ может лететь на малой высоте (20-30 м) с огибанием рельефа с высокой точностью, может подойти к цели с любого направления и вне поля зрения средств обзора. Система «Глонасс», оптические и радиолокационные системы коррекции позволяют обеспечить управление с точностью 10-20м, конечно при наличии заблаговременно подготовленных эталонных карт (с помощью космических снимков такие карты синтезировать технически реализуемо), а системы терминального самонаведения по излучению или по образу цели могут обеспечить по существу прямое попадание в цель (с ошибкой не более 3-5 м). Доразведка цели, координаты которой известны с точностью до района базирования (на-

пример, квадрат барражирования подводной лодки может составлять порядка $100 \times 100 \text{ км}^2$), осуществляется путем полета по траектории поиска (например, по галсам или по спирали). Стратегические цели, даже сильно замаскированные, в том числе и подводные лодки, создают на фоне окружающей среды большое число демаскирующих признаков, которые можно получить на малом расстоянии и использовать для распознавания целей. Например, применительно к обнаружению подводных лодок один или несколько КББ могут разбросать акустические радиобуи, а после обнаружения ожидающий (барражирующий) КББ с зарядом может поразить подводную лодку.

Кроме того, для обнаружения подводной лодки могут быть использованы датчики её магнитных полей и паразитных радиоизлучений электротехнической аппаратуры, а также датчики электромагнитной разведки, позволяющие обнаружить большие металлические массы. Упомянутые датчики могут базироваться как на борту КББ -разведчика, так и входить в состав аппаратуры радиобуя. Надо отметить также, что функции субблока существенно шире, а также намного шире состав подсистем системы управления, включая подсистемы доразведки целей, распознавания и принятия решений по поражению их с использованием элементов искусственного интеллекта.

Следует отметить также, что КББ могут быть доставлены в заданный упрежденный район спуска как описанным способом, так и с помощью планирующих сверхзвуковых летательных аппаратов с малым аэродинамическим сопротивлением, летящих основную часть пути к цели в атмосфере на значительных высотах (в зависимости от варианта, на высотах 20-25 км или 70-80 км). По замыслу такие аппараты будут обнаруживаться наземными станциями целеуказаний ПРО на более близком расстоянии от цели, хотя на таких трассах полета они подвержены более легкому поражению средствами ПРО и ПВО на еще достаточно большом расстоянии от цели.

Крылатые ББ обладают очень широкими функциональными возможностями как по типам траекторий полета, так и по видам решаемых задач. Обеспечивается это, с одной стороны, за счет использования аэродинамических возможностей схемы планера, а, с другой, – в результате использования высокоинтеллектуализированной системы управления, которая может использовать информацию различной физической природы как на подходе к цели, так и в непосредственной близости от цели или непосредственно от цели. При создании КББ в полном объеме могут быть использованы все технологические достижения (в частности, применена технология «стелс», использованы неметаллические материалы для изготовления элементов конструкции субблока и т. п.) по обеспечению малой его видимости (или резко сниженной видимости) на экранах радиолокаторов средств обзора систем противодействия. КББ могут при соответствующем дооснащении выполнить и другие такие функции, как создание на дальних подступах к нашим границам рубежей перехвата нападающих крылатых ракет, самолетов и надводных кораблей. Не исключается, что при оснащении КББ соответствующими средствами пора-

жения, например, ракетами с тепловыми головками самонаведения, возможно обеспечить на большом расстоянии от точки старта высокоточное поражение на марше бронетанковой, артиллерийской и мотострелковой техники. Кроме того, КББ, оснащенные радиоголовками самонаведения, могут быть использованы для выведения из строя радиолокационных средств обзора объектовых систем ПРО и ПВО противника с использованием обычных зарядов. Как показывает анализ перспектив реализации технических возможностей КББ, их можно использовать также и в качестве разведывательных средств на дальних расстояниях, оснастив их разного рода разведывательными датчиками и системой передачи данных (вместо заряда), поставляющей информацию потребителю, например, через спутниковые системы. Не исключается в перспективе дистанционное управление КББ по корректируемым траекториям из некоторого центра управления. Однако, это уже более отдаленная перспектива, выходящая за рамки выдвигаемой технологии.

Крылатые боевые блоки, по-видимому, можно отнести к прообразу будущего оружия. Они могут решать боевые задачи стратегического уровня на межконтинентальных дальностях от точки старта и представляют собой по существу летающие роботы, при этом высокоточная доставка заряда к объекту поражения по адаптивным аэробаллистическим траекториям полета обеспечивается с помощью высокоинтеллектуализированной системы управления, при реализации которой целесообразно использовать практические результаты теории искусственного интеллекта. КББ позволяют таким образом решать задачи как стратегического, так и тактического характера на большом расстоянии и со своей территории, не входя в непосредственное боевое соприкосновение с противником, что соответствует современным тенденциям организации вооруженной борьбы.

При конверсионной доработке КББ могут быть использованы также для доставки средств спасения людям, терпящим бедствие в отдаленных труднодоступных районах земного шара (координаты которых могут быть известны неточно, например, с точностью до района, из которого приняты сигналы бедствия), когда время выживания людей может быть значительно меньше времени подлета самолета или подхода корабля [5].

3. О вариантах функциональных возможностей и состава боевого оснащения средств поражения ДКО

В предыдущем подразделе были изложены принципы построения крылатых боевых блоков и их субблоков, предназначенных для боевого оснащения ракет стратегического назначения, а также подходы к их применению для вывода из строя труднопоражаемых стратегических целей.

В последующем изложении концептуально рассматриваются аспекты обобщения, развития и использования предложенных средств для решения более широкого круга задач.

Обобщая ранее изложенное о КББ и рассматривая его в перспективе развития, можно утверждать, что принципы построения КББ и субблоков мо-

гут быть основой для формирования средств поражения нового класса – средств дистанционно-кибернетического оружия.

Как показывает анализ военных конфликтов последних десятилетий, создание такого класса оружия является весьма актуальным, потому что с помощью ДКО различные виды и рода войск могут более эффективно решать свои боевые задачи с использованием обычных (неядерных) зарядов на больших расстояниях и со своей территории без боевого соприкосновения с противником наших войск и боевой техники, управляемой людьми, если во главу угла поставить парадигму бесценности человеческой жизни. Для гуманного нормального общественного строя такая позиция имеет бесспорные основания, тем более что в этом случае исключается крайне нежелательный ядерный конфликт. Можно предположить, что в перспективе в военных конфликтах серьезные боевые задачи будут выполнять, в первую очередь, дистанционно управляемые людьми автоматизированные боевые роботы или аналогичные средства.

К важным отличительным признакам и свойствам ДКО следует отнести, прежде всего, физически предельно быструю и предельно высокую точность (вплоть до прямого попадания) доставки зарядов средств поражения к целям, в том числе и к труднопоражаемым целям, расположенным на малых, средних или больших дальностях, на основе использования сверхзвуковых носителей (баллистического или аэродинамического типов), обеспечивающих доставку в район цели крылатых боевых блоков и их субблоков, оснащенных двигательной установкой, кибернетизированной (интеллектуализированной) системой управления, использующей для обеспечения высокой точности навигации и доразведки (распознавания) целей внешнюю информацию в районе цели, получаемую датчиками, работающими на различных физических принципах действия; при этом субблоки снабжены соответствующими аппаратно-программными средствами обработки информации, предназначенными для распознавания целей почти в реальном масштабе времени и принятия решения на подрыв заряда, как правило, с обычным ВВ, а также оснащены другими необходимыми обеспечивающими средствами и подсистемами.

Следует особо подчеркнуть, что как показывает научно-технический анализ возможностей теории и практики управления летательными аппаратами, предельно высокая скорость доставки зарядов и предельно высокая точность их доставки – по существу не совместимы. Предельно высокую точность доставки технически возможно обеспечить только на относительно малых скоростях субблоков в районе цели. Это означает, что после полёта на предельно больших скоростях надо перейти к меньшим, в частности, к дозвуковым скоростям.

Надо особо отметить также, что хотя дистанционно-кибернетическое оружие должно быть оснащено, как правило, неядерными зарядами, но в силу обеспечения высокой точности и повышенных возможностей преодоления систем противодействия (за счет полета на малой высоте с огибанием рельефа и принятия мер по обеспечению малой площади эффективной поверхности

рассеивания субблоков) с его помощью можно успешно решать задачи как стратегического характера, так и оперативно-тактического, учитывая, что ядерное оружие – это, главным образом, оружие сдерживания. В связи с этим целесообразно искать пути эффективного решения всех боевых задач с применением только обычных зарядов. Как показывает анализ, такие пути и научно-технические решения имеются, о чем свидетельствует, в частности, настоящее предложение. Но при этом надо подчеркнуть, что безъядерные средства, не обладающие предельно высокой точностью попадания (первые десятки метров или прямое попадание) вообще не могут эффективно решать стратегические задачи. В большой степени это касается и задач оперативно-тактического характера. Поэтому одним из ключевых требований к средствам ДКО является обеспечение высокой точности попадания.

Операции, выполняемые крылатыми субблоками как прообразами или вариантами средств дистанционно-кибернетического оружия, имеют далеко идущие аналогии с действиями лётчика, пилотирующего небольшой маневренный самолет в районе цели на малой высоте на дозвуковой скорости, поэтому правомерно считать, что средства ДКО – это по существу боевые летающие роботы. В данном случае автоматизируются действия лётчика. Есть основания считать, что в настоящее время такие научно-технические возможности автоматизации боевых средств имеются как в конструкторско-техническом, алгоритмическом, приборном, так и в аппаратно-программном обеспечении. Примеры решения подобных частных задач имеются. Достаточно обратиться к научно-техническим достижениям в авиации, космонавтике и робототехнике. Кстати, это в полной мере касается и наземного вооружения, которым можно управлять также дистанционно. Как показывает научно-технический анализ, крылатыми субблоками в перспективе возможно управлять дистанционно по аналогии с тем, как управляли луноходами и марсоходами.

К наиболее характерным вариантам функционального назначения крылатых субблоков ДКО следует отнести (рис. 3 и 4):

- разведывательно-информационные субблоки, оснащенные, в первую очередь, информационными датчиками доразведки целей и передатчиками информации заинтересованным потребителям, а также оснащенных сбрасываемыми маяками для последующего наведения ударных субблоков и сторожевыми датчиками (типа камер наблюдения);

- субблоки с функциями доразведки целей и выброса маяков (с излучением в радио или оптическом диапазонах электромагнитных волн), а также с функциями установки долговременных сторожевых датчиков (типа камер наблюдения), сбрасываемых с борта субблока;

- ударные субблоки, оснащенные, в первую очередь, зарядом повышенной мощности, системой самонаведения по излучениям или по образу цели в радио или оптическом диапазонах электромагнитных волн и барражирующие в ожидании сигнала об обнаружении цели;

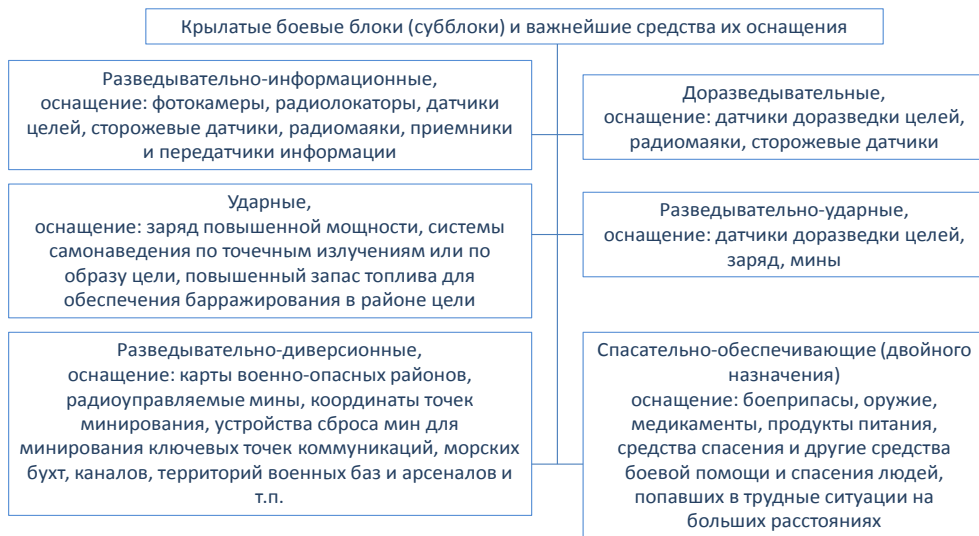


Рисунок 3 – Варианты функционального назначения крылатых боевых блоков дистанционно-кибернетического оружия

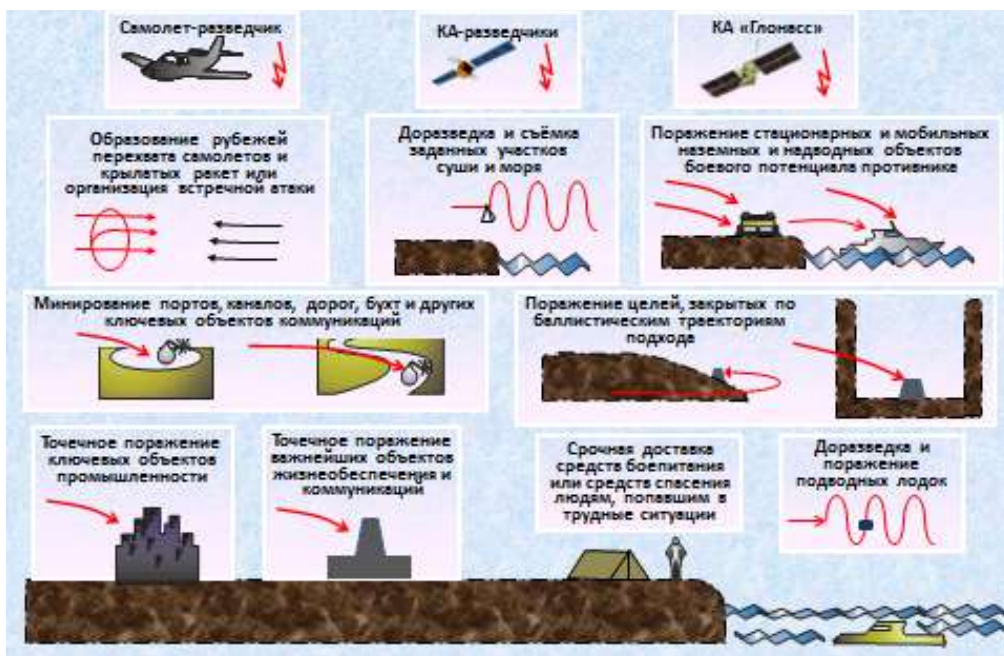


Рисунок 4 – Варианты возможных боевых операций крылатых субблоков ДКО в районах целей различных типов, расположенных на малых, средних и больших дальностях

- разведывательно-ударные субблоки, оснащенные средствами доразведки целей и зарядами, а также, при необходимости и минами. Разновидно-

стью таких субблоков могут быть блоки без несущих поверхностей, но оснащенные управляющими поверхностями (рулями). Примером таких средств могут служить уже существующие управляемые ракеты и бомбы с самонаведением на цели, в частности, на излучающие цели;

- разведывательно-диверсионные, оснащенные картографической информацией и разного рода минами, в том числе и радионаправляемыми или сторожевыми, могут обеспечить поражение ключевых точек коммуникаций, морских бухт, каналов, территорий баз и арсеналов и т.п.;

- спасательно-обеспечивающие (или двойного назначения), оснащенные в зависимости от потребностей боеприпасами, оружием, медикаментами, продуктами питания, средствами спасения и другими средствами боевой помощи и спасения людей, попавших в трудные ситуации.

Следует особо указать на одно из важнейших условий функционирования субблоков в районе целей. А именно, для района целей должны быть в наличии заблаговременно полученные цифровые топографические, оптические и радиолокационные карты местности, которые будут использованы при подготовке полетных заданий в зависимости от потребностей. В связи с этим следует особо подчеркнуть, что упомянутые вопросы картообеспечения окрестностей целей в ожидаемых оперативных районах и подготовка полетных заданий для субблоков и их реализация являются наиболее трудными вопросами создания дистанционно-кибернетического оружия. Космическая навигационная система «Глонасс» является большим подспорьем, но этого недостаточно.

Доставка средств ДК-оружия в район цели может обеспечиваться баллистическими или крылатыми сверхзвуковыми носителями как по одиночке (моноблочные варианты), так и по несколько штук одновременно одним носителем (групповые варианты). Хотя упомянутые средства доставки – это другой и отдельный вопрос, тем не менее, отметим, что научно-технические возможности их создания сомнений не вызывают. При этом следует добавить, что в зависимости от назначения субблоков для их перемещения в воздухе могут быть использованы, в частности, вертолётная или парашютная схемы, а также схема дирижабля. Для перемещения в водной среде или по земной поверхности могут быть успешно использованы традиционные схемы передвижения.

4. Об основных преимуществах ДКО и ожидаемом военно-техническом эффекте при применении в его составе ключевых элементов

Как следует из предыдущего изложения, к преимуществам и возможностям средств поражения ДКО следует отнести:

– физически предельно быструю доставку зарядов к целям в сочетании с предельно высокой точностью (вплоть до прямого попадания);

– рациональное использование свойств и возможностей сверхзвуковых ракет (баллистического или аэродинамического типов) и дозвуковых крылатых летательных аппаратов;

– повышение возможностей преодоления систем противодействия;

- обеспечение возможностей доразведки и распознавания целей;
- доставку зарядов к труднопоражаемым целям и к целям с неточно известными координатами;
- доставка зарядов к точечным целям, расположенных на малых, континентальных и межконтинентальных дальностях;
- обеспечение заинтересованных потребителей информацией об объектовой обстановке в заданном районе Земли;
- обеспечение возможностей обхода зон обзора информационных средств и зон досягаемости огневых средств систем противодействия противника;
- возможности стационарного и мобильного базирования средств ДКО;
- возможности введения средств ДКО в системы вооружения всех видов и родов Вооруженных сил;
- возможности получения боевыми субблоками разведывательной и навигационной информации в районе цели от космических, навигационных и других средств;
- срочную доставку относительно легких боеприпасов, оружия или средств спасения людям, попавшим в трудные ситуации на значительных расстояниях и в труднодоступной местности.

Как показывает военно-технический анализ, ожидаемый эффект является многомерным и обладающим уникальным боевым потенциалом. Его исключительно высокий уровень определяют такие составляющие, как:

- высокая точность попадания, вплоть до прямого попадания, при обеспечении минимального возможного времени доставки КББ в район цели;
- использование неядерных зарядов для эффективного поражения стратегически важных объектов;
- доразведка и поражение стационарных и мобильных целей, координаты которых известны с точностью до района базирования;
- поражение целей, закрытых по баллистическим траекториям подхода;
- обеспечение функционирования субблоков КББ вне зоны обзора информационных средств и зон досягаемости огневых средств системы противодействия;
- поражение целей на малых, континентальных и межконтинентальных дальностях средствами ДКО различной номенклатуры;
- благоприятные условия для работы средств системы управления; систем коррекции по рельефным, радиолокационным, оптическим картам местности и по КНС «Глонасс»; системы самонаведения; датчиков и информационных средств системы доразведки;
- принципиальные возможности оснащения средствами ДКО всех видов и родов войск с целью более эффективного решения ими своих специфических боевых задач.

5. Проблемные научно-технические вопросы создания ДКО и его составных частей

При организации исследований и проработок целесообразно рассмотреть, в первую очередь, следующие вопросы:

– определение класса боевых задач, рационально решаемых средствами ДКО. Обоснование оперативно-стратегических, тактических и военно-технических требований к средствам ДКО. Определить роль и место средств ДКО в системе вооружений Вооруженных сил;

– разработка предложений и научно-технических решений по баллистическому и военно-техническому обоснованию возможностей доставки крылатых боевых блоков в район целей на малые высоты. Формирование требований к носителям и к КББ (по перегрузкам, в частности) как робототизированным средствам поражения;

– исследование научно-технических возможностей создания планеров КББ и субблоков, доставляемых в район целей различными носителями (баллистическими, гиперзвуковыми и дозвуковыми), обладающими возможностями высокоточной навигации, доразведки и распознавания целей, самонаведения на цели в условиях противодействия, а также обладающих расширенными функциональными возможностями боевых роботов;

– исследование аномалий (признаков), создаваемых целями на фоне окружающей среды и определение состава приборных средств и требований к ним для измерения аномалий. Исследование путей создания систем доразведки и распознавания различных целей по информационным признакам различной физической природы с борта КББ и субблоков. Разработка нейрокомпьютерных алгоритмов распознавания целей в темпе текущего времени по аномалиям физических полей целей на фоне окружающей среды при комплексировании информации различной физической природы;

– разработка способов подготовки полётных заданий для носителей и КББ (субблоков) как средств поражения ДКО;

– исследование путей и технологии создания баз данных о крупномасштабных картах физических полей Земли для стратегически важных участков суши;

– разработка военно-научных сценариев применения ДКО. Оценка ожидаемой боевой эффективности средств ДКО. Оценка ожидаемых уровней тактико-технических характеристик основных составных частей ДКО;

– разработка, проектирование, изготовление, отработка и испытания вариантов средств поражения ДКО и их подсистем и составных частей.

Заключение

В итоге рассмотрения есть основания заключить, что дистанционно-кибернетическое оружие – это эффективное, в первую очередь, безъядерное оружие предупреждения, упреждения, сдерживания и возмездия, нужное нашей стране в настоящее время и тем более в будущем. Еще более эффективно ДКО в ядерном оснащении, при этом мощности заряда будут требоваться как

минимум на много порядков меньшими по сравнению, например, с зарядами типовых боевых блоков ракет стратегического назначения.

Есть основания отметить также, что наряду с повышением боевых возможностей Вооруженных сил страны разработки средств ДКО будут способствовать развитию конструкторской мысли по созданию новых образцов вооружения, подготовки цифровых карт физических полей Земли (карт рельефа местности, фотоснимков в оптическом диапазоне, снимков в радиодиапазоне и т.п.) для стратегически важных районов; широкому использованию возможностей информатизации, автоматизации и интеллектуализации (кибернетизации) вооружений, совершенствованию средств высокоточной навигации, датчиковой аппаратуры, алгоритмов распознавания, способов скоростной обработки и передачи больших массивов информации, средств суперкомпьютерной вычислительной техники, а также будут способствовать расширению функциональных возможностей средств поражения в сочетании с повышением их боевой эффективности и т.д. В целом процесс создания ДКО может серьезно оживить военно-научные и военно-технические исследования и будет способствовать внедрению новейших научных достижений в военную технику с целью повышения ее боевой эффективности. Тем более, что, как показывает всесторонний анализ, научно-технический задел, производственный и кадровый потенциал в нашей стране имеется. Остается последовать завету выдающегося конструктора вертолётов М.Л. Миля: «... всё или многое уже изобретено, осталось – сделать».

Литература

1. Вокин Г.Г. Ракетное дистанционно-кибернетическое оружие как продукт синергетического использования прорывных технологий в качестве интеллектуальной основы для создания перспективных средств поражения нового класса // Труды XXXIII Академических чтений по космонавтике, секция 11, «Наукоемкие технологии в ракетно-космической технике». М. 2014г.
2. Фаличев О. Военные роботы избавляются от чужеродных элементов // Военно-промышленный курьер. № 20 (586). 2015.
3. Вокин Г.Г. Ракета спешит на помощь // Армейский сборник. № 6. 2001.
4. Вокин Г.Г. О международной ракетно-космической «скорой помощи» людям и объектам, терпящим бедствие в отдалённых необжитых районах земного шара, с использованием беспилотных летательных аппаратов // Авиакосмическая техника и технология. № 1. 2009г.
5. Вокин Г.Г. Способ экстренной доставки средств спасения людям (объектам), попавшим в экстремальные условия и терпящим бедствие в удалённых безлюдных районах земного шара с неточно известными координатами, и аэробаллистическая система для его осуществления. Патент №2076759 с приоритетом от 8.02.1993г. Комитет Российской Федерации по патентам и товарным знакам. 1997.

6. Вокин Г.Г. Развитие ракетных спасательных средств (от древних ракет до современных аэробаллистических систем). Тезисы докладов на XXIII-х Академических чтениях по космонавтике // Москва. 1999.
7. Милованова Л. «Мухобойка» для Пентагона (о способах борьбы с беспилотниками); Безнадзорные беспилотники // Военно-промышленный курьер. № 32 (598). 2015.
8. Вокин Г.Г. Дистанционно-кибернетическое оружие: принципы построения и функциональные возможности // Армейский сборник. № 8. 2015.

УДК 531.771

**Бортовой преобразователь сигналов индукционных датчиков
числа оборотов ИС-1165М1 с повышенной помехоустойчивостью**

Ю.Б. Горбаткин, заместитель начальника отдела,

В.А. Чернышев, начальник группы,

С.С. Севостьянов, ведущий инженер,

А.В. Гладков, инженер,

Акционерное общество «Научно-производственное объединение
измерительной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королев

Статья посвящена разработке вторичного преобразователя измерения числа оборотов турбонасосных агрегатов ракетных двигателей. В статье рассмотрен принцип действия индукционного датчика числа оборотов. Предложен способ формирования выходных импульсов из сигналов индукционных датчиков числа оборотов, который заключается в предварительном интегрировании сигналов датчика числа оборотов. Данный способ позволяет повысить достоверность и точность формирования сигналов индукционных датчиков числа оборотов, а также повысить помехозащищенность вторичного преобразователя и существенно увеличить динамический диапазон измерения числа оборотов. Приведены данные летных испытаний разработанного вторичного преобразователя.

Турбонасосный агрегат, число оборотов, вольт-секундная площадь, помехоустойчивость, надежность.

**On-board converter of signals of inductive sensors of speed IS-1165M1
with increased noise immunity**

Y.B. Gorbatkin, Deputy Head of Department,

V.A. Chernyshev, Head of the group,

S.S. Sevostyanov, Lead Engineer,

A.V. Gladkov, Engineer,

Stock company «Scientific-production Association measuring equipment»
(SC «SP AME»), Korolev

The article is devoted to the development of a secondary converter for measuring the speed of turbo-pump aggregates of rocket engines. The principle of the induction speed sensor is considered in the article. A method is proposed for generating output pulses from signals of induction speed sensors, which consists in the preliminary integration of the signals of the speed sensor. This method allows to increase the reliability and accuracy of the formation of signals of induction speed sensors, as well as to increase the noise immunity of the secondary converter and significantly increase the dynamic range of measuring the speed. The data of flight

tests of the developed secondary converter are given.

Turbo-pump unit, number of revolutions, volts-second area, noise immunity, reliability.

В настоящее время основным отечественным тяжелым носителем для вывода на околоземную орбиту спутников различного назначения является ракета-носитель (РН) «Протон-М». В последнее время произошло несколько аварий РН «Протон-М», после которых проводилось расследование причин дефектов, призванное предотвратить их повторное появление при дальнейшей эксплуатации изделия. При анализе аварийных пусков РН главную роль в выявлении причин отказов играет телеметрическая информация о работе основных агрегатов РН в течение пуска. Одними из основных телеметрических параметров РН «Протон-М» является число оборотов турбонасосных агрегатов (ТНА) жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Измерение числа оборотов ТНА вместе с траекторными измерениями позволяет определять энергетические характеристики ЖРД, диагностировать причины возникновения отклонений в их работе и контролировать работу ЖРД в процессе полета РН на активной части траектории. Кроме того, измерение числа оборотов ТНА имеет важное значения при стендовой отработке и натурных испытаниях ЖРД.

Для измерения числа оборотов ТНА на РН «Протон-М» используется система, состоящая из индукционного датчика числа оборотов (ИДО), вторичного преобразователя ИС-1165М и телеметрической системы. Основным элементом преобразователя ИС-1165М, определяющим качество его функционирования, является входной формирователь импульсов (ФИ). ФИ осуществляет преобразование сигнала индукционных датчиков числа оборотов (ИДО) в прямоугольные (имеющие достаточно крутые фронты) импульсы той же частоты, что и сигнал ИДО, с амплитудой, обеспечивающей их сопряжение с последующей электронной схемой. В качестве формирователя используется компаратор с фиксированным порогом, величина которого достаточно велика, чтобы обеспечить необходимую помехоустойчивость преобразователя. При входных сигналах, амплитуда которых меньше величины порогового напряжения ИС-1165М перестает работать, т.к. при снижении числа оборотов ТНА пропорционально уменьшается амплитуда сигнала ИДО. Это существенно снижает его динамический диапазон. Кроме того, преобразователь ИС-1165М не имеет защиты от импульсных (длительность которых меньше длительности импульсов, формируемых ИДО) помех. Для решения задачи по увеличению динамического диапазона и повышению помехоустойчивости был разработан новый вторичный преобразователь ИС-1165М1, исследованию которого посвящена настоящая работа. Вторичный преобразователь ИС-1165М1 (рисунок 1) предназначен для преобразования выходных сигналов четырех ИДО в нормализованные импульсные сигналы, согласованные по уровням и длительности с входами бортовой системы телеизмерений. ВП ус-

пешно прошел, летные испытания и в настоящее время входит в состав штатной системы телеизмерений второй и третьей ступеней. ВП обеспечивает измерение числа оборотов турбонасосных агрегатов (ТНА) четырех маршевых двигателей второй ступени (параметры ОТ21 – ОТ24), а также маршевого (параметр ОТ31) и рулевого (параметр ОTR31) двигателей третьей ступени (на одном изделии устанавливаются два ВП по одному на второй и третьей ступени).



Рисунок 1 – Внешний вид преобразователя ИС-1165М1

ВП работает в комплекте с ИДО, чувствительным элементом которого является катушка с магнитным сердечником. Вал ротора контролируемого ТНА имеет вставку (индуктор) из магнитомягкого материала. При вращении вала индуктор периодически проходит мимо торца близко расположенного ИДО, вызывая изменение магнитного потока, пронизывающего обмотку. При этом в обмотке индуцируется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная скорости изменения магнитного потока, сцепленного с обмоткой, и числу витков обмотки. ЭДС имеет форму импульса, близкую к единичному периоду синусоиды: при входе индуктора в магнитное поле, создаваемое магнитом ИДО, в обмотке индуцируется первая полуволна сигнала, а при его выходе - вторая полуволна, имеющая противоположную полярность [1]. Важное свойство сигнала ИДО состоит в том, что интеграл от ЭДС по времени (вольт-секундная площадь), вычисленный на длительности полуволны импульса, есть величина постоянная, слабо зависящая от частоты сигнала ИДО. При этом абсолютные значения вольт-секундных площадей обеих полуволн практически одинаковы. На рисунке 2 приведена форма выходного сигнала ИДО типа ИС-386.



Рисунок 2 – Форма выходного сигнала датчика числа оборотов ИС-386

ВП преобразовывает выходные импульсы ИДО в прямоугольные импульсы нормализованной длительности и амплитуды. Для исключения влияния на работу ВП импульсных помех применяется предварительное интегрирование положительной полуволны сигнала ИДО и подачу на вход порогового устройства (ПУ) проинтегрированного сигнала. При интегрировании вклад импульсной помехи уменьшается во столько раз, во сколько ее длительность меньше длительности сигнала ИДО. Кроме того, поскольку вольт-секундная площадь импульса есть величина практически постоянная, уровни срабатывания ПУ также могут быть постоянными. А благодаря постоянству вольт-секундной площади величина уровня срабатывания ПУ может быть установлена близкой к амплитуде проинтегрированного сигнала, что также обеспечивает повышение помехоустойчивости.

Измерение вольт-секундной площади осуществляется с помощью управляемого интегратора, который представляет собой операционный усилитель, в цепь обратной связи которого включены соединенные параллельно емкость и электронный ключ. Интервал интегрирования задается подаваемым на ключ прямоугольным импульсом, который, в свою очередь, формируется с помощью компаратора, на вход которого подается сигнал ИДО. Для исключения влияния постоянной составляющей выход интегратора периодически обнуляется. Для формирования опорного напряжения порогового устройства осуществляют интегрирование отрицательной полуволны импульса, запоминание амплитуды получающегося импульса с помощью пикового детектора в виде постоянного напряжения и подачу его через делитель напряжения на вход порогового устройства [2].

Рисунки 3 и 4 иллюстрируют работу ВП при наличии во входном сигнале гармонической помехи и белого шума.

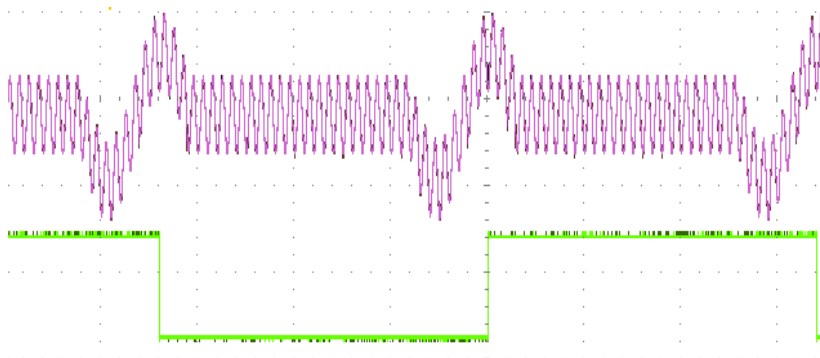


Рисунок 3 – Гармоническая помеха (вверху – входной сигнал, внизу – выходной)

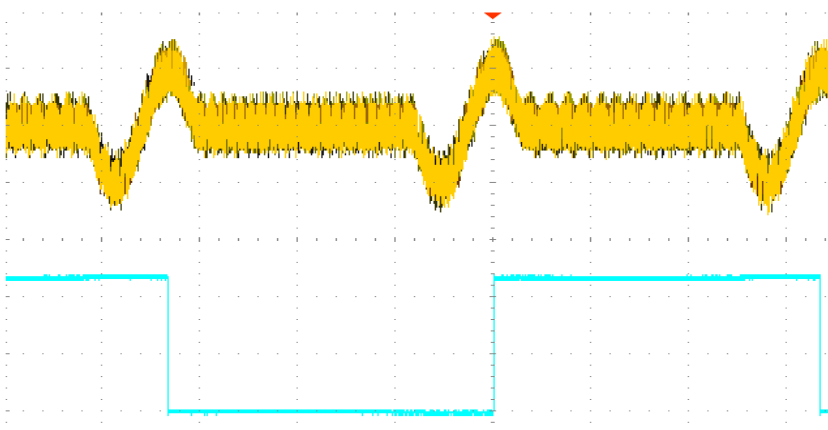


Рисунок 4 – Помеха в виде белого шума (вверху – входной сигнал, внизу – выходной)

ВП имеет схему сигнализации обрыва цепи «ИДО-ВП». В состоянии, когда ИДО подключен к МП, но полезный сигнал отсутствует (вал не вращается), на выходе ВП формируется последовательность импульсных сигналов прямоугольной формы положительной полярности с частотой (10 ± 1) Гц и скважностью $1,1 \pm 0,05$. В состоянии, когда ИДО отключен от МП, либо линия связи «ИДО-ВП» оборвана, формируется последовательность импульсных сигналов прямоугольной формы положительной полярности с частотой (10 ± 1) Гц и скважностью (10 ± 1) . Электрическая схема каждого канала размещена на отдельной ячейке. В ВП используются только отечественные электроприборы.

Основные характеристики ВП ИС-1165М1 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики

Наименование характеристики, единица измерения	Численное значение
Количество каналов преобразования	4
Диапазон рабочих частот, Гц	10...700
Минимальная допустимая амплитуда входных импульсов, мВ	50
Минимальная вольт-секундная площадь, В·мкс	50
Отношение частоты входного сигнала к частоте выходного сигнала	2, 64, 128, 256
Способ задания коэффициента деления частоты входного сигнала	кроссировка
Форма выходных импульсов	меандр
Амплитуда выходных импульсов, В	1,8...4,2
Потребляемый ток, мА	≤200
Габаритные размеры (с кроссировочной розеткой), мм	148 × 131 × 123
Масса, кг, не более	1,45
Вероятность безотказной работы в течение 30 мин	0,9999
Назначенный ресурс, ч	200
Назначенный срок службы, лет	15

Летные испытания (ЛИ). Результаты анализа телеметрической информации, полученной на пуске изделия:

3 Последовательность изменения параметров выходного сигнала ВП при раскрутке (рисунок 5) и останове ТНА свидетельствует о нормальной работе схемы сигнализации обрыва цепей «ИДО-ВП».

4 Измеренные по сигналам ВП частоты оборотов ТНА двигателей второй и третьей ступеней соответствуют штатным (расчетным) значениям.

5 Характер изменения числа оборотов ТНА, измеренного по выходному сигналу ВП, соответствует характеру изменения параметров изделия, зависящих от оборотов ТНА. На рисунках 6 и 7 приведены графики изменения параметров ОТР31 (число оборотов ТНА рулевого двигателя третьей ступени) и ОПНР31 (давление окислителя на выходе насоса рулевого двигателя третьей ступени) на участке аварийного завершения работы третьей ступени изделия.

По результатам ЛИ было проведено сравнение чувствительности ВП и преобразователя-прототипа ИС-1165М. Для этого измерялись длительности интервалов времени Δt от начала останова ТНА двигателей второй ступени до прекращения формирования выходных сигналов. Границы интервалов определялись по графикам параметров ОТ21-ОТ24. На рисунке 8 приведен график изменения параметра ОТ21 для ИС-1165М, на рисунке 9 – параметра ОТ21 для ИС-1165М1. На рисунке 8 видны всплески, обусловленные ложными срабатываниями из-за помех, на рисунке 9 ложные срабатывания отсутствуют.

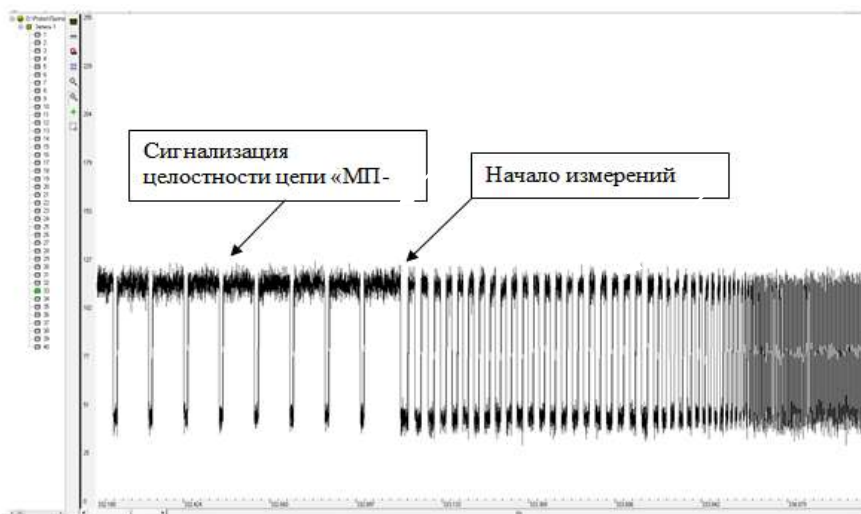


Рисунок 5 – Форма выходного сигнала ВП при раскрутке ТНА

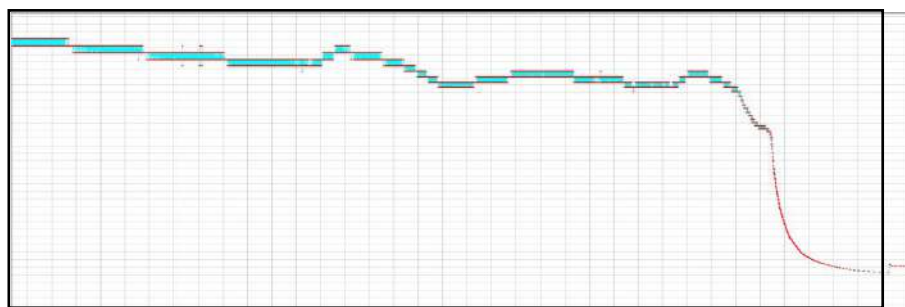


Рисунок 6 – Изменение числа оборотов ТНА аварийного рулевого двигателя третьей ступени (ОТР31)

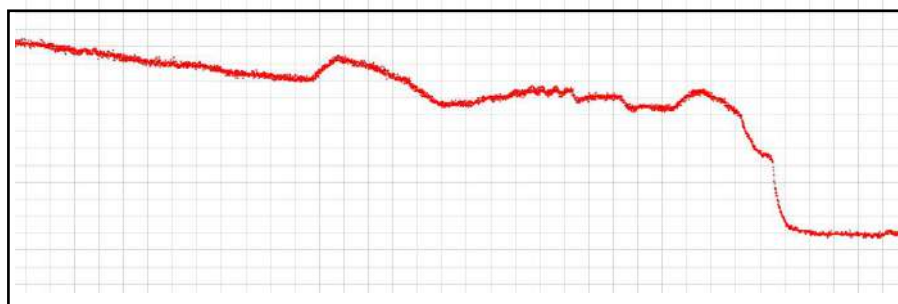


Рисунок 7 – Изменение давления окислителя на выходе насоса аварийного рулевого двигателя третьей ступени (ОПНР31)

Результаты измерений интервалов времени Δt приведены в таблице 2.

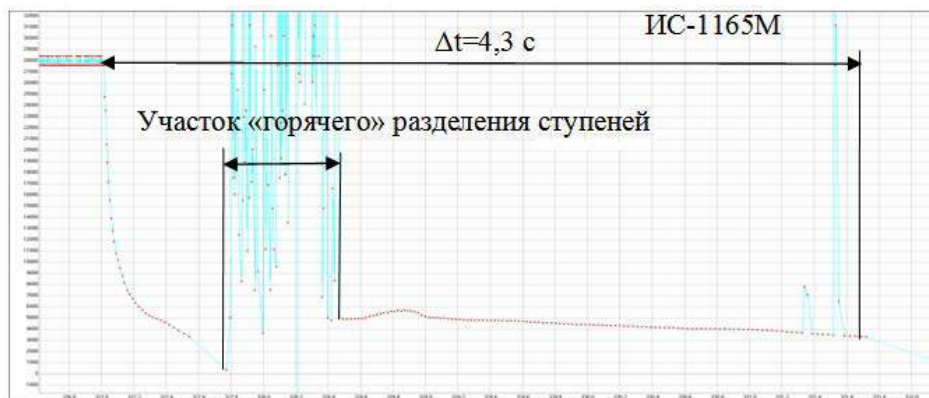


Рисунок 8 – Изменение параметра OT21 при останове ТНА двигателя второй ступени по данным преобразователя-прототипа ИС-1165М



Рисунок 9 – Изменение параметра OT21 при останове ТНА двигателя второй ступени по данным преобразователя ИС-1165М1

Таблица 2 – Сравнение чувствительности преобразователей ИС-1165М и ИС-1165М1

Параметр	Длительность интервала времени между началом останова ТНА и окончанием работы преобразователя, Δt, с	
	ИС-1165М (изд. 93542)	ИС-1165М1 (изд. 93545)
OT21	4,3	10,6
OT22	4,7	15,5
OT23	3,5	15,9
OT24	4,7	11
Минимальное значение	3,5	10,6
Максимальное значение	4,7	15,9
Среднее значение	4,3	13,3

Из таблицы 2 следует, что среднее значение интервала Δt для МП составляет 13,3 с, что более чем в 3 раза превышает аналогичное значение для МП (4,3 с). Это свидетельствует о более высокой чувствительности МП по сравнению с преобразователем-прототипом: минимальная частота, измеряемая МП, составляет ~ 600 об/мин, т.е. 10 Гц (по техническому заданию – 60 Гц), а преобразователем ИС-1165М ~ 3300 об/мин (55 Гц).

Выводы

1. Преобразователь сигналов индукционных датчиков числа оборотов ИС-1165М1 обладает высокой чувствительностью, помехоустойчивостью и по основным параметрам превосходит преобразователь-прототип ИС-1165М.

2. На основе преобразователя ИС-1165М1 целесообразно разработать модификации с выходными сигналами, пропорциональными числу оборотов (напряжение, ток, параллельный и/или последовательный код).

Литература

1. Датчики тепловых и механических параметров: Справочник: В 1 т. / Общ. ред. акад. Ю.Н. Коптева // М.: Ред. журн. «Радиотехника». 1998. 52 с.
2. Мурашко Н.А. и др. Способ формирования импульсов из сигналов индукционных датчиков частоты вращения // патент РФ №2352058, приор. 09.10.2007, МПК H03K 5/153.

УДК 338.45:62-192

Технико-экономический анализ мероприятий по повышению надёжности сложных систем

И.Г. Панин, директор КБ Химмаш им. А.М. Исаева – филиала ФГУП «ГНКПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королев, Московская область,
Е.К. Волкова, кандидат экономических наук, главный эксперт АО «ЮниКредитБанк», Москва,
К.В. Щурин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техника и технологии», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», г. Королев, Московская область

Разработана комплексная методика технико-экономического анализа надёжности сложных технических систем как совокупности основных составляющих надёжности – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Выделены отдельные расчётные факторы, на основе которых возможно создание адекватной комплексной математической модели, учитывающей стадии формирования, реализации и расхода надёжности в контексте интегрирующей модели оптимизации, основанной на сохранении назначенного уровня показателей надёжности на всех стадиях жизненного цикла изделия.

Показатели надёжности, экономическая эффективность, учитываемые факторы, риск потери надёжности, удельные затраты.

Techno-economic analysis of activities to improve the reliability of complex systems

I.G. Panin, Director of KB Himmash them. A.M. Isaev – branch of federal state unitary enterprise «GNKPC them. M.V. Khrunichev», Korolev, Moscow region,
E.K. Volkova, PhD, Senior expert UNICREDIT GROUP «UniCredit Bank», Moscow,
K.V. Shchurin, doctor of technical sciences, Professor, the head of «technology», State budget institution higher education, State Educational Institution of Higher Education Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Developed a comprehensive methodology for the techno-economic analysis of the reliability of complex technical systems as a set of basic components reliability – reliability, durability, serviceability and persistence. Highlights the individual calculation factors, on the basis of which it is possible to create an adequate integrated mathematical model which takes into account the stages of creation, imple-

mentation and consumption of reliability in the context of integrating optimization model based on maintaining a designated level of performance reliability at all stages of the product life cycle.

Indicators of reliability, economic efficiency considerations, risk of loss of reliability, unit costs.

Надежность – это свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах все параметры, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации. Надёжность – интегральный показатель любого изделия, включающий внутренние комплексные показатели – безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Проблема обеспечения надёжности – одна из первоочередных при создании и эксплуатации сложных технических систем (СТС) [1, 2].

Надёжность является важнейшим многофакторным показателем качества продукции, и в международных стандартах её формулировка – «Надёжность – это качество, распределённое во времени». Надёжность СТС формируется и закладывается в процессе её проектирования и изготовления, расходуется при её использовании по назначению и поддерживается путем реализации системы технической эксплуатации. На всех перечисленных этапах необходима организация процесса управления надёжностью машины, причем при принятии любого ответственного решения должны быть учтены его технико-экономические последствия. С учётом того, что показатели надёжности являются подмножеством показателей качества СТС, методика экономического анализа эффективности мероприятий по повышению надёжности концептуально основана на методологии экономического анализа качества [3, 4].

Недостаточно высокие показатели надёжности влекут за собой потери, обусловленные убытками от простоев, производством чрезмерно большого количества запасных частей, повышенными затратами на все виды технических обслуживаний и ремонтов, необходимостью изготовления новых машин взамен преждевременно списанных. СТС всегда изготавливались в расчете на некоторый достаточный для практических целей период экономически эффективного использования. Все эти обстоятельства обуславливают высокую меру ответственности при разработке и реализации инженерных и экономических решений на всех этапах жизненного цикла СТС – конструирования и испытаний, технологического обеспечения и производства, эксплуатации и утилизации.

На этапе ОКР показатели надёжности повышают, как правило, с использованием принципа избыточности, устанавливая различные коэффициенты запаса, применяя резервирование основных элементов, и др. Границы использования принципа избыточности устанавливаются с помощью экономических критериев, поскольку неосторожное использование этого принципа приводит к недопустимому увеличению размеров, веса, стоимости и других показателей, вследствие чего повышение показателей надёжности системы

приводит к снижению других показателей технического уровня.

Таким образом, повышение показателей надёжности СТС должно осуществляться с учетом экономической целесообразности, так как границы повышения показателей надёжности определяются в конечном итоге не только совокупностью желаемых технических параметров, но и во многом - их экономической эффективностью. Это объясняется тем, что современный уровень развития техники и технологий позволяет достичь предельно высоких показателей надёжности изделия, и все дело сводится к оценке и возможности обеспечения затрат на достижение поставленной цели. Эти затраты могут быть столь высоки, что эффект от повышения надёжности объекта не возместит их, и суммарный результат от проведенных мероприятий будет отрицательным.

Во многих ситуациях реализация мероприятий по повышению надёжности может и не требовать существенных затрат, а достигаться, например, методами оптимизации. Но и в этом случае необходимо проводить сравнение различных вариантов достижения требуемого уровня надёжности по условию получения наибольшего суммарного экономического эффекта с учетом затрат в сферах производства и эксплуатации объекта и того положительного экономического эффекта, который дает его использование по назначению. В общем случае изменение во времени суммарного экономического эффекта при эксплуатации объекта складывается под влиянием двух основных факторов, что наглядно иллюстрируется рисунком 1.

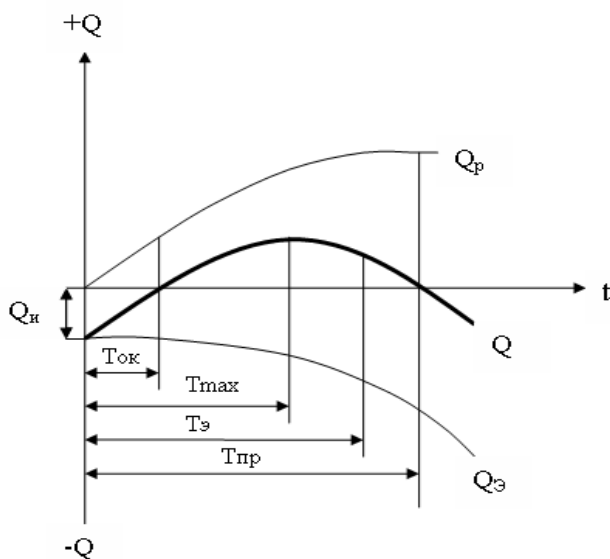


Рисунок 1 – Изменение экономической эффективности машины во времени

С одной стороны, необходимо учитывать *затраты на изготовление*

нового объекта Q_u , включая его проектирование, изготовление, испытание, отладку, транспортировку к месту работы и другие затраты, а также *затраты на эксплуатацию* $Q_э$, включая техническое обслуживание, ремонт, профилактические мероприятия. Эти затраты $Q_u + Q_э$ являются отрицательными в балансе эффективности. С другой стороны, работа объекта дает *положительный экономический эффект* Q_p (прибыль) в зависимости от его целевого назначения.

Изменение $Q_э$ в функции времени имеет тенденцию к возрастанию по абсолютной величине, поскольку снижение потенциала работоспособности элементов объекта приводит к необходимости вкладывать все большие средства для восстановления утрачиваемых свойств. Изменение Q_p во времени, наоборот, имеет тенденцию к уменьшению интенсивности роста, так как более частые простои объекта в ремонте и техническом обслуживании снижают его производительность.

Поэтому кривая суммарной эффективности (1) имеет максимум и дважды пересекает ось абсцисс t :

$$Q(t) = Q_u + Q_э(t) + Q_p(t) \quad (1)$$

При возрастании Q период времени до $t = T_{ок}$, при котором $Q_u + Q_э = Q_p$, будет являться сроком окупаемости вложенных средств. Начиная с этого момента, объект приносит прибыль. Однако прирост полученного эффекта постепенно снижается из-за возрастания эксплуатационных затрат до $t = T_{np}$, когда снова $Q_u + Q_э = Q_p$. При t , превышающем T_{np} , затраты на эксплуатацию больше того экономического эффекта, который может быть обеспечен. Длительность экономически целесообразной эксплуатации объекта $T_э$ находится в диапазоне между T_{max} и предельным сроком службы T_{np} : $T_{max} < T_э < T_{np}$.

Выбор варианта машины с позиций надёжности должен определяться сравнением затрат на изготовление и эксплуатацию объекта с тем экономическим эффектом, который он сможет обеспечить.

Экономический показатель надёжности $K_э$ определяется как отношение суммы всех затрат, связанных с изготовлением Q_u и эксплуатацией $Q_э$ объекта к длительности его эксплуатации $T_э$ (2):

$$K_э = \frac{Q_u + Q_э}{T_э} \quad (2)$$

Следует стремиться к минимизации этого показателя за счет рационального распределения капиталовложений между сферами производства и эксплуатации.

Затраты на изготовление нового объекта складываются из двух величин (3):

$$Q_u = Q_n + Q_u, \quad (3)$$

где Q_n – постоянные затраты, не зависящие от требований надёжности;

Q_n – переменная составляющая затрат, обусловленная требованиями надёжности (цена надёжности).

Во многих случаях зависимость для цены надёжности имеет степенной характер и Q_n определяется по эмпирической формуле (4):

$$Q_n = Q_{no} (T / T_o)^a, \quad (4)$$

где Q_{no} – цена надёжности аналога или прототипа;

T – наработка на отказ проектируемого изделия;

T_o – наработка на отказ прототипа;

a – эмпирический показатель, характеризующий уровень прогрессивности производства с точки зрения возможностей повышения надёжности объекта (обычно находится в пределах от 0,5 до 1,5).

Экономическая эффективность повышения показателей надёжности продукции представляет собой экономию живого и овеществленного труда на протяжении всего жизненного цикла объекта с учетом единовременных и текущих затрат, необходимых для повышения надёжности.

Аналізу экономической эффективности подлежат объекты с улучшенными единичными или комплексными показателями любой из групп: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

Экономический эффект от повышения надёжности машин составляет разность между выраженной в денежной форме экономией всех производственных ресурсов, полученной предприятием в результате проведения мероприятий по повышению надёжности, осуществляемых на всех стадиях жизненного цикла изделий.

Показателями экономической эффективности являются:

- годовой экономический эффект;
- коэффициент экономической эффективности (срок окупаемости).

Экономический эффект от повышения надёжности определяется методом сравнительной экономической эффективности. В большинстве случаев сравниваются два объекта – базовый и с улучшенными показателями надёжности. Сравнимые величины приводятся в сопоставимый вид по времени и производительности. Лучшим считается вариант повышения надёжности, обеспечивающий наибольшую величину годового экономического эффекта по сравнению с вариантом, принятым за базу сравнения.

При расчетах экономической эффективности все технико-экономические показатели сравниваемых вариантов должны быть приведены в сопоставимый вид по фактору времени.

Расчет экономической эффективности повышения надёжности проводится на всю номенклатуру и весь объем выпуска продукции, для которой реализуются мероприятия по повышению надёжности. Если оцениваемое мероприятие по повышению надёжности охватывает слишком большую номенклатуру изделий с разнообразными технико-экономическими показателями, то расчет производится на изделие-представитель (группу изделий-представителей) с последующей экстраполяцией полученных результатов на

всю продукцию с улучшенными показателями надёжности.

Расчет экономической эффективности повышения надёжности осуществляется в следующей последовательности:

- выбор базы сравнения и установление расчетного года;
- определение источников экономии;
- математическое моделирование (выбор расчетной формулы);
- сбор и анализ исходных данных;
- выполнение расчета.

Экономическая эффективность повышения надёжности может рассчитываться как по отдельным её составляющим: безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости и долговечности, так и по комплексным показателям, например коэффициенту технической готовности или коэффициенту технического использования [2].

При разнонаправленном изменении показателей надёжности (повышение одних и снижение других) экономическая эффективность определяется как алгебраическая сумма экономических эффектов от изменения различных показателей надёжности.

Для впервые разрабатываемых новых машин при определении экономической эффективности в качестве базы сравнения принимается достигнутый уровень технико-экономических показателей машин, близких по конструктивно-технологическим и эксплуатационным свойствам и предназначенных для замены вновь разрабатываемыми машинами.

При модернизации серийно выпускаемых машин в качестве базы сравнения принимаются технико-экономические показатели этих серийно выпускаемых машин до модернизации.

В тех случаях, когда новая или модернизированная машина выпускается на многих заводах-изготовителях, отличающихся уровнем развития производства, и расчет принимаются среднеотраслевые значения технико-экономических показателей базовой и проектируемой машины с повышенной надёжностью.

В связи с тем, что эксплуатация машин осуществляется, как правило, у большого количества потребителей, в расчете могут использоваться или среднеотраслевые технико-экономические показатели эксплуатации, или данные наиболее типичных, наиболее представительных эксплуатантов, обеспечивающих максимально полезный результат использования машин. В случаях, когда повышение надёжности отечественной машины влияет на изменение ее конкурентоспособности, в результате чего предполагается замена зарубежных аналогов отечественными машинами, то за базу сравнения принимают данные об эксплуатации и стоимости зарубежных аналогов.

В обоснованных случаях в качестве базы сравнения могут применяться лучшие мировые образцы, зарубежные аналоги. Такой расчет может проводиться в том случае, если имеются достоверные данные о технико-экономических показателях производства и эксплуатации зарубежных аналогов, и есть возможность привести в сопоставимый вид эти показатели с соот-

ветствующими технико-экономическими показателями производства и эксплуатации оцениваемой машины с повышенной надёжностью.

Годовой экономический эффект определяется исходя из объема выпуска и величины технико-экономических показателей в расчетном году.

За расчетный год принимается год после окончания планируемого срока освоения выпуска машин с повышенной надёжностью. Как правило, это второй или третий год серийного выпуска оцениваемой продукции.

Повышение надёжности оказывает решающее влияние на улучшение технико-экономических показателей эксплуатации машин. В зависимости от номенклатуры изменяемых показателей надёжности улучшаются те или иные технико-экономические показатели, определяющие эксплуатационные свойства машин.

После определения возможных источников экономии в результате повышения надёжности выбирается расчетная формула для определения годового экономического эффекта.

В самом общем виде годовой экономический эффект \mathcal{E} определяется по формуле (7):

$$\mathcal{E} = \left[(C_1 + E_H K_1) \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \right] A_2, \quad (7)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость единицы продукции до и после повышения надёжности;

K_1 и K_2 – удельные капитальные вложения в производственные фонды до и после повышения надёжности;

$E_H = 0,15$ – нормативный коэффициент экономической эффективности;

B_1 и B_2 – годовые объемы продукции (работы), производимой одной машиной до и после повышения надёжности;

I_1' и I_2' – среднегодовые эксплуатационные издержки потребителя до и после повышения надёжности в расчете на объем продукции (работы), производимой машиной с повышенной надёжностью, в этих издержках учитывается только часть амортизации, предназначенная на капитальный ремонт, а также амортизационные отчисления по сопутствующим капитальным вложениям потребителя;

K_1' и K_2' – сопутствующие капитальные вложения потребителя (без учета стоимости оцениваемых машин) до и после повышения надёжности в расчете на объем продукции (работы), производимой машиной с повышенной надёжностью;

P_1 и P_2 – доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) до и после повышения надёжности;

A_2 – годовой объем производства машин с повышенной надёжностью в расчетном году в натуральных единицах.

При изменении отдельных составляющих надёжности формула (7) бу-

дет видоизменяться и упрощаться.

Повышение безотказности характеризуется увеличением средней наработки на отказ или вероятности безотказной работы, приводит к уменьшению количества внезапных отказов машин и тем самым снижает величину затрат на устранение отказов, которые входят в состав эксплуатационных издержек потребителя. В состав этих издержек входят, как правило, заработная плата ремонтных рабочих и стоимость используемых в ремонте запасных частей и материалов.

Эксплуатационные издержки определяются обычно или за год службы изделия в расчете на единицу выпущенной продукции (выполненной работы) или в расчете на единицу полезного эффекта. Второй вариант предпочтительнее, так как позволяет легче приводить в сопоставимый вид сравниваемые базовый и проектируемый уровни надёжности.

Кроме того, повышение безотказности приводит к увеличению времени эффективной работы машины за счет уменьшения времени её простоев. Таким образом, увеличение наработки на отказ равносильно повышению роста производительности машины.

При повышении безотказности годовой экономический эффект \mathcal{E}_6 равен (8):

$$\mathcal{E}_6 = \left[(C_1 + E_H K_1) \frac{B_2}{B_1} + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \right] A_2 \quad (8)$$

Основные экономические преимущества повышения безотказности выразятся в увеличении коэффициента учета производительности $\left(\frac{B_2}{B_1} \right)$, в

связи с уменьшением количества отказов, снижении годовых эксплуатационных издержек I_2 в расчете на машину более высокой производительности и экономии сопутствующих капитальных вложений ($K_2' - K_1'$) в связи с ростом производительности машины с повышенной надёжностью.

Основными показателями долговечности являются ресурс и срок службы.

Повышение долговечности во многих случаях равносильно дополнительному выпуску машин. Машина с увеличенным сроком службы ежегодно переносит на выпускаемую ею продукцию (выполненную работу) меньшую часть своей балансовой стоимости, уменьшая тем самым стоимость выпущенной продукции.

Основным показателем долговечности, используемым при расчетах экономической эффективности, является ежегодная доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию).

Годовой экономический эффект \mathcal{E}_6 от повышения долговечности рассчитывается по формуле (9):

$$\Delta_0 = \left[(C_1 + E_H K_1') \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \right] A_2 \quad (9)$$

В зависимости от номенклатуры изменяемых показателей надёжности могут использоваться и другие формулы, в которых должны отражаться те или иные технико-экономические показатели машин с повышенной надёжностью.

Улучшение показателей ремонтпригодности характеризуется средним временем обнаружения и устранения отказа или удельной трудоемкостью восстановления.

Улучшение ремонтпригодности машины приводит к тому же экономическому эффекту, что и рост безотказности. При одинаковых показателях безотказности эффективнее будет работа машины с более высокими показателями ремонтпригодности. Уменьшение времени на поиск, и устранение отказа приводит, также как и при росте безотказности, к уменьшению эксплуатационных издержек и повышению времени эффективной работы (росту производительности).

В простейшем случае доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление P может быть представлена в виде (10):

$$P = \frac{1}{T_{сл}}, \quad (10)$$

где $T_{сл}$ – срок службы машины.

Более точные результаты могут быть получены по формуле (11):

$$P = \frac{E}{(1 + E)^{T_{сл} - 1}}, \quad (11)$$

где $E = 0,1$.

Сохраняемость продукции машиностроения характеризуется средним или установленным сроком сохраняемости и во многом определяется условиями упаковки, транспортирования и хранения.

Повышение показателей сохраняемости приводит к снижению (иногда значительно) сопутствующих капитальных затрат потребителя на монтаж, на приведение машины в работоспособное состояние, позволяет сократить сроки освоения проектной мощности машины.

Годовой экономический эффект от повышения сохраняемости выражается в сокращении Δ_c затрат на монтаж, наладку, приведение машины в работоспособное состояние (12) и сокращение сроков освоения проектной мощности Δ_n (13):

$$\Delta \varepsilon = \left[(C_1 + E_H K_1) + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \right] A_2 \quad (12)$$

$$\Delta \varepsilon_n = B_2 \frac{\Delta t}{12} (C - C) A_2, \quad (13)$$

где Δt – сокращение длительности освоения проектной мощности (месяцы);

C и C – цена и себестоимость продукции (работы), выпускаемой машиной с повышенной надёжностью.

Кроме основного экономического эффекта, определяемого по формулам (7)-(13), при повышении надёжности некоторых видов машин создается дополнительный экономический эффект в сопряженных сферах. Его определяют по величине предотвращенного в результате повышения надёжности ущерба, исходя из технологических особенностей эксплуатации машин.

В зависимости от эксплуатационного назначения машин с целью определения предотвращенного ущерба продукцию машиностроения можно разделить на следующие группы [1, 2]:

- продукция авиационно-космической отрасли – снижение эксплуатационных рисков, повышение безопасности полётов;

- продукция энергетического машиностроения – уменьшение потерь у потребителя электроэнергии в результате минимизации случаев отключения электроэнергии;

- производство транспортных средств (авиакосмическое машиностроение, автомобилестроение, судостроение, подвижной состав железнодорожного транспорта) – предотвращенный ущерб выразится в уменьшении страховых заделов, создаваемых предприятиями и организациями на случай срыва поставок смежников в связи с отказами средств транспорта;

- продукция сельскохозяйственного машиностроения – предотвращенный ущерб от потерь сельскохозяйственной продукции, повышение урожайности;

- производство различного технологического оборудования, повышение надёжности которого приводит к сокращению межоперационных пределов, создаваемых на поточных линиях с целью обеспечения их бесперебойной работы при внезапном отказе одного из станков этой поточной линии.

Сбор исходных данных является наиболее длительной и трудоемкой частью проведения расчета экономической эффективности.

Определение исходных данных для проведения расчета осуществляется двумя основными методами: статистической обработкой информации и методами прогнозирования.

Себестоимость машины, принятой за базу сравнения, определяется исходя из ее среднеотраслевой себестоимости с учетом динамики к расчетному году. В тех случаях, когда большая часть оцениваемых машин выпускается на

одном предприятии, себестоимость производства этой машины может применяться в качестве базы сравнения (также приведенной к расчетному году).

Себестоимость машины с повышенной надёжностью прогнозируется на основе существующих экономико-математических методов [3-5].

Дополнительные текущие затраты на повышение надёжности $c(f(n))$ могут определяться прямым счетом, если известны конкретные мероприятия по повышению надёжности [2, 5]. В этом случае необходимо определить затраты на эти мероприятия (14):

$$c_1(f(n)) = c_p + c_a + c_c + c_v + c_m + c_{np}, \quad (14)$$

где c_p – затраты на резервирование;

c_a – затраты на замену узлов и деталей часто выходящих из строя на более совершенные по конструктивному исполнению, по используемым материалам, по применяемой технологии изготовления и т. д.;

c_c – затраты на совершенствование методов контроля;

c_v – затраты на введение дополнительных контрольных операций;

c_m – затраты на совершенствование методов испытаний;

c_{np} – прочие затраты.

Удельные капитальные вложения в производственные фонды машины, принятой за базу сравнения, определяются исходя из среднеотраслевого значения фондоемкости производства (15):

$$K_1 = c_1 \Phi, \quad (15)$$

где K_1 – удельные капитальные вложения в базовую машину;

c_1 – себестоимость базовой машины в расчетном году;

Φ – среднеотраслевая фондоемкость продукции, приведенная к расчетному году с учетом динамики этого показателя.

Удельные капитальные вложения в производственные фонды для производства машины с повышенной надёжностью, как правило, определяются исходя из величины дополнительных единовременных затрат на осуществление мероприятий по повышению надёжности.

Дополнительные единовременные затраты проводятся по фактору времени к расчетному году по формуле (16):

$$\Delta K = \sum_1^t K_i (1 + E)^{t-1}, \quad (16)$$

где ΔK – дополнительные единовременные затраты;

K_i – единовременные затраты в i -м году;

$E = 0,1$ – норматив приведения;

t – число лет от начала осуществления мероприятий до расчетного года.

В состав дополнительных единовременных затрат включаются:

- стоимость основных производственных фондов, дополнительно приобретенных для обеспечения повышения надёжности;
- дополнительная стоимость нормируемых оборотных средств;
- сметная стоимость НИОКР по повышению надёжности машин;
- техническая подготовка производства машин с повышенной надёжностью.

Удельные капитальные вложения для машин с повышенной надёжностью определяются по формуле (17):

$$K_2 = K_1 + \frac{\Delta K}{A_2}, \quad (17)$$

где A_2 – выпуск машин в расчетном году в натуральном выражении.

Определение годовых объемов продукции (работы), произведённой одной машиной B , позволяет определить коэффициент роста производительности $\frac{B_2}{B_1}$.

$$\frac{B_2}{B_1}$$

Для продукции производственно-технического назначения величина годового объема продукции, выпущенной одной машиной, прямо пропорциональна эффективному времени ее работы. Повышение безотказности и ремонтпригодности машины позволяет увеличить время эффективной работы машины за счет уменьшения количества отказов или сокращения времени на поиск и устранение отказов. В этом случае можно считать (18):

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{T_{\varnothing} - K_{ОТК2} t_{Y2}}{T_{\varnothing} - K_{ОТК1} t_{Y1}}, \quad (18)$$

где T_{\varnothing} – плановый годовой фонд времени работы машины с учетом коэффициента сменности и времени простоя в плановых ремонтах и техническом обслуживании;

$K_{ОТК2}$ и $K_{ОТК1}$ – число внезапных отказов за год у машин с

базовой и повышенной безотказностью;

t_{Y1} и t_{Y2} – время устранения одного отказа у машин с базовой и повышенной ремонтпригодностью.

Плановый годовой фонд времени работы машины устанавливается исходя из средних условий эксплуатации. Это усреднение может осуществляться исходя из выбора наиболее типичных условий эксплуатации одного изделия (сменность, загрузка и т. д.) или на основании отчетных среднотраслевых данных о загрузке машин. И в том и другом случае принятые показатели под-

тверждаются эксплуатирующими организациями.

Данные о количестве отказов и длительности их устранения принимаются как на основании величин, указанных в НТД, так и по данным испытаний (уточненный расчет).

Повышение долговечности характеризуется коэффициентом учета изменения срока службы $\frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H}$.

Доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) определяется в зависимости от срока службы (19):

$$P_t = \frac{1}{T_{cn}} \text{ или } P = \frac{E}{(1+E)^{T_{cn}} - 1}, \quad (19)$$

где T_{cn} – срок службы до списания с учетом морального износа.

Изменение годовых эксплуатационных издержек в расчете на объем продукции (работы), производимой с помощью машины повышенной надёжности, определяется уменьшением затрат на устранение отказов за счет сокращения их количества и снижения трудоемкости, а так же расхода части эксплуатационных материалов в связи с ростом производительности машины с повышенной надёжностью.

Уменьшение затрат на устранение отказов складывается из снижения трудоемкости, экономии запасных частей и материалов, уменьшения амортизационных отчислений основных производственных фондов эксплуатирующихся предприятий.

Изменение сопутствующих капитальных вложений в сфере эксплуатации определяется без учета изменения стоимости (цены) машины повышенной надёжности в расчете на объем продукции (работы), производимой такой машиной. В тех случаях, когда сопутствующие капитальные вложения не меняются, учитывается только изменение производительности машины с повышенной надёжностью (20):

$$K_2 = K_1 \cdot \frac{B_1}{B_2} \quad (20)$$

В тех случаях, когда известна номенклатура мероприятий по повышению надёжности, определение величины единовременных и текущих затрат можно осуществлять прямым счетом или исходя из нормативов, разработанных на проведение этих мероприятий.

Проведение конструкторских и материаловедческих мероприятий в основном оказывает влияние на себестоимость изготовления машин повышенной надёжности.

При замене одной сборочной единицы, детали или крепежа другими себестоимость вычисляется по формуле (21):

$$C_2 = C_1 - C_3 + C_B, \quad (21)$$

где C_3 – стоимость (цена или технологическая себестоимость) исключаемой детали;

C_B – стоимость детали, устанавливаемой взамен.

При использовании другого материала (22):

$$C_2 = C_1 - N_3 C_3 + N_B C_B, \quad (22)$$

где N_3 и N_B – норма расхода исключаемого и вновь вводимого материала;

C_3 и C_B – цена исключаемого и вновь вводимого материала.

При введении дополнительных узлов и деталей (резервирование, блокировка, автоконтролирующие и саморегулирующие устройства и т.д.) себестоимость рассчитывается по формуле (23):

$$C_2 = C_1 + \sum_1^n C_{Bi}, \quad (23)$$

где C_B – стоимость (оптовая цена или технологическая себестоимость) дополнительно вводимых узлов и деталей;

n – количество дополнительно вводимых узлов и деталей.

При использовании материалов, дополнительно прошедших упрочняющую обработку – (24) и (25):

$$C_2 = C_1 + \sum_1^n C_{oni}, \quad (24)$$

где C_{oni} – дополнительные затраты на i -ю операцию по упрочняющей обработке материалов;

n – количество дополнительных операций.

$$C_{oni} = t_i n_i + M_i + P_i K_i, \quad (25)$$

где t_i – штучно-калькуляционное время на проведение i -й операции;

n_i – расценка i -й операции;

M_i – норма расхода основных материалов на i -ю операцию;

K_i – балансовая стоимость оборудования, используемого на i -й операции;

P_i – норма амортизационных отчислений на i -ю операцию.

При проведении мероприятий на стадии производства изменения затрагивают как себестоимость изготовления, так и величину удельных капитальных вложений.

При изменении или введении новых технологических и контрольных операций величина себестоимости определяется по формулам (21)-(25).

При использовании нового технологического и контрольного оборуду-

дования изменяется величина удельных капитальных вложений (26):

$$K_2 = K_1 + \frac{\Delta K}{A_2}, \quad (26)$$

где ΔK – балансовая стоимость дополнительного оборудования, используемого с целью повышения надёжности выпускаемых машин;

A_2 – годовой выпуск машин повышенной надёжности в расчетном году.

Обеспечение достоверности контрольной информации связано в основном с совершенствованием методов статистического контроля. В этом случае повышение надёжности связано с изменением затрат на осуществление контрольных операций.

Мероприятия, осуществляемые на стадии эксплуатации, связаны с изменением текущих затрат как в изготовлении, так и в эксплуатации.

Оптимизация системы технического обслуживания, ремонта и диагностирования связана с изменением текущих издержек.

Сокращение периодичности и увеличение объемов плановых текущих ремонтов, технических обслуживании, введение дополнительных операций по диагностированию технического состояния машин увеличивают годовые эксплуатационные издержки потребителей.

При уменьшении периодичности и увеличении объемов технического обслуживания и текущих ремонтов (27):

$$I_2 = I_1' + \sum_1^n \left(\frac{\Gamma_\phi}{T_{oi}''} C_{oi}'' - \frac{\Gamma_\phi}{T_{oi}'} C_{oi}' \right) - \left(\frac{\Gamma_\phi}{T_{TP}''} C_{TP}'' - \frac{\Gamma_\phi}{T_{TP}'} C_{TP}' \right), \quad (27)$$

где Γ_ϕ – годовой фонд времени работы машины;

T_{oi}' и T_{oi}'' – периодичность технического обслуживания i -го вида до и после проведения работ по повышению надёжности;

C_{oi}' и C_{oi}'' – стоимость технического обслуживания i -го вида до и после проведения работ по повышению надёжности;

T_{TP}' и T_{TP}'' – периодичность проведения текущих ремонтов до и после проведения работ по повышению надёжности;

C_{TP}' и C_{TP}'' – стоимость текущего ремонта до и после проведения работ по повышению надёжности.

При проведении дополнительных операций по диагностированию технического состояния машин или введения дополнительных технических обслуживании и текущих ремонтов (28):

$$I_2' = I_1' + \sum_1^l C_D, \quad (28)$$

где C_D – стоимость дополнительных операций диагностирования, технического обслуживания и ремонта;

l – количество дополнительных видов диагностирования, технического обслуживания и ремонта.

Оптимизация номенклатуры и количества запасных частей, как правило, приводит к изменению запасов товарно-материальных ценностей (оборотных средств) эксплуатирующих предприятий и требует изменения производственных мощностей предприятий-изготовителей.

Сопутствующие капитальные вложения в результате оптимизации номенклатуры и количества запасных частей (29):

$$K_2 = K_1 \pm \sum_1^k C_{3.чi} (\gamma_{1i} - \gamma_{2i}), \quad (29)$$

где $C_{3.чi}$ – цена запасных частей i -го вида;

γ_{1i} и γ_{2i} – норма расхода запасных частей i -го вида до и после оптимизации;

k – количество видов запасных частей.

Удельные капитальные вложения предприятий-изготовителей в результате оптимизации номенклатуры и количества запасных частей (30):

$$K_2 = K_1 - \frac{K_{3.ч1} - K_{3.ч2}}{A_2}, \quad (30)$$

где $K_{3.ч1}$ и $K_{3.ч2}$ – стоимость основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств, используемых в производстве запасных частей до и после оптимизации их номенклатуры и количества;

A_2 – годовой выпуск машин повышенной надёжности.

Необходимо констатировать, что комплекс технико-экономических мероприятий по повышению показателей надёжности СТС необходимо анализировать в аспекте корреляционных взаимодействий факторов, формирующих отдельные показатели надёжности и обуславливающих необходимость и достаточность отдельных мероприятий.

Литература

1. Животкевич И.Н., Смирнов А.И. Надёжность технических изделий // М.: Олита. 2003. 472 с. ISBN 5-98040-003-6.
2. Щурин К.В. Надёжность мобильных машин // Оренбург: ОГУ. 2010. 585 с. ISBN 978-5-7410-1070-9.
3. Шкарина Т.Ю. Экономика качества: Учеб. пособие // Владивосток: Издательство ТГЭУ. 2008. 144с. ISBN 978-5-97762-472-1.
4. ГОСТ Р ИСО/ТО 10014-2005 «Руководство по управлению экономикой качества». Национальный стандарт Российской Федерации.

5. Р50-54-96-88. Рекомендации. Надежность в технике. Методы оценки экономических последствий повышения надежности / Утвержден: ВНИИН-МАШ 12.10.1988.

УДК 621.398

Методы безызбыточного помехоустойчивого кодирования передаваемой информации и повышения показателей достоверности на этапах ее передачи и обработки

С.С. Кукушкин, профессор, д.т.н., начальник отдела информационных технологий, главный конструктор, Публичное акционерное общества «Военно-инженерная корпорация» (ПАО «ВИКор»), г. Королев, Московская область,

В.В. Кочемасов, зам. главного конструктора,

С.В. Лазаренко, аспирант, начальник лаборатории, Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королев, Московская область

Технические измерения представляющих собой измерения высшей достигнутой точности, характеризуются тем, что приходится иметь дело с непредсказуемыми ошибками, вызванными помехами. В то же время актуальной остается задача повышения достоверности принятых данных и результатов измерений, при этом постоянно возрастают требования к скорости передачи информации и достоверности принятых данных. В статье приводится новый подход к передаче информации при использовании нетрадиционного представления получаемых и передаваемых сообщений.

Помехоустойчивое кодирование, сжатие данных, достоверность принятых данных.

Methods non-redundant error-correcting coding of transmitted information and increase levels of confidence at different stages of its transmission and processing

S.S. Kukushkin, Professor, Ph. D., Head of information technology Department – Chief designer, Public joint stock company «Military engineering Corporation» (PJSC «MECor»), Korolev, Moscow region,

V.V. Kochemasov, Deputy chief designer,

S.V. Lazarenko, Graduate student, head of laboratory, Stock company «Scientific-production Association measuring equipment» (SC «SP AME»), Korolev, Moscow region

Technical measurements representing a measurement of higher achieved accuracy, are characterized by the fact that we have to deal with unpredictable errors caused by interference. At the same time, there remains the problem of increasing the reliability of received data and results of measurements while continuously increasing demands on transmission rate information and the reliability of the received data. The article presents a new approach to the transmission of information

when using non-traditional representations received and transmitted messages.

Error-correction coding, data compression, the accuracy of the received data.

В качестве информации для проведения прикладных исследований выбраны различные сигналы, которые подвергают дополнительным искажениям, имитируя действие помехи различного рода.

При этом сам эксперимент классифицируется в зависимости от представительности выборки полученных данных и результатов измерений, как метрологический и технический [1]. Потребности практики приводят к существенному усугублению этого положения дел, поскольку предъявляются все более высокие требования к скорости передачи информации и ее защите от помех и несанкционированного доступа (НСД), а это, в свою очередь, к необходимости повышения достоверности принятых данных и результатов измерений. Подобные противоречивые требования составляют основу проблемы, решение которой уже не может быть обеспечено существующими экстенсивными методами. Поэтому нужны новые идеи.

1. Разработка предложений по разрешению многочисленных противоречий в области передачи информации на основе формирования внутренних структур представления данных

Новые возможности появляются при использовании нетрадиционного представления получаемых и передаваемых сообщений x их образами-остатками b_i , полученными в результате сравнений по модулю $m_i \pmod{m_i}$:

$$x \equiv b_i \pmod{m_i} \quad (1)$$

Представленное аналитическое представление представляет собой сокращенную форму описания основной теоремы арифметики:

$$x = m_i l_i + b_i \quad (2)$$

где m_i – делитель (модуль), на которое необходимо поделить делимое число x , l_i – неполное частное от деления, b_i – остаток.

В настоящее время сжатие данных при их представлении и передаче составляет основу множества новых информационно-измерительных технологий, которые используются для разрешения существующих противоречий в области передачи информации по высокоскоростным радиолиниям (ВРЛ). Однако принципиально новые возможности для их синтеза и реализации появляются при использовании математических методов [2]. В нашем случае представление (1) при использовании методов теории конечных полей является сжатой формой традиционного представления (2), поскольку в ней отсутствует неполное частное l_i .

Более выраженная степень сжатия появляется при использовании системы сравнений, простейшей из которых является система из двух сравнений (система остаточных классов (СОК₂) (рис. 1):

$$x \equiv b_1 \pmod{m_1} \quad x \equiv b_2 \pmod{m_2}, \quad (3)$$

При этом на рисунке 1 представлен случай, когда объем передаваемых данных остается неизменным. В этом случае увеличивается минимальное кодовое расстояние между переданными значениями и обеспечивается возможность создания внутренней структуры данных, сообщений и сигналов ($S^{(внутр)}$). При таком подходе ранее формируемая структура S , не имеющая делений на составные элементы, включает в себя две составляющие, условно называемые внешней ($S^{(внеш)}$) и внутренней ($S^{(внутр)}$):

$$S \rightarrow S^{(внеш)} + S^{(внутр)} \quad (4)$$

Такое представление позволяет более точно определить те внутренние резервы повышения эффективности систем передачи информации, которые не были использованы.

Кроме того, предлагаемый методический подход встраивания одной структуры ($S^{(внутр)}$) в другую ($S^{(внеш)}$) приобретает определяющее значение для обеспечения унификации различной аппаратуры, что особенно актуально в условиях различных ограничений на структуры формирования данных, определяемые, в том числе, и различными международными стандартами.

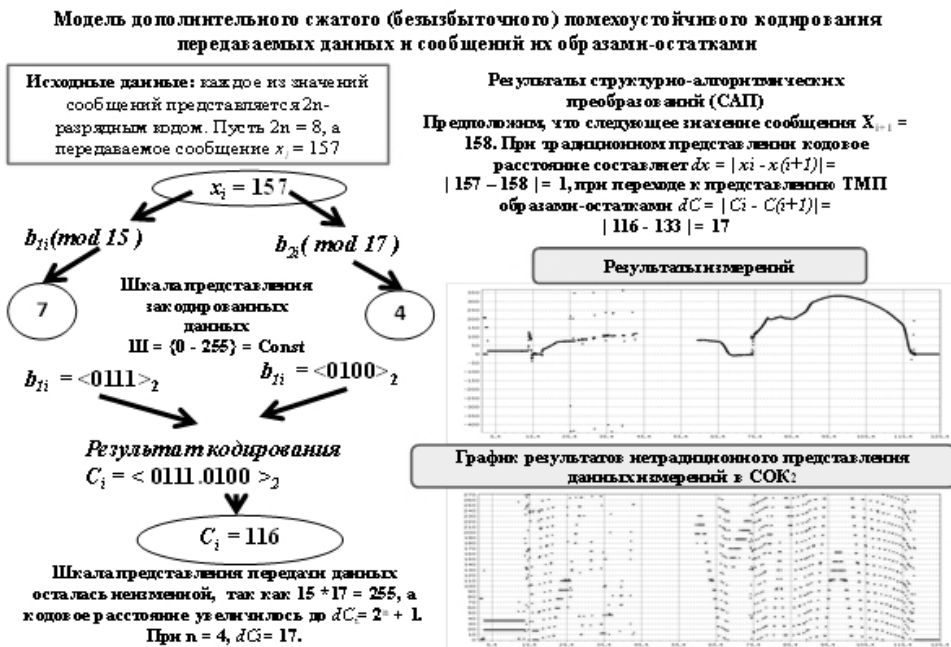


Рисунок 1 – Иллюстрация одного из предлагаемых методов создания внутренней структуры $S^{(внутр)}$ передаваемых сообщений с использованием двух их образов-остатков

В рамках предлагаемого методического требования международных стандартов могут быть выполнены при формировании $S^{(внеш)}$. При этом возможности проблемной ориентации СПД, реализующей экономичные адап-

тивные принципы организации передачи информации в условиях помех, обеспечивают за счет $S^{(внутр)}$.

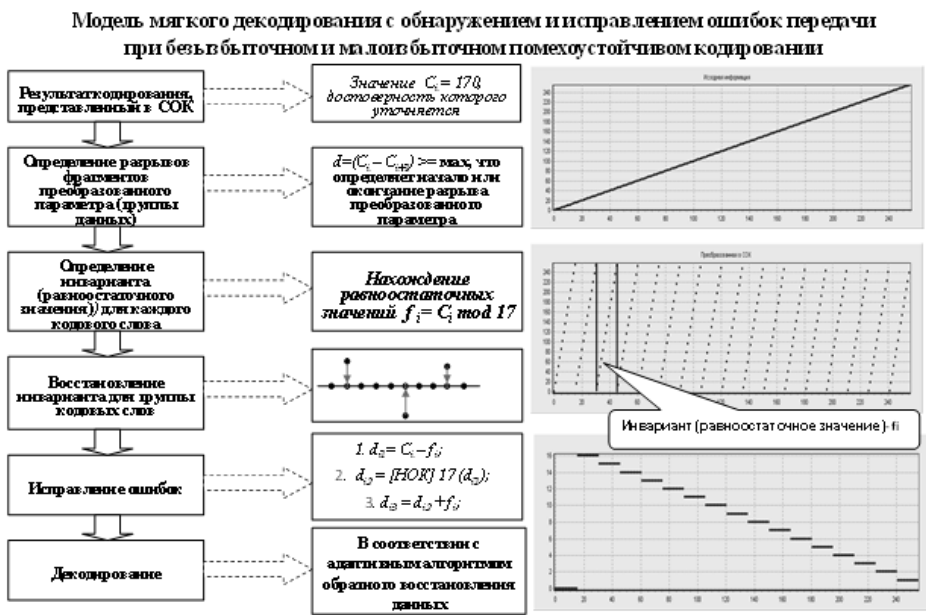
Появление внутренней структуры $S^{(внутр)}$ передаваемых сообщений оказывается незамеченным с позиций традиционно используемой структуры, условно названной внешней $S^{(внешн)}$, поскольку при этом разрядность представления ее слов и их местоположение внутри цикла или кадра остались неизменными. Поэтому приемная система, ориентированная на внешнюю структуру данных, не замечает их внутренние структурно-алгоритмические преобразования (САП) [3]. Для восстановления истинного значения данных в соответствии с предлагаемыми инновационными технологиями применяют два режима декодирования, условно называемые «жесткий» и «мягкий». При этом режим «жесткого» декодирования является универсальным, поскольку обеспечивает возможность восстановления истинного значения данных независимо от свойств передаваемой информации. При этом по законам Природы за универсальность придется расплатиться потерей эффективности, проявляющейся в крайне низком проценте обнаружения и исправления ошибок передачи. Но этого недостатка лишен параллельно работающий режим «мягкого» декодирования, основные операции которого представлены на рисунке 2, а главное окно программы на рисунке 3.

Однако достаточно высокий процент обнаружения и исправления ошибок при использовании режима «мягкого» декодирования будет связан с естественной избыточностью передаваемой информации – он будет тем выше, чем больше избыточность исходных данных. Поэтому процедура «мягкого» декодирования осуществляется под управлением «жесткого» декодера и работает с высоким коэффициентом полезного действия при передаче изображений с КА ДЗЗ, телеметрии и навигационной информации [4].

Проведенные стендовые испытания для информации подобного типа обеспечивают возможность исправление более 90% ошибок. В то же время режим «жесткого» декодирования не приводит к ухудшению показателей достоверности приема информации в условиях помех по сравнению с традиционным ее приемом в тех случаях, когда корреляционная взаимозависимость соседних значений контролируемых параметров отсутствует.

На рисунке 4 приведены результаты стендовых испытаний разработанных методов и инновационных технологий при передаче телеметрической информации (ТМИ). Приведенный на рисунке 4 верхний график получен при использовании существующей технологии представления и передачи тестового цифрового синусоидального сигнала.

Последующие графики, приведенные на рисунке 4, получены при использовании внутренней структуры $S^{(внутр)}$ формирования цифровых значений передаваемого сигнала на основе предлагаемой технологии нетрадиционного представления передаваемых данных их образами. Новые представления передаваемых сообщений входят во внешнюю структуру $S^{(внешн)}$ формирования данных, как вложенные по принципу «матрешки».



Основные операции: 1) выделение графических фрагментов, заключенных между разрезами; 2) зашифрованные значения ЦМП делят на модуль сравнения $m_1 = 2 + 1$ (где $2n = 8$, $m_2 = 17$), при отсутствии помех получившиеся значения остатков разнородных значений, принадлежащих выделенному графическому фрагменту (в тот эффект используют в качестве инварианта); 3) наличие несовпадающих значений остатков свидетельствует об ошибках передачи; 4) исправление производится путем приращивания или вычитания значения, которое приводит к большему совпадению.

Рисунок 2 – Иллюстрация основных положений методики обнаружения и исправления ошибок передачи информации, осуществляемых за счет групповых свойств равноостаточности закодированных значений при наличии свойств внутренней избыточности передаваемых данных и сообщений

Для внешнего наблюдателя такое структурно-алгоритмическое преобразование (САП) остается незамеченным, поскольку их суммарная разрядность не выходит за пределы исходной разрядности передаваемых традиционных информационных слов, а использованные признаки их разделения на составные части известны только получателю информации.

При этом средний график (рис. 4) соответствует случаю «жесткого» декодирования получаемой информации без существенного улучшения качества полученной информации, а нижний график характеризует насколько ее достоверность может быть повышена при использовании предлагаемой технологии «мягкого» декодирования, использующей для обнаружения и исправления ошибок групповые свойства равноостаточности (рис. 3). В результате при мощности принимаемого сигнала, равной чувствительности приемника, было обнаружено и исправлено 94% ошибок. Ни один из существующих методов помехоустойчивого кодирования такой корректирующей способностью не обладает. В этом заключается одно из основных преимуществ предлагаемых технологий замещения внешних структур данных $S^{(внеш)}$ их внутренней структурой $S^{(внутр)}$, сформированной по принципу безызбыточного помехо-

устойчивого кодирования на основе сжатых образов исходных передаваемых сообщений [5].

Главное окно программы и иллюстрации, поясняющие основополагающие принципы обнаружения и исправления ошибок в режиме «мягкого» декодирования

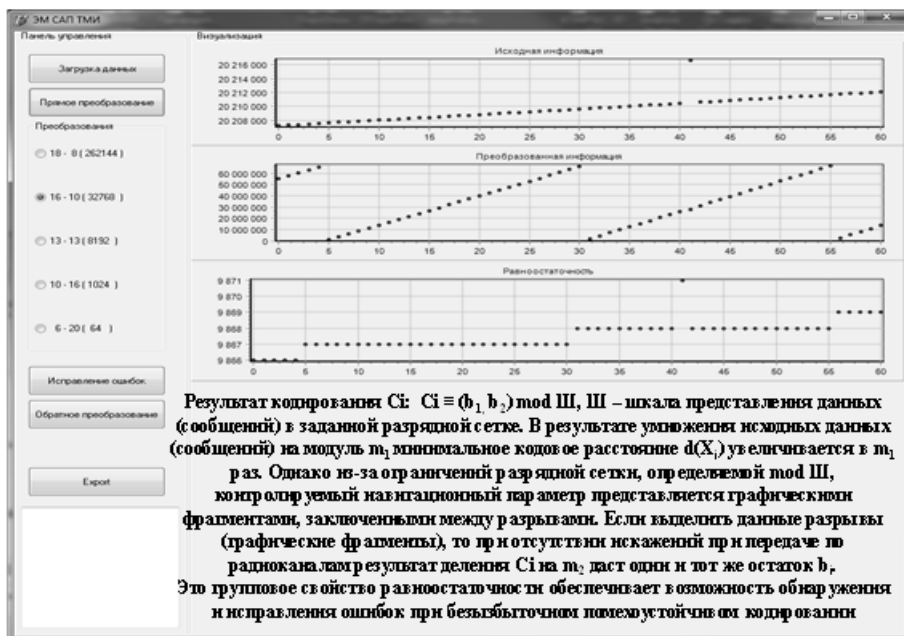


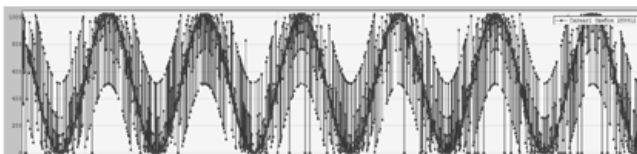
Рисунок 3 – Иллюстрация основополагающих принципов обнаружения и исправления ошибок в режиме «мягкого» декодирования, показывающая как изменение значения равноостаточности связано с появлением ошибки

Еще одна особенность предлагаемых технологий заключается в том, что разработанные методы и алгоритмы САП могут быть использованы на Земле, после приема информации даже в том случае, когда в бортовой аппаратуре они не реализованы.

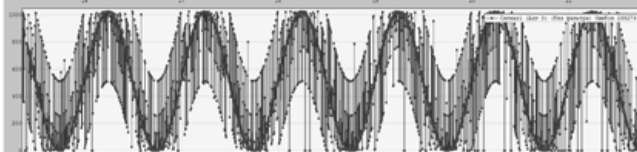
Основные результаты стендовых испытаний

Условия проведения натурального эксперимента: мощность входного сигнала установлена на уровне чувствительности приемника

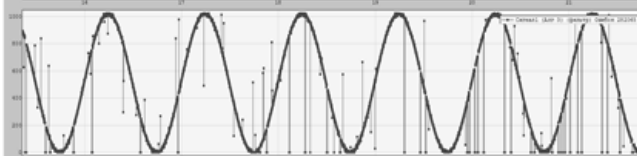
Случай традиционного приема цифрового сигнала, принятого на фоне помех при традиционном приеме его значений.
Число ошибок: 289912



1. Режим «жесткого декодирования» преобразованных значений S_i (без исправления ошибок). Ошибок: 289279.
Коэффициент увеличения ошибок: $\beta = 289912/289279 = 1,002$



2. Режим «мягкого декодирования» (с исправлением ошибок). Неисправленных ошибок: 14601. Исправлено 274678 ошибок передачи



Результат повышения помехозащищенности приема синусоидальных сигналов:
процент исправления ошибок $k = 274678/289912 * 100\% = 94\%$.

Рисунок 4 – Иллюстрация качества принимаемого оцифрованного сигнала при традиционном приеме (верхний график) и при использовании предлагаемых технологий в режиме «жесткого» декодирования (средний график) и в режиме «мягкого» декодирования (нижний график)

2. Методика контроля достоверности данных

Исходное сообщение при использовании структурно-алгоритмических преобразований (САП), проиллюстрированных на рисунке 5, дублируется за счёт представления по двум модулям сравнения, что является источником дополнительной избыточности и проявления свойств равноостаточности. Последнее свойство заключается в том, что на определенных линейных интервалах сообщений кодовое расстояние остается постоянным (рисунок 5). Данное свойство используется в качестве инварианта. С помощью полученных инвариантов появляется возможность обнаружения и исправления ошибок.

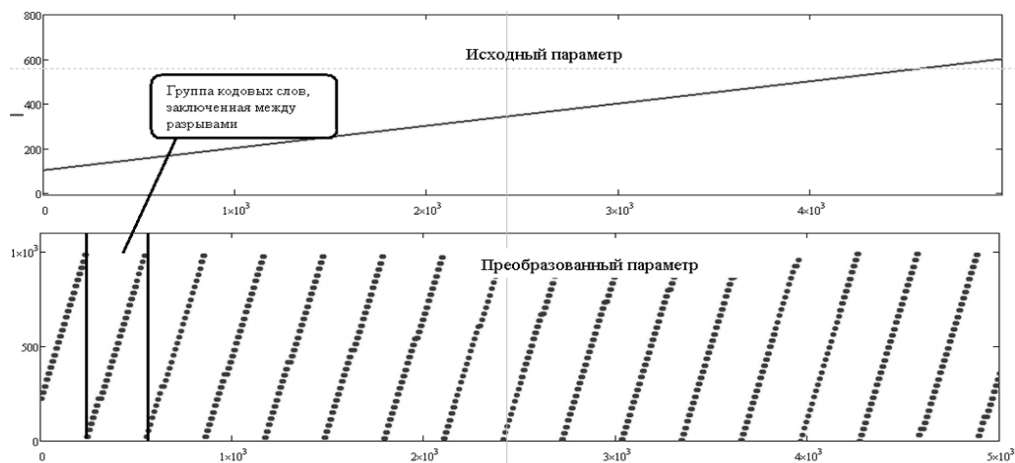


Рисунок 5 – Исходный параметр (цифровой сигнал) и результаты его структурно-алгоритмических преобразований

Алгоритм обнаружения и исправления ошибок:

1. Определение разрывов преобразованного параметра d (выделение групп кодовых слов) (рис. 6):

$$\Delta C = |C_i - C_{i+1}| = \max \quad (6)$$

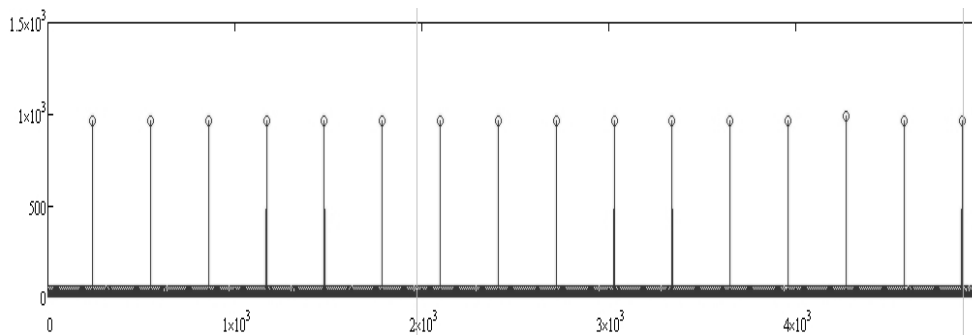


Рисунок 6 – Графическая иллюстрация результатов определения разрывов $d = C_i - C_{i+1}$ преобразованного параметра (сигнала)

2. Определение инварианта f_i для каждого кодового слова (обнаружение ошибок). При отсутствии помех полученные значения остатков равны для значений, принадлежащих выделенному графическому фрагменту. Наличие несовпадающих значений остатков свидетельствует об ошибке передачи (рис. 7):

$$f_i = C_i \bmod 33 \quad (7)$$

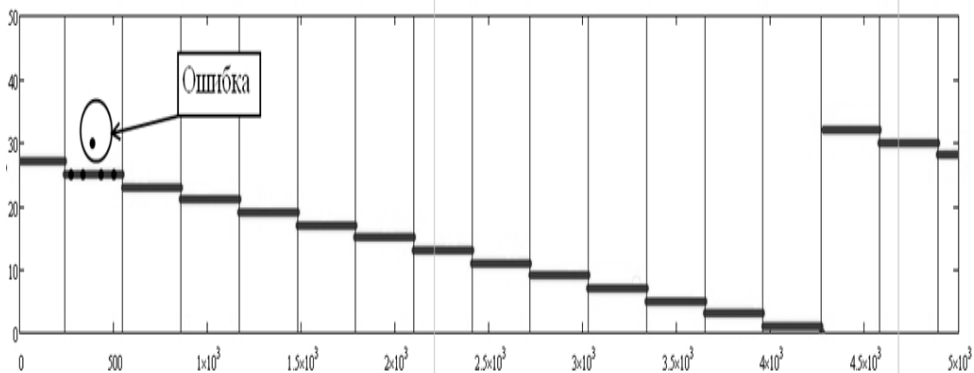


Рисунок 7 – Иллюстрация групповых свойств «равноостаточности» (критерия обнаружения ошибок $f_i: \langle X_i \rangle_j \equiv f_i \pmod{d_{min}}$, где d_{min} – минимальное кодовое расстояние при использовании САП

3. Восстановление инварианта f_i для группы кодовых слов (исправление ошибок). Исправление производится путем приведения отличающихся значений к значению, которое принимает большинство остатков (рис.8).

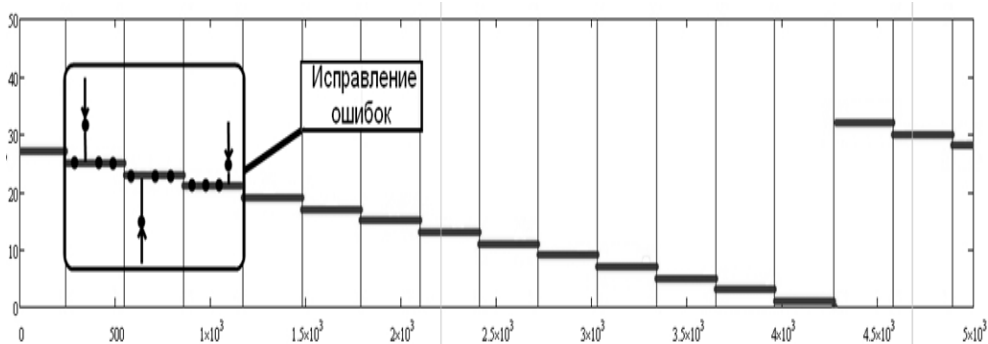


Рисунок 8 – Восстановление инварианта f_i для группы кодовых слов

4. Восстановление кодовых слов C_i из исправленных инвариантов f_i .
5. Перевод восстановленных кодовых слов C_i в двоичную систему счисления.
6. Выделение остатков b_{i1} и b_{i2} из восстановленных кодовых слов C_i .
7. Перевод полученных остатков b_{i1} и b_{i2} в десятичную систему счисления.
8. Восстановление значений измеряемого параметра X_i .

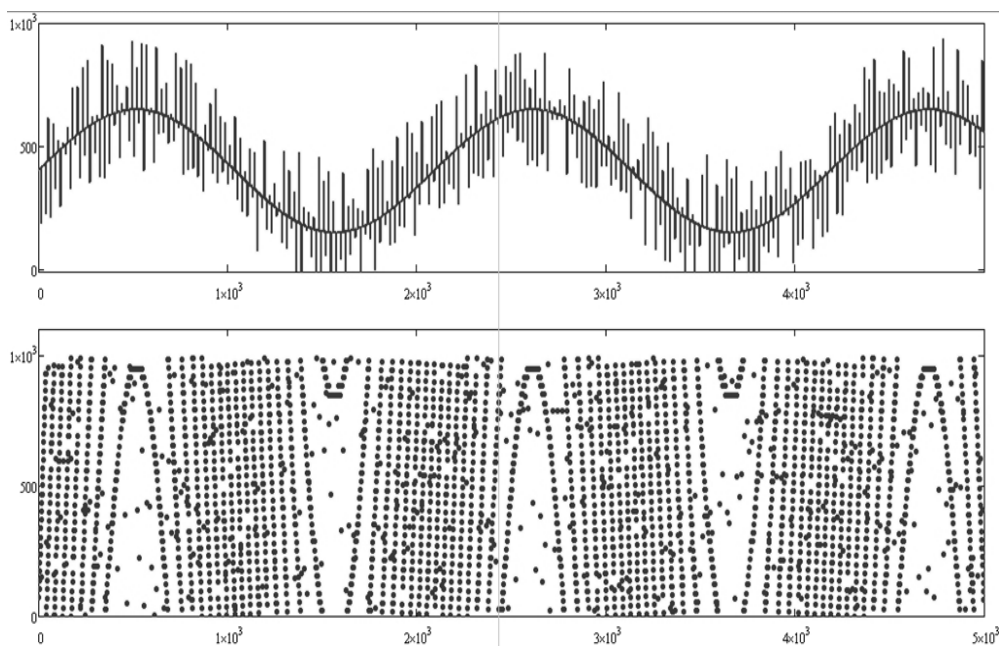


Рисунок 9 – Исходный параметр (цифровой сигнал) и результаты его структурно-алгоритмических преобразований при моделировании их искажений помехами

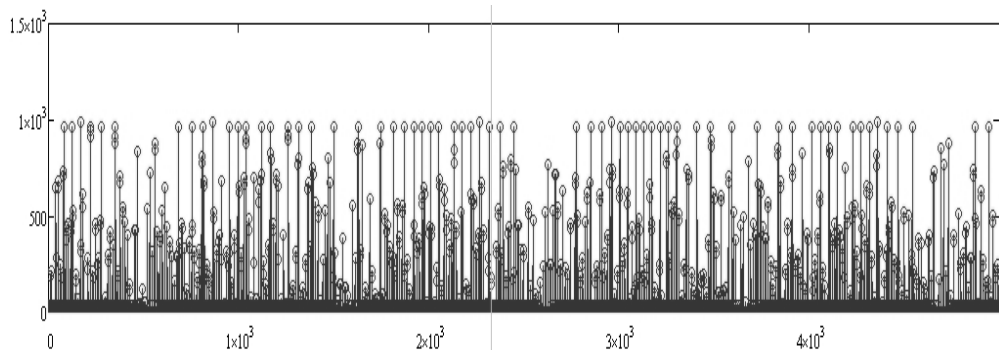


Рисунок 10 – Результаты определения разрывов преобразованного параметра (выделения графических фрагментов групп кодовых слов) на основе критерия $\Delta C = |C_i - C_{i+1}| = \max$ (8)

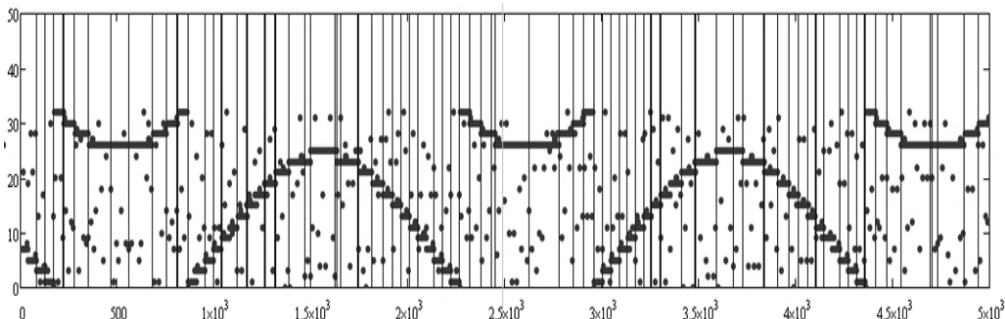


Рисунок 11 – Иллюстрация групповых свойств «равноостаточности» (критерия обнаружения ошибок $f_i: \langle X_i \rangle_f \equiv f_i \pmod{d_{min}}$), где: d_{min} – минимальное кодовое расстояние при используемом САП

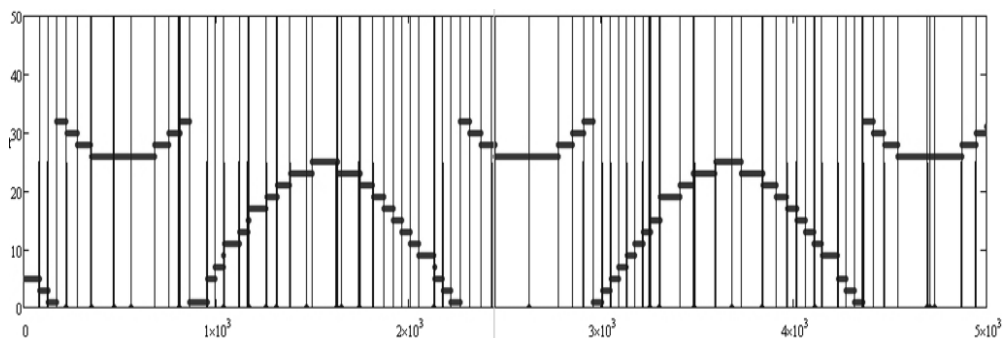


Рисунок 12 – Восстановление инварианта f_i для группы кодовых слов

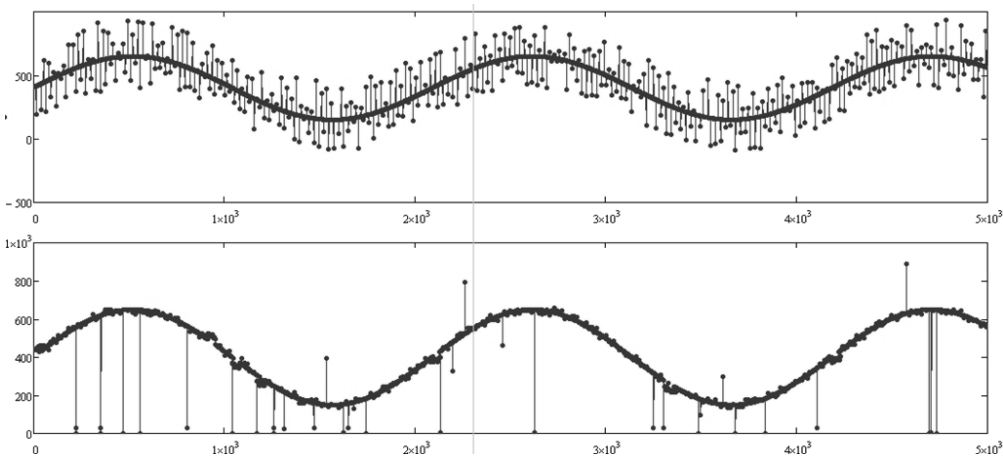


Рисунок 13 – Искаженный и восстановленный измеряемые линейные параметры

Коэффициент обнаружения ошибок равен 0,86 (обнаружено и исправлено 86% ошибок передачи).

Проведенные испытания предлагаемых методов безызбыточного помехоустойчивого кодирования ТМИ показали достаточно высокие показатели

эффективности.

Литература

1. Кукушкин С.С., Захаров В.Н. Математические и методические основы использования конструктивной теории конечных полей при обработке результатов измерений // Измерительная техника. Стандарты. 2006. № 10.
2. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика: том.1 Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках // М: МО РФ. 2003.
3. Патент RU № 2 586833 С2. Способ передачи информации и система для его осуществления / Кукушкин С.С., Супрун А.С., Светлов Г.В., Махов С.Ф. – Оpubл. 13.06.2016. Бюл. № 17. 22 с.
4. Патент № 2571584. Способ передачи телеметрической информации, адаптированный к различным ситуациям при испытаниях ракетно-космической техники, и система для его осуществления / Кукушкин С.С., Кузнецов В.И. – Оpubл. 20.12.2015. Бюл. № 35. 20 с.
5. Патент RU № 2 609747 С2. Способ передачи информации и система для его осуществления / Кукушкин С.С., Светлов Г.В., Махов С.Ф. – Оpubл. 02.02.2017, Бюл. № 4. 22 с.

УДК 004.94, 004.057

Автоматизация имитационного моделирования многошаговых беспроводных сетей

А.А. Павлов, инженер-исследователь,
И.О. Датьев, старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
М.Г. Шишаев, главный научный сотрудник, доктор технических наук,
ФГБУН Институт информатики и математического моделирования
технологических процессов Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

Имитационное моделирование является основным способом тестирования технологий, предлагаемых в области многошаговых беспроводных сетей (МБС). Создание имитационной модели МБС – трудоемкая задача, связанная с применением специализированных программных средств, называемых сетевыми симуляторами. В данной работе рассмотрен современный опыт моделирования МБС и сформулированы основные проблемы. Одной из главных проблем является невозможность сравнительного анализа результатов имитационных экспериментов, проведенных различными исследователями. Это обусловлено причинами, связанными с применяемыми для тестирования моделями, планированием имитационных экспериментов и принципиальными различиями используемых сетевых симуляторов. Для решения поставленных проблем, в данной статье предлагается обобщенная концептуальная модель систем имитационного моделирования МБС и специализированный программный комплекс, автоматизирующий проведение серий экспериментов в гетерогенной модельной среде.

Многошаговые беспроводные сети, имитационное моделирование, сетевые симуляторы.

MULTI-HOP WIRELESS NETWORKS AUTOMATED SIMULATION

A.A. Pavlov, engineer-researcher,
I.O. Datyev, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences,
M.G. Shishaev, Chief Scientific Officer, Doctor of Technical Sciences,
Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes
of the Kola Science Center RAS, Apatity

Simulation is the main way for testing technologies in the field of multi-hop wireless networks (MWN). Creating a simulation model MWN – a time-consuming task associated with the use of specialized software tools, called network simulators. In this paper, the modern experience of modeling MWN and the main problems are formulated. One of the main problem is the comparative analysis' impossibility of the experiments results conducted by various researchers. This is due to the reasons associated with the models used for testing, the planning an imitation ex-

periment and the principal differences in the network simulators. To solve this problem, authors propose a generalized conceptual model of MWN simulation and a specialized software package that automates the execution of experiment series in a heterogeneous modeling environment.

Multi-hop wireless networks, simulation, network simulators.

Введение

Многошаговые беспроводные сети (МБС) – это радиосети, узлы которых способны выступать в роли ретрансляторов, что увеличивает зону покрытия сети. В настоящее время разработка подобных сетей на базе мобильных устройств является актуальной задачей. Область применения многошаговых беспроводных сетей включает в себя [1] сети для решения различного рода задач: развлекательные, «умный дом», военного назначения и другие. Главным преимуществом таких сетей является быстрота развертывания и отсутствие необходимости наличия развитой информационно-коммуникационной инфраструктуры. Основными проблемами многошаговых беспроводных сетей на базе мобильных устройств являются [2] сложность маршрутизации данных, вследствие нестационарности топологии, и ограниченность ресурса источника питания мобильных узлов. Различные решения этих проблем во множестве предлагаются сообществом ученых и разработчиков всего мира [3-12].

Важной с практической точки зрения задачей становится оценка эффективности различных МБС-технологий в идентичных условиях эксплуатации, или обратная ей – определение сферы наиболее эффективного применения отдельно взятой МБС. Предлагаемые технологии тестируются, чаще всего, методом имитационного моделирования, с помощью специализированных программных средств – сетевых симуляторов. Поэтому исходным материалом для сравнения или позиционирования новой технологии среди аналогов являются ранее созданные модели и/или результаты имитационных экспериментов.

При попытке прямого сравнения результатов могут возникнуть следующие сложности:

1. Имеющиеся результаты имитационных экспериментов характеризуют лишь малое количество вариантов использования (соответствующих предполагаемым условиям функционирования сети), недостаточное для выявления преимуществ и слабых мест рассматриваемой МБС-технологии в различных условиях («прямая задача»).

2. Ни один из рассматриваемых в имеющихся моделях вариантов использования не соответствует условиям предполагаемого использования сети - невозможно решить «обратную задачу».

3. Проводимые другими исследователями имитационные эксперименты недостаточно подробно документируются.

4. Результаты экспериментов, полученные на различных симуляторах, невозможно сравнить напрямую из-за различий в составе специфицированных параметров модели МБС и условий ее функционирования.

Перечисленные сложности влекут за собой необходимость воспроизводства имитационного эксперимента с использованием других симуляторов или МБС. В связи с этим является актуальной задача создания технологии, позволяющей в автоматизированном режиме проводить имитационные эксперименты с моделями различных МБС-технологий и с использованием различных сетевых симуляторов. В данной статье рассматривается современный опыт имитационного моделирования МБС, предлагается обобщенная концептуальная модель систем имитационного моделирования МБС и предлагается решение вышеперечисленных проблем, основанное на автоматизированном проведении серий экспериментов в гетерогенной модельной среде с помощью специализированного программного комплекса.

Современный опыт исследования многошаговых беспроводных сетей

Тестирование эффективности решений (метрик, алгоритмов, протоколов маршрутизации и др.), разработанных для многошаговых беспроводных сетей, возможно несколькими способами: 1) натурные эксперименты в реальных условиях, 2) создание испытательных стендов, 3) использование сетевых симуляторов. Первый и второй способы – ресурсоемки, поэтому в качестве основного инструмента применяется имитационное моделирование с использованием сетевых симуляторов. Сетевой симулятор – это специализированное программное средство для имитационного моделирования компьютерных сетей.

В настоящее время существует больше количество сетевых симуляторов: NS-3, OPNET (Riverbed Modeler), OMNET++, NETSIM и другие. При этом симуляторы, как правило, не совместимы друг с другом – имеют различную программную архитектуру, используют различные наборы параметров моделируемой технологии и условий ее использования [13,14]. Это затрудняет портирование моделей из одного сетевого симулятора в другой и сравнение результатов экспериментов для оценки эффективности различных МБС-технологий в идентичных условиях эксплуатации или для решения обратной задачи – определения наиболее эффективной в некоторых условиях МБС-технологии. Становится актуальной задача формирования обобщенного концептуального представления систем моделирования МБС, описывающего ключевые компоненты моделей и их параметры, независимо от используемого сетевого симулятора. Такое представление, выполненное с использованием нотации диаграммы классов, изображено рисунке 1.

В целом, рассмотренные в данной работе сетевые симуляторы воплощают дискретно-событийный подход к имитационному моделированию систем [15].

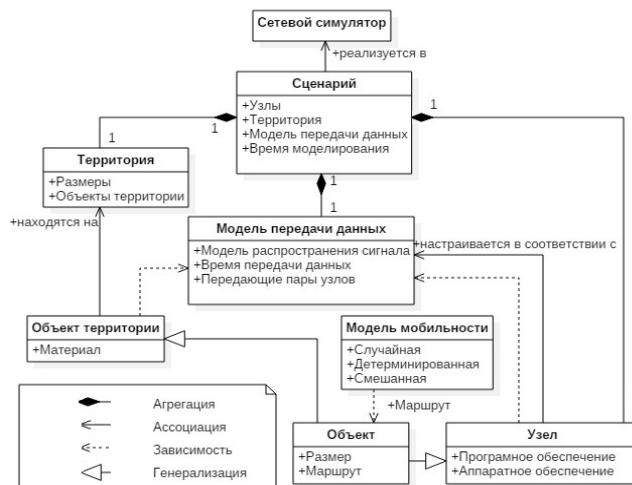


Рисунок 1 – Схема основных объектов модели многошаговой беспроводной сети

Определим основные термины, используемые в данной работе.

Параметр модели – относительно постоянный показатель, характеризующий моделируемую сеть или процессы, происходящие в этой сети. Параметры могут быть не только количественными (т.е. показателями), но и качественными (некоторыми свойствами объекта, его названием и т.п.). Применительно к моделям многошаговых беспроводных сетей примером количественного параметра могут служить размеры территории функционирования сети, количество узлов сети, мощность передатчика, интервал времени через который осуществляется отправка пакетов данных узлом сети. Примеры качественных параметров: название используемой модели перемещения узлов сети, стандарта беспроводной передачи данных, протокола маршрутизации.

Сценарий – совокупность исходных значений параметров, характеризующих исследуемую МБС-технология и отражающих условия функционирования (применения) МБС. *Территория* – пространство с определенными границами.

Объект – подвижное или статическое физическое тело, которое может оказывать влияние на функционирование сети. Ключевыми параметрами объекта являются его размеры и маршрут (или координаты размещения в случае, если объект статичен). Маршрут объекта задается в соответствии с моделью мобильности. *Модель мобильности* – совокупность параметров, характеризующая перемещение некоторых объектов. Модель мобильности может быть случайной, детерминированной или смешанной. Объект может быть узлом сети или объектом территории. *Узел сети* – устройство (объект), соединённое с другими устройствами как часть компьютерной сети. *Объект территории* – объект, который может оказывать влияние на функционирование сети, но не является ее частью. *Модель передачи данных* – совокупность параметров, характеризующих процесс передачи данных и распространения сигнала.

Рассмотрим несколько работ разных авторов, связанных с созданием

моделей многошаговых беспроводных сетей.

В работе [3] для тестирования предлагаемой технологии использован сетевой симулятор NS-2 со следующими исходными значениями параметров: модель перемещения узлов – случайная, размер пакета – 512 байт, скорость узлов – 10 м/с. Рассматриваемый в [3] протокол сравнивался с AODV [16] в нескольких сценариях: количество узлов сети – 50, 75, 100 и общее время моделирования – 20, 40, 60, 80 и 100. Значения других параметров, например, используемый стандарт Wi-Fi, не документированы.

В работах [4,5] авторы сравнивают производительность нескольких протоколов с использованием пакета MATLAB. При этом, в работе [4] указаны значения всего двух параметров, заданных в моделях исследуемых сетевых решений: количество узлов и нагрузка на сеть. В работе [5] число специфицированных параметров несколько шире – модель перемещения (случайная), количество узлов, размеры территории, расстояние и скорость передачи данных. Тем не менее, оперируя только представленными значениями, невозможно в точности воспроизвести имитационный эксперимент, проведенный авторами [4,5].

В работе [6] для тестирования МБС-решения использован сетевой симулятор Riverbed Modeler (OPNET). Авторы [6] приводят существенно большее количество начальных значений параметров, на основании которого представляется возможным воссоздать представленный имитационный эксперимент. Однако, при моделировании применяется лишь один сценарий со случайной моделью перемещения узлов.

В работе [7] авторы используют сетевой симулятор NS-3, реализуют один сценарий и уделяют выбору значений исходных параметров много внимания, представляя их подробное описание. Используется только случайная модель перемещения узлов. Однако самими же авторами отмечается, что применение различных моделей перемещения узлов приводит к существенному изменению результатов имитационного эксперимента.

Таким образом, результаты, полученные в рассмотренных работах, не могут быть напрямую использованы другими исследователями для сравнительного анализа различных МБС-технологий.

Для сравнения эффективности МБС-технологий необходим достаточный набор моделей, включающих четко специфицированные сценарии, в том числе варианты использования, соответствующие предполагаемым областям практического применения МБС. В работе [17] предложена модель и сценарии, реализующие предполагаемые условия функционирования многошаговых беспроводных сетей в реальном мире.

Однако, кроме сценариев, на результаты экспериментов существенное влияние оказывает и специфика практической реализации модели МБС для того или иного симулятора. Данный тезис подтверждается результатами проведенных авторами имитационных экспериментов с использованием максимально приближенных моделей одной и той же МБС в сетевых симуляторах Riverbed Modeler и NS-3 (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты моделирования в Riverbed Modeler и NS-3

Эксперимент	Riverbed Modeler			NS-3		
	Мин.	Средняя	Макс.	Мин.	Средняя	Макс.
Статичная матрица 4x4 узла, с	0.000249	0.00029	0.00094	0.0003	0.000775	0.00753
Статичная линия, 10 узлов, с	0.00025	0.0003	0.00081	0.001	0.005098	0.03614
Линия, 10 узлов, передающие узлы периодически меняются местами, с	0.00025	0.0003	0.0009	0.001	0.001739	0.03614

Термин «максимально приближенных» используется по причине невозможности создания в Riverbed Modeler и NS-3 полностью идентичных моделей (табл. 2). Это обусловлено различиями как алгоритмов, так и программной реализацией самих сетевых симуляторов.

Таблица 2 – Соответствие параметров моделей в Riverbed modeler и NS-3

	Riverbed Modeler	NS-3
Версия	17.5 Academic Edition	3.25
Использованные протоколы	AODV	AODV
Мощность передатчика	0.01W	10 dBm
Битрейт	1 пакет в секунду	1024 бит/с.
Размер пакета	1024 бит	128 байт
Phy mode	Direct Sequence 11Mbps	DsssRate11Mbps
Стандарт Wi-Fi	802.11b	802.11b
Модель распространения	Не определена	Фрииса
Длительность симуляции	100 с	100 с

Например, одним из факторов, который оказывает существенное влияние на результаты эксперимента является модель распространения сигнала Фрииса [18], применяемая в сетевом симуляторе NS-3 и отсутствующая в Riverbed modeler Academic Edition.

Программный комплекс моделирования многошаговых беспроводных сетей

Для решения вышеперечисленных проблем предлагается программный комплекс, который призван повысить эффективность исследований МБС. Разрабатываемый программный комплекс автоматизирует следующие процессы:

- портирование моделей между разными сетевыми симуляторами,
- создание моделей многошаговых беспроводных сетей,
- создание моделей перемещения узлов,
- обработка результатов моделирования,
- программная реализация метрик маршрутизации и их интеграция в протоколы маршрутизации,
- проведение серий имитационных экспериментов с различными значениями параметров в пакетном режиме.

Особенности программной реализации вышеперечисленных процессов рассмотрим на примере сетевых симуляторов Riverbed Modeler (OPNET) и NS-3. Выбор обусловлен востребованностью среди разработчиков и перспективами развития этих сетевых симуляторов.

Портирование и создание моделей перемещения узлов между разными сетевыми симуляторами. В зависимости от используемого сетевого симулятора модель мобильности задается для всех объектов сразу или для каждого по отдельности. Если общая модель мобильности отсутствует, то каждому узлу задается отдельный маршрут. Например, такой способ используется в Riverbed Modeler (OPNET). Большая часть исходного кода Riverbed modeler является закрытой и недоступна для модификации. Модель мобильности представляет собой набор файлов, в каждом из которых содержится траектория движения узла. Одна траектория может быть применима сразу к нескольким узлам. При создании траектории движения узла присутствует возможность выбора и изменения следующих значений: координаты узла, скорость в разных единицах измерения, высота над уровнем моря, скорость подъема, время ожидания в точке.

В сетевом симуляторе NS-3 модель мобильности хранится в одном файле. Изменяемых значений меньше: координаты и скорость узла. Однако, исходный код открыт и доступен для модификации. Основные усложняющие портирование различия моделей мобильности NS-3 и Riverbed Modeler представлены в таблице 3. Одной из особенностей Riverbed Modeler, которую необходимо учитывать при создании и портировании модели является возможность имитационного моделирования относительно большого отрезка времени (до 12 часов в версии для учебных заведений) за счет ускорения времени моделирования. В NS-3 имитационный эксперимент проводится в близком к реальному времени (скорость его выполнения зависит от производительности ЭВМ). Продолжительность имитационного эксперимента в NS-3, как правило, составляет 100-1000 секунд модельного времени.

Таблица 3 – Различия моделей мобильности Riverbed modeler и NS-3

NS-3 (.tcl)	Riverbed (.trj)
Один файл	Несколько файлов
км/ч, м/с	м/с, км/ч, мили/ч
Относительные и абсолютные координаты	Абсолютные координаты
Обычно малое время моделирования вследствие больших нагрузок на систему	Возможность моделировать большие (>24ч) промежутки времени

В связи с различиями в форматах данных, программной реализации, единицах измерения, одновременное использование нескольких симуляторов и портирование моделей между ними, является затруднительным. Поэтому возможность автоматизированного портирования моделей мобильности узлов может существенно сократить временные затраты разработчиков многошаговых беспроводных сетей.

Создание моделей МБС и проведение серий экспериментов. Модель мобильности узлов – это лишь часть имитационной модели многошаговой беспроводной сети. В качестве примера, рассмотрим процесс создания всей модели МБС в одном из самых популярных сетевых симуляторов NS-3. Во-первых, для получения навыков работы с сетевым симулятором, необходимо изучить большой объем документации (можно затратить нескольких месяцев). Во-вторых, сам процесс создания программного кода одной имитационной модели сети занимает более 20 минут. В случае подготовки, например, 100 имитационных экспериментов необходимо будет затратить, более 33 часов без учета времени их проведения и т.д.

Поэтому, авторы уделили особое внимание автоматизации процесса создания модели МБС. Создание модели и планирование серии имитационных экспериментов с использованием программного комплекса занимает порядка нескольких минут.

Программная реализация метрик маршрутизации и их интеграция в протоколы маршрутизации. Одним из преимуществ сетевого симулятора для разработчиков МБС-технологий является полная открытость исходного кода. Это позволяет модифицировать каждый из его элементов, что зачастую используется разработчиками для решения различных задач. Одной из таких задач является разработка новых или модификация существующих метрик маршрутизации. Здесь могут возникнуть трудности из-за сложной программной реализации сетевого симулятора. Разработанный программный модуль позволяет сократить объем модификаций программного кода протоколов маршрутизации, требуемого для встраивания маршрутной метрики и уменьшить время, затрачиваемое на изучение программной реализации конкретного сетевого симулятора. Эффект достигается за счет использования файла-шаблона, содержащего заготовки необходимых для маршрутной метрики функций, а также автоматизированного внесения изменений в файлы соответствующего протокола маршрутизации.

В целом, эффективность использования разработанного программного

комплекса можно оценить на следующем примере. Для создания модели без использования программного комплекса (при условии, что необходимые программные библиотеки уже изучены) в NS-3 потребуется около 22 минут, в том числе, 1 мин. – подключение библиотек, 5 мин. – создание узлов и параметров мобильности сети, 1.5 мин. – создание и настройка физического уровня сети, 1.5 мин. – создание и настройка канального уровня сети, 10 мин. – организация передачи данных между узлами сети, 3 мин. – исправление ошибок. Для создания модели с использованием программного комплекса потребуется порядка 1.5 минут: 1 мин. – выбор требуемых параметров, 0.5 мин. – запуск модели.

Заключение

Многошаговые беспроводные сети – активно развивающееся направление, объединившее в себе множество передовых разработок, применяемых в современных компьютерных сетях. Основные свойства МБС можно кратко охарактеризовать следующими словами: беспроводные, динамические, децентрализованные, мобильные. Перечисленные свойства позволяют быстро развертывать МБС независимо от наличия предварительно заданной наземной инфраструктуры, что делает возможным решение практически неограниченного спектра задач. Широкие возможности применения, в свою очередь, накладывают повышенные требования к тестированию МБС-технологий. Основным способом тестирования, на сегодняшний день, является имитационное моделирование с использованием специализированных программных средств – сетевых симуляторов. Различия сетевых симуляторов, недостаточный набор моделей, нечетко специфицированные сценарии, в том числе варианты использования, соответствующие предполагаемым областям практического применения МБС, затрудняют сравнение эффективности МБС-технологий.

Поэтому, для анализа эффективности применения той или иной МБС-технологии в различных условиях, необходимо специализированное программное средство, обеспечивающее возможность использования полученных другими исследователями результатов, посредством воссоздания максимально приближенных к проведенным этими исследователями имитационных экспериментов. В качестве такого средства авторами предложен программный комплекс, автоматизирующий процессы создания и портирования моделей, планирования серий имитационных экспериментов, документирования, сравнения сценариев и результатов моделирования. Эффективность применения программного комплекса подтверждается существенным снижением временных затрат и результатами проведенных экспериментов.

Литература

1. Хоров Е.М. Знакомство с современными беспроводными технологиями. Многошаговые беспроводные сети: принципы построения и открытые задачи [Электронный ресурс]. Режим доступа:

- <http://iitp.ru/upload/publications/6409/paper.pdf>. (Дата обращения: 05.07.2017).
2. Sampada Ganesh Datey, Taha Ansari. Mobile Ad-Hoc Networks Its Advantages and Challenges // International Journal of Electrical and Electronics Research. 2015. Vol. 3, N 2. P. 491-496.
 3. Rakhi Purohit, Bright Keswani. Design and Validation of New Routing Protocol in MANET for Optimal Performance // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. 2017. Vol.1. N 2. P. 156-160.
 4. Yashpreet Kaur, Mandeep Kaur. An efficient EPAR routing protocol in MANET based upon AACO // International journal of advanced research in computer science and software engineering. 2016. Vol. 6. N 8. P. 254-262.
 5. Seema Tiwari, Er. Prateek Singh. An Energy Saving Multipath AODV Routing Protocol in MANET // International Journal of Engineering And Computer Science. 2016. Vol. 5. N 11. P. 19088-19091.
 6. Ritu Sharma. A Secure and Proficient Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Networks using Genetic Mechanism // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2016. Vol. 4. N 6. P. 10844-10851.
 7. Lakshman Naik L, R. U. Khan, R. B. Mishra. Analysis of Node Velocity Effects in MANET Routing Protocols using Network Simulator (NS3) // International Journal of Computer Applications, 2016. Vol. 144, N 4. P. 145-150.
 8. Abdelkabir Sahnoun, Ahmed Habbani, Jamal El Abbadi. EEPR-OLSR: An Energy Efficient and Path Reliability Protocol for Proactive Mobile Ad-hoc Network Routing. // International Journal of Communication Networks and Information Security. 2017. Vol. 9. No. 1. P. 22-29.
 9. Hicham Touil, Youssef Fakhri. A Fuzzy-based QoS Maximization Protocol for WiFi Multimedia (IEEE 802.11e) Ad hoc Networks // International Journal of Communication Networks and Information Security, 2014. Vol. 6, No. 3. 217-225.
 10. Nyoman Gunantara, Agus Dharma. Optimal Path Pair Routes through Multi-Criteria Weights in Ad Hoc Network Using Genetic Algorithm // International Journal of Communication Networks and Information Security. 2017. Vol. 9. No. 1. P. 88-94.
 11. Nekrasov P., Fakhriev D. Transmission of real-time traffic in TDMA multi-hop wireless ad-hoc networks // Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC), 2015. P. 6469–6474.
 12. Владимир Михайлович Поляков, Акил Шаер Махмуд. Оценка производительности протоколов маршрутизации мобильных ad-hoc сетей (manet) // Информационные технологии. 2016. № 4. С. 64-71.
 13. ns-3 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nsnam.org>. (Дата обращения: 05.07.2017).
 14. Riverbed Modeler [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://https://www.riverbed.com/ru/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>. (Дата обращения: 05.07.2017).

15. Дискретно-событийное моделирование [Электронный ресурс]: курс лекций / А.В. Дигрис // Минск: БГУ. 2011. Режим доступа: <http://www.elib.bsu.by>. (Дата обращения: 21.06.2017).
16. RFC: 3561. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc3561>. (Дата обращения: 05.07.2017).
17. Павлов А.А., Датьев И.О., Шишаев М.Г. Разработка имитационных моделей для тестирования протоколов маршрутизации беспроводных многошаговых сетей // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2016. № 7. С. 90-101.
18. Старцев С.С. Модели распространения радиосигнала Wi-Fi [Электронный ресурс] // Информационная система «Конференции:». 2013. Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/MIT-2013/fulltext/146127/151267/Startsev.pdf> (Дата обращения: 05.07.2017).

УДК 621.317

Метод получения малоинерционного высокопрочного термопарного кабеля

П.А. Филиппович, аспирант, начальник сектора,
Акционерное общество «Научно-производственное объединение
измерительной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королев, Московская область

Получение малоинерционного высокопрочного термопарного кабеля в настоящее время проблематично. Актуальной задачей является минимизация тепловой инерционности и повышение прочности кабеля, на который воздействуют эксплуатационные факторы. Необходим поиск решения взаимосвязи и компромисса между прочностными и метрологическими характеристиками термопарного кабеля. Эту задачу предлагается решить с помощью ротационнойковки, путем получения переменного сечения чувствительного элемента термопарного кабеля. Показана принципиальная возможность создания такого высокопрочного термопарного кабеля, рассмотрены основные особенности и прогнозируемый результат его применения.

Термопарный кабель, инерционность, чувствительный элемент.

Method for obtaining a low-inertia high-strength thermocouple cable

P.A. Filippovich, Graduate student, head of sector,
Stock company «Scientific-production Association measuring equipment»
(SC «SP AME»), Korolev, Moscow region

Obtaining high-strength low-inertia thermocouple cable is currently problematic. An urgent task is to minimize the thermal lag and increase the strength of the cable is influenced by operational factors. It is necessary to search the solution of the relationship and compromise between strength and metrological characteristics of thermocouple cable. This task is proposed to solve by using rotary forging, by obtaining a variable cross-section of the sensitive element of thermocouple cable. We show the possibility of creating such a high-strength thermocouple cable and the basic features and predicted result of its use.

Thermocouple cable, lag, sensing element.

Одной из самых актуальных задач измерения температурных параметров при отработке и эксплуатации изделий ракетно-космической техники является минимизация тепловой инерционности первичных средств измерения (датчиков) и в первую очередь термометров, работающих в составе систем аварийной защиты (САЗ) жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). При этом не следует забывать о чрезвычайно высоких вибрационных перегрузках и

других эксплуатационных факторах, воздействующих на термометр в процессе работы ЖРД. В связи с этим, первоочередной проблемой конструирования термометров САЗ является поиск компромиссных конструкторско-технологических решений в обеспечение жестких технических требований с точки зрения как метрологических, так и надежности характеристик таких датчиков.

Изучение и анализ способов формирования чувствительных элементов (ЧЭ) термоэлектрических преобразователей, разработка технологических приемов в части увеличения их быстродействия, представляет повышенный научно-технический интерес в измерительной технике. Все вышеизложенное обусловлено актуальностью поиска метода получения малоинерционного высокопрочного термопарного кабеля.

Как известно [3, С.62], [8, С.246], [2, С.494], принцип действия термоэлектрических термометров (ТТ) основан на использовании термоэлектрического эффекта, при котором в месте контакта двух разнородных проводников, составляющих термопару, возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС), которая растет пропорционально разности температур спаев проводника. Термо-ЭДС температуры не зависит от длины, диаметра и удельного сопротивления термоэлектродов.

Термопарные кабели состоят из металлической оболочки и двух (или более) термоэлектродных жил, изолированных друг от друга [6, С.81] [4, С.48]. Рассмотрим конструкцию термопарного кабеля с рабочим спаем, оболочкой и двумя термоэлектродами, представленную на рисунке 1.

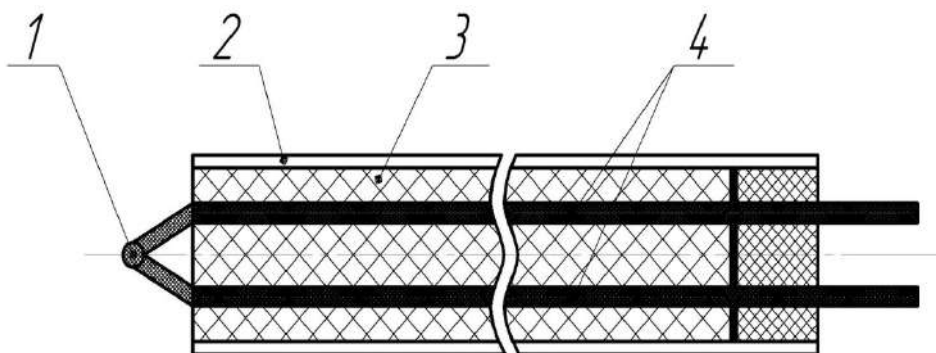


Рисунок 1 – Конструкция термопарного кабеля:

1 – рабочий спай; 2 – оболочка; 3 – изоляция; 4 – термоэлектроды

Можно наблюдать зависимость инерционности в зоне контакта от сечения горячего спая на примере хромель-алюмельных термопар, что приведено в таблице 1 [1, С.206].

Таблица 1 – Время установления теплового равновесия хромель-алюмельных термопар

Диаметр термоэлектродов, мм	Диаметр рабочего спая, мм	Время до установления теплового равновесия, с
0,5	1	0,6-0,8
1,2	2,4	1,20-1,6
1,5	3,0	1,6-2,1

Ключевой проблемой остается противоречие параметров инерционности и прочности: с одной стороны повысить прочностные характеристики кабеля можно за счет увеличения диаметра термоэлектродов. Однако это приведет к увеличению инерционности, а с другой уменьшение диаметра термопары приводит к уменьшению инерционности, но одновременно и снижению прочности, что недопустимо, так как система работает в условиях высокой вибрационной нагрузки и температуры.

Использование кабеля термопарного КТМС с переменным сечением позволит уменьшить инерционность за счет уменьшения массы горячего спая и сохранить прочностные характеристики термометров, что показано на рисунке 2.

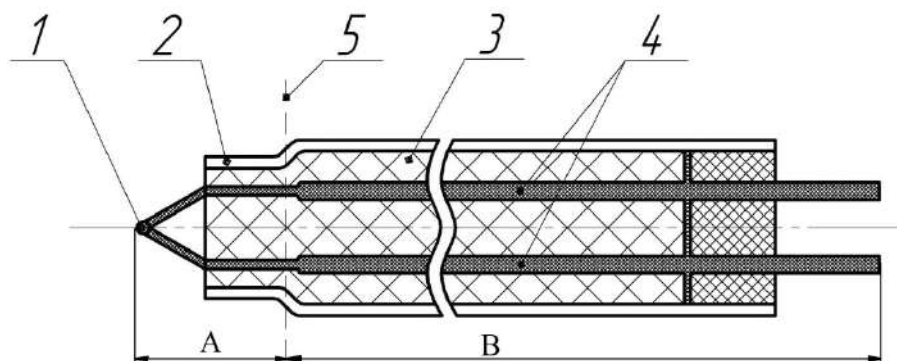


Рисунок 2 – Термопарный кабель с переменным сечением:

1 – рабочий спай; 2 – оболочка; 3 – изоляция; 4 – термоэлектроды; 5 – зона переменного сечения; А – участок уменьшенного сечения; В – участок без изменения

Для формирования такого спая наиболее перспективно использование ротационнойковки, так как по сравнению с точением, холодное ротационное обжатие обеспечивает не только экономию металла, но и более высокую производительность [5, С.177]. При этом заготовка может быть целая, полая цилиндрическая, конусная, квадратная и др. Ведь вследствие локальности деформирования на порядок снижается технологическое усилие, что обеспечивает значительное снижение металлоемкости оборудования.

Технологический процессковки отличается простотой, экономичностью, возможностью получения, как полуфабрикатов, так и готовых изделий.

Ковку заготовок из тугоплавких металлов осуществляют на молотах, прессах, ротационно-ковочных машинах [7, С.139].

Радиальное обжатие дает возможность формоизменения материалов без разрушения до значительных степеней деформации при высокой точности полученных изделий. Ротационно-ковочным способом можно достичь высоких степеней деформации без нагрева деталей. Этот способ может быть использован для деформации даже хрупких материалов [9]. Таким образом, с технологической точки зрения обосновано применение метода ротационного обжатия.

Рассмотрим сравнительные технико-экономические показатели обработки изделий методами ротационного обжатия, поперечной прокатки и свободной ковки и выделим основные показатели в таблице 2 [5, с. 178].

Таблица 2 – Сравнительные технико-экономические показатели обработки изделий методами ротационного обжатия, поперечной прокатки и свободной ковки

Наименование показателей	Ротационное обжатие		Поперечная прокатка		Свободная ковка
	Температурный режим обработки				
	Без нагрева	С нагревом	Без нагрева	С нагревом	С нагревом
Диаметр исходной заготовки в мм: сплошной полый	0,3-60 1-120	1-250 1-320	До 10 До 20	5-250 5-250	До 2800 До 630
Отношение длины обработанного изделия к диаметру заготовки: наибольшее наименьшее	Неограниченное Неограниченное		50-24 1,4-0,8	50-24 1,4-0,8	Неогран. Неогран.
Точность обработки в классах	2-3	4-5	2-3	5-9	11-12
Чистота обработанной поверхности	▼8▼9	▼6▼7	▼6▼7	~	~
Экономия металла по отношению к механической обработке в %	До 50	До 50	До 40	До 40	До 15

Из таблицы 2 можно наблюдать следующие технико-экономические преимущества ротационного обжатия без нагрева:

1) Диапазон исходного диаметра заготовки при ротационном обжатии шире, чем при поперечном прокате.

2) Ротационное обжатие позволяет использовать диаметр заготовки, независящий от длины обработанного изделия.

3) высокую точность обработки, которая для случаев холодного обжатия соответствует 2-3-му, а для горячей 4-5-му классу. [5, С.171], а по сравнению со свободной ковкой на 9 классов точнее.

4) Чистота поверхности ротационного обжатия на единицу качественнее по сравнению с другими методами.

5) По сравнению с поперечным прокатом экономия металла у ротационного обжатия на 10% больше, по сравнению со свободной ковкой на 35% соответственно.

Заключение.

Ротационнаяковка позволяет:

- 1) Использовать полую цилиндрическую заготовку;
- 2) Получить формоизменение изделия без разрушения;
- 3) Деформировать хрупкие материалы;
- 4) Произвести подачу изделия на глубину независимо от диаметра;
- 5) Получать высокую точность обработки;
- 6) Достигать высокую чистоту обработанной поверхности.

Предлагаемая базовая технология изготовления ЧЭ повышенной надежности с неизолированным рабочим спаем из термopарного кабеля КТМС включает в себя метод, путь и способ решения существующей проблемы, связанной с получением высокопрочного термopарного кабеля с пониженной инерционностью.

Выводы.

1) Приведен принцип действия ТТ, приведены показатели быстродействия ТТ, указана взаимосвязь параметров инерционности и механической прочности на основании чего показана актуальность решения принципа переменного сечения чувствительного элемента термoeлектронной термopары.

2) Предложено решение этой задачи путем внедрения метода получения высокопрочного термopарного кабеля с пониженной инерционностью.

3) С технологической точки зрения обоснованно применение ротационнойковки.

4) Приведены технико-экономические преимущества ротационного обжатия.

Литература

1. Данишевский С.К., Сведе-Швец Н.И. Высокотемпературные термпары // М.: «Металлургия». 1977. 232 с.
2. Дж. Фрайден. Современные датчики: Справочник. Пер. с англ. Ю.А. Заболотной // М.: Техносфера. 2006. 588 с.
3. Линеверг Ф. Измерение температур в технике. Справочник. Пер. с нем. // М.: Издательство «Металлургия». 1980. 544 с.
4. Лысиков Б.В., Прозоров В.К., Васильев В.В. и др. Температурные измерения в ядерных реакторах // М.: Атомиздат. 1975. 168 с.
5. Радюченко Ю.С. Ротационная ковка // М.: ГНТИ Машлит. 1962. 188 с.
6. Сучков В.Ф. и др. Жаростойкие кабели с магнизиальной изоляцией. 2-е изд., перераб. и доп // М.: Энергоатомиздат. 1984. 120 с.
7. Шаповал А.Н., Горбатюк С.М., Шаповалов А.А. Интенсивные процессы обработки давлением вольфрама и молибдена // М.: Руда и Металлы. 2006. 351с.
8. Шарапов В.М., Полищук Е.С. и др. Датчики: Справочное пособие / Под общ.ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука // М.: Техносфера. 2012. 624 с.
9. Оборудование для производства, каталог продукции [Электронный ресурс]. URL: http://prom.globatek.ru/metal_pressure/rotary_forging/ (дата обращения: 21.02.2017).

УДК 004.04

**Модель оперативного контроля проекта интеграции
информационно-управляющих систем**

Э.Э. Акимкина, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Разработана модель анализа, включающая в себя основные составляющие диаграммы Ганта и диаграммы Парето и анализа чувствительности проекта. Приведен пример применения этой модели для интеграции системы «ИС: Предприятие» как источника данных в систему поддержки принятия решений. При анализе чувствительности проекта поставлена задача выбора и оперативного расчёта времени и последовательности действий, влияющих на конечный результат. Предложена диаграмма чувствительности проекта, которая строится на основании расчета процента отклонения показателя от запланированного проектом и служит для контроля и перераспределения высвобождающихся в результате внедрения информационных технологий сотрудников.

Источники данных, средства анализа обработки информации, ранжирование затрат.

**Model of operational control of the project for the integration
of information management systems**

E.E. Akimkina, graduate student,

State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

An analysis model has been developed that includes the main components of the Gantt chart and Pareto diagrams and the sensitivity analysis of the project. An example of the application of this model for the integration of the IC: Enterprise system as a data source into a decision support system is given. When analyzing the sensitivity of the project, the task is to select and quickly calculate the time and sequence of actions that affect the final result. A sensitivity chart of the project is proposed, which is based on calculating the percentage of deviation of the indicator from the planned by the project and serves to control and redistribute the employees released as a result of the introduction of information technologies.

Data sources, analysis tools for information processing, cost ranking.

Введение

СППР работают с большими массивами разнородных источников данных, существуют различные алгоритмы извлечения этих данных. Источниками больших данных могут быть показатели, отслеживающих сложные системы датчиков, оцифрованные тексты на разных языках, поведение пользователей в интернете, фотографии из космоса, GPS-сигналы автомобилей и телефонов, транзакции клиентов банков, и многое другое. Реализация процесса извлечения данных из разнотипных источников очень сложна в силу большого разнообразия имеющихся форм представления информации, алгоритмы и методы извлечения данных для каждого конкретного случая нуждаются в адаптации [1], в определении способов хранения данных [2], в обеспечении единого унифицированного интерфейса [3]. Методическая поддержка для оценки качества инструментальных средств СППР должна быть доступна для всех пользователей и разработчиков [4]. В связи с этим возникает необходимость использования, по возможности, имеющихся средств анализа обработки информации. В случае внедрения новых инструментальных средств для СППР необходимо проводить оперативный контроль показателей проекта, в том числе регулярную проверку результатов выполнения текущих работ проекта для подтверждения того, что они соответствуют запланированным требованиям.

При организации СППР на предприятии целесообразно использовать в качестве источников данных систему «1С: Предприятие», так как в ней имеются данные обо всем, что происходит на предприятии, и объема этих данных достаточно для управления и принятия решений [5]. При осуществлении проекта интеграции дорогостоящей системы «1С: Предприятие» в СППР актуально сокращение временных и финансовых затрат на установку, а также на консультирование и обучение пользователей.

Результаты исследования

Эффективными средствами выполнения текущих работ проекта являются один из самых наглядных и простых методов сетевого планирования - диаграмма Ганта [6], а также диаграмма Парето [7], помогающие принимать правильные решения и оценивать правильность уже принятых решений на основе сравнительного подхода. Для их построения необязательно использовать специализированные программные продукты, достаточно средств стандартных приложений пакета MS Office [8].

На диаграмме Ганта главным ресурсом планирования является время, а основой принятия управленческих решений – сравнение запланированного и фактического состояния работ. При возникновении необходимости учета нескольких ресурсов возможно использование объемной (n -мерной) диаграммы Ганта. Существуют дополнительные методы анализа проекта: методы сетевого планирования, методы выбора «критического пути» для многовариантных взаимосвязанных цепочек работ в распределенных вычислительных и информационно-управляющих системах; метод имитационного моде-

лирования Монте-Карло и другие статистические методы. При разработке и внедрении инновационных проектов ставится задача предоставления простоты использования интерфейса инструментальных средств для анализа показателей проекта сотрудниками, не имеющими глубоких знаний в области теории вероятности, математической статистики, методов аналитического моделирования. Также существует необходимость оценить с помощью простых инструментальных средств степень влияния процента отклонения каждого входного показателя от запланированного проектом значения, на выходной показатель [9].

На рисунке 1 приведена построенная модифицированная модель анализа, включающая в себя основные составляющие диаграммы Ганта и диаграммы Парето, а также оценку степени влияния процента отклонения каждого входного показателя от запланированного проектом 100%-го значения, на выходной показатель.

В таблице 1 приведены входные показатели для планируемого проекта. На рис. 2 изображена диаграмма Ганта, построенная в соответствии с распределением времени на работы по интеграции системы «1С: Предприятие» и СППР.

Планирование времен работ с помощью диаграммы Ганта
Сравнение запланированного и фактического состояния работ с помощью диаграммы Ганта
Выявление наиболее трудоемких работ и анализ способов уменьшения их продолжительности с помощью диаграммы Парето
Анализ причин, ухудшающих показатели качества проекта, с помощью диаграммы Парето
Оценка степени влияния процента отклонения каждого входного показателя от запланированного проектом 100%-го значения, на выходной показатель

Рисунок 1 – Модель планирования работ и оценки чувствительности проекта с помощью диаграмм Ганта и Парето

Таблица 1 – Показатели проекта по внедрению «1С: Предприятие» в СППР

	Дата	Продолжительность
Экспресс обследование	05.09.2016	5
Отчет об экспресс обследовании	10.09.2016	2
Уточнение план-графика по конкретным работам	12.09.2016	3
Установка соответствующего ПО на серверах	15.09.2016	20
Описание формата переноса данных.	04.10.2016	3
Разработка механизмов загрузки данных в 1С	07.10.2016	5
Подготовка модели ведения учета	12.10.2016	3
Выполнение доработок согласно перечню	15.10.2016	3
Проведение обучение ответственных служб	18.10.2016	5
Развертывание базы для проведения эксплуатации	24.10.2016	3
Консультирование и обучение пользователей	27.10.2016	5
Доработка функционала системы	01.11.2016	10

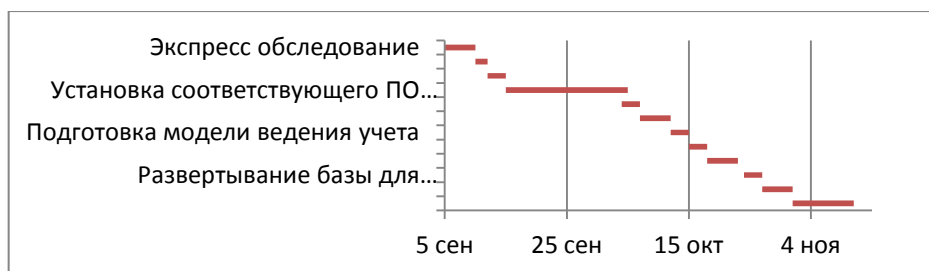


Рисунок 2 – Диаграмма Ганта, созданная в MS Excel

На основе анализа диаграммы Ганта (рисунок 2) можно сделать вывод, что наибольшую продолжительность имеют этапы «Установка ПО» на серверах и «Доработка функционала системы», которые занимают 20 и 10 дней соответственно. Следующими по продолжительности идут 4 этапа – «Экспресс обследование», «Разработка механизмов загрузки данных в 1С», «Проведение обучения ответственных служб», «Консультирование и обучение пользователей» – по 5 дней. Наименьшую продолжительность имеет этап «Отчет об экспресс обследовании».

На рисунке 3 приведена диаграмма Парето, построенная также по данным таблицы 1, с использованием ранжирования затрат на внедрение системы «1С: Предприятие».

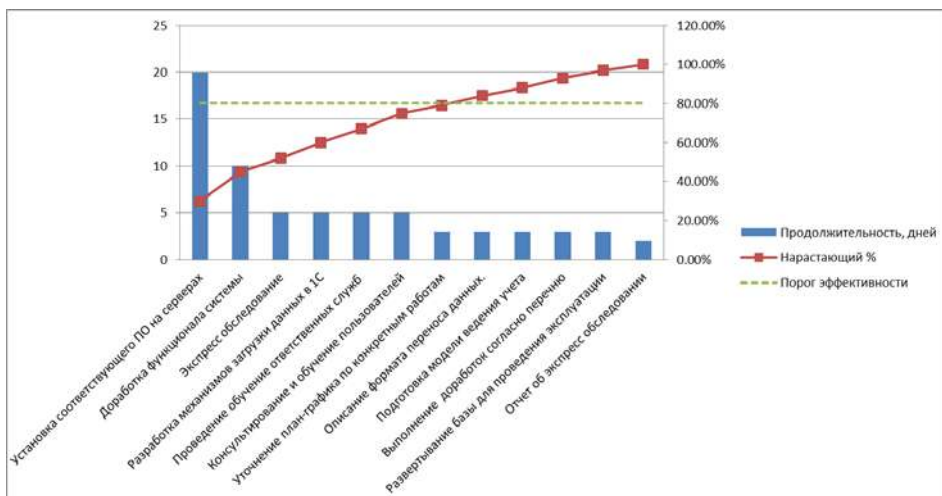


Рисунок 3 – Диаграмма Парето для анализа временных затрат на внедрение «1С: Предприятие» в СППР, созданная в MS Excel

На диаграмме рисунка 3 видно, что наиболее трудоемкий и сложный этап, от которого зависит 80% результата, это этап «Установка программного обеспечения (ПО) на серверах».

Сократить временные затраты на самые продолжительные этапы можно средствами привлечения большего количества сотрудников, распараллеливания работ. Уменьшать продолжительность остальных этапов нецелесообразно, т.к. количество дней и так гораздо меньше других этапов, а некоторые из них играют ключевую роль во внедрении системы 1С на предприятии, такие как первичное экспресс обследование или разработка механизмов загрузки данных.

На рисунке 4 представлены результаты уменьшения продолжительности наиболее трудоёмких этапов.

На рисунке 5 построена диаграмма Парето для анализа проблем, возникающих при внедрении системы «1С: Предприятие» в СППР. По диаграмме видно, что на внедрение системы 1С в СППР может влиять отказоустойчивость аппаратного и программного обеспечения и, возможно, чтобы ее устранить, необходимо привлечь большее число ответственных за внедрение работников. Это может обеспечить меньшую продолжительность установки ПО на серверах, доработку функционала системы. Также большим количеством сотрудников может быть проведен более тщательный экспресс анализ и в более краткий срок. При более тщательном обследовании также может до минимума уменьшиться этап «Уточнение план-графика по конкретным работам». Также следует построить более оптимальную схему обучения ответственных служб и в дальнейшем конечных пользователей, для примера обучать работников разных подразделений в несколько этапов на протяжении всего рабочего дня.

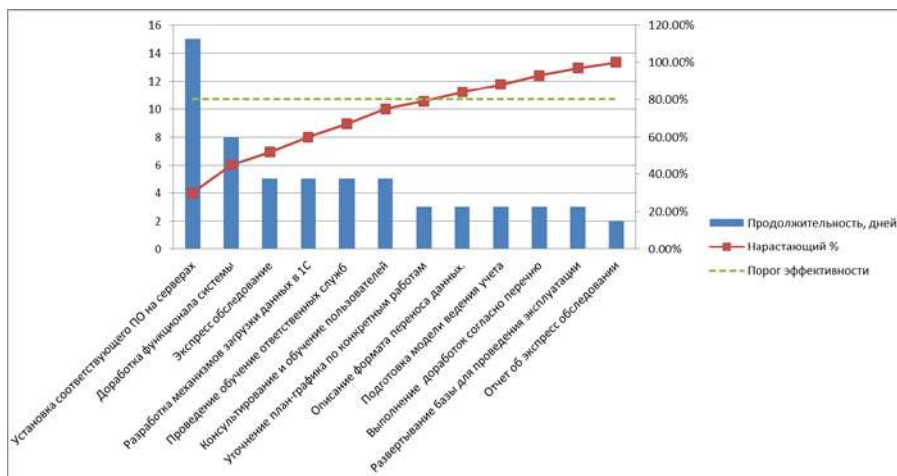


Рисунок 4 – Диаграмма Парето после корректировки продолжительности наиболее трудоёмких этапов внедрения системы

Остальные этапы находятся выше пересечения пунктирной и сплошной линий, т.е. не требуют 80% временных затрат.

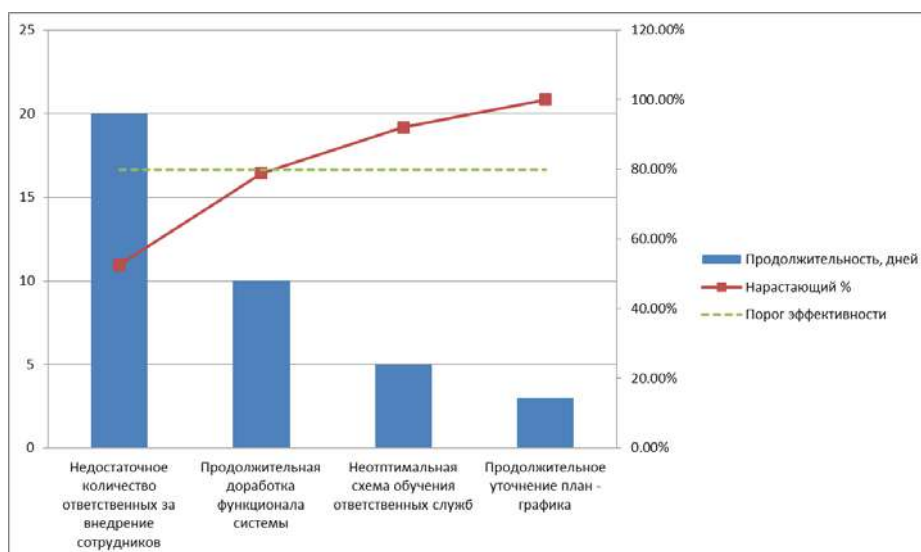


Рисунок 5 – Диаграмма Парето для анализа проблем, возникающих при внедрении системы «1С: Предприятие» в СППР

В диаграмме Парето анализируются важные моменты: 20% усилий, приносящих 80% результата, или 20% трудоемких операций, на выполнение которых уходит более 80% времени. Но в диаграмме Парето не учитываются менее значимые входные показатели, которые также оказывают влияние на проект. Предлагается ввести диаграмму оценки отклонений показателей от

показателей, запланированных проектом, для каждой ранжированной работы. Оценка проводится в соответствии с соотношением

$$\Delta T = T_i - T'_i, \quad (1)$$

где T_i – время на выполнение i -ой операции до корректировки длительности самых трудоемких работ; T'_i – время на выполнение i -ой операции после корректировки длительности самых трудоемких работ.

На основании данных, рассчитанных в таблице 2, представлена диаграмма оценки отклонений на рисунке 6.

Таблица 2 – Процент отклонения показателя от запланированного проектом, %

Этапы	Ранг работы	Продолжительность, дней		Процент отклонения
		до корректировки	после корректировки	
Установка соответствующего ПО на серверах	1	20	15	25
Доработка функционала системы	2	10	8	20
Экспресс обследование	3	5	5	0
Разработка механизмов загрузки данных в ИС	4	5	5	0
Проведение обучение ответственных служб	5	5	5	0
Консультирование и обучение пользователей	6	5	5	0
Уточнение плана графика по конкретным работам	7	3	3	0
Описание формата переноса данных.	8	3	3	0
Подготовка модели ведения учёта	9	3	3	0
Выполнение доработок согласно перечню	10	3	3	0
Развёртывание базы для проведения эксплуатации	11	3	3	0
Отчёт об экспресс обследовании	12	2	2	0

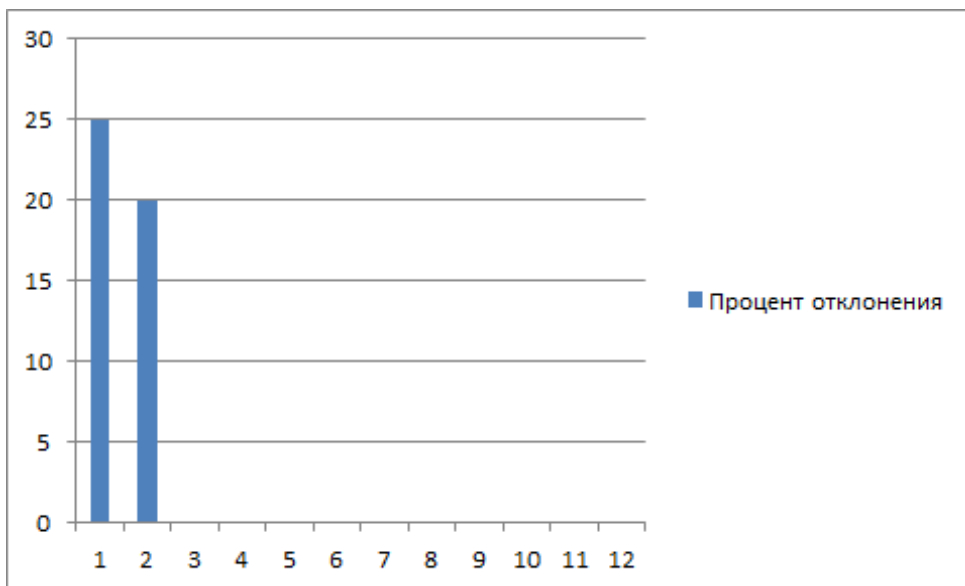


Рисунок 6 – Диаграмма для оценки отклонений показателей продолжительности работ

Диаграмма, изображённая на рисунке 6, полезна в тех случаях, когда в результате расчёта технико-экономических показателей проекта делается вывод о сокращении человеческих ресурсов в виде рабочих мест, так как внедрение новых методов с применением компьютерных технологий позволяет обойтись меньшим количеством сотрудников. Часть высвобождающихся сотрудников можно направить на выполнение наиболее трудоёмких операций, что обеспечит уменьшение времени на доработку функционала системы.

Заключение

Для оптимизации работ по интеграции информационно-управляющих систем, на примере внедрения системы «Предприятие-1С» в СППР, в первую очередь следует привлечь большее число сотрудников, отвечающих за внедрение данной системы, и уменьшить время доработки функционала системы. Приведены аналитические зависимости и диаграммы для расчёта чувствительности проекта, которые позволяют выбирать время и правильную последовательность действий, влияющих на результат.

Литература

1. Троценко Р.В., Болотов М.В. Процесс извлечения данных из разнотипных источников // Приволжский научный вестник. 2014. № 12-1 (40). С. 52-54.
2. Аббасов Э.М., Акимкина Э. Э. Достижение максимальной производительности при работе с крупными хранилищами данных // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2016): сб. статей VI международной заочной научно-технической конференции. Ч.1 / По-

- волжский гос. ун-т сервиса // Тольятти: Изд-во: ПВГУС. 24-25.03.2016. С. 7-12 (345 с.)
3. Белошицкий Д.А. Интеграция данных в информационных системах // Молодежный научно-технический вестник. 2013. № 8. С. 32.
 4. Аббасов А.Э., Аббасов Т.Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации // Информационно-технологический Вестник. № 3(05). 2015. С. 15-27.
 5. Узденёва Т.А. Система поддержки принятия решений, интегрированная с «1С: Предприятие» // Молодой ученый. 2011. № 3. Т.1. С. 105-107.
 6. Баранова Е.В., Граф А.А. Диаграмма Ганта // В книге: Современные экономика и общество: научный взгляд молодых Сборник статей и тезисов докладов XII международной научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. 2016. С. 26-29.
 7. Долженко Е.Ю. Диаграмма Парето как инструмент контроля качества реализуемого проекта // Теория и практика современной науки. 2016. № 12-1 (18). С. 386-389.
 8. Афанасьева Н.В. Диаграмма Ганта с помощью средств Microsoft Excel // В сборнике: Состояние, направления и перспективы развития среднего профессионального образования Сборник материалов Международной заочной научно-практической конференции. Ответственный за выпуск Г.Г. Волков. 2016. С. 22-26.
 9. Арасланов Т.Н., Каримова Э.К., Королева А.Ю. Разработка модифицированной модели анализа проекта // Наука и образование: новое время. 2017. № 1 (18). С. 1-5.

УДК 004

Обзор рынка CAE решений для гидро-, газодинамики турбомашин

Р.М. Коптилин, ведущий программист отдела ПО,
А.В. Гайнутдинов, заведующий учебно-научной лабораторией программных комплексов численного моделирования,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В данной статье приведен обзор рынка программных комплексов для решения задач гидро-, газодинамики турбомашин. В ходе работы был проведен анализ CAE систем для решения задач в данной области. В ходе анализа были рассмотрены основные возможности, физические модели, методы решения задач используемые в данном программного обеспечении. Было проведено сравнение функционала систем CFD анализа, были выделены одинаковые и различительные свойства систем моделирования процессов протекающих в турбомашиностроение.

Программные комплексы, гидро- и газодинамика, методы решения, системы моделирования.

Market overview CAE solutions for hydro, fluid dynamics of turbomachines

R.M. Koptilin, is a leading programmer of the Department software,
A.V. Gaynutdinov, head of educational-scientific laboratory of software systems of the numerical simulation,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

In this article the review of the market of software complexes for solving the problems of hydro- and gas dynamics of turbomachines is given. In the course of the work, CAE systems were analyzed to solve problems in this area. In the course of the analysis, the main possibilities, physical models, methods of solving problems used in this software were considered. Comparison of the functional of CFD analysis systems was carried out, the same and distinctive properties of the modeling systems of processes occurring in turbomachinery were identified.

Software complexes, hydro- and gas dynamics, solution methods, modeling systems.

Современное состояние информационно-вычислительной техники позволяет в прикладных сферах ставить и решать задачи, требующие

большого вычислительного ресурса, многопроцессорных технологий, эффективных средств визуализации моделируемых процессов, верификации полученных результатов, возможностей удобной постобработки.

Прикладная гидро-, газо-, термодинамика является одной из наукоемких прикладных областей, требующих больших вычислительных ресурсов и эффективных программных сред для моделирования, расчетов и анализа.

В настоящее время существует большое количество программных комплексов, как коммерческих, так и свободно распространяемых, позволяющих выполнять моделирование физических процессов, протекающих в турбомашиностроении. Проанализируем рынок программного обеспечения для решения задач гидро-, газо-, термодинамика турбомашиностроения.

Основные программные комплексы представленные на рынки:

- Altair AcuSolve
- ANSYS CFD (CFX, FLUENT)
- Autodesk CFD
- Fine turbo
- OpenFOAM
- COMSOL CFD Module
- FLOWVISION

AcuSolve представляет собой многоцелевой решатель конечных элементов для анализа течения жидкостей и газов (CFD-анализ) и обладает уникальной в своем классе устойчивостью, скоростью и точностью расчётов. **AcuSolve** предназначен для использования как проектировщиками, так и инженерами-расчётчиками на различных этапах проектирования конструкции [1]. Этот пакет является средством решения задач вычислительной гидродинамики (CFD), который способен решать самые сложные производственные и научные задачи. В его основе лежит метод конечных элементов. Технология устойчивости и масштабируемости алгоритмов-решателей AcuSolve обеспечивает высокую точность на полностью неструктурированных сетках.

Возможности программного комплекса AcuSolve:

- Полностью в сочетании давления / скорости решатель для всех поддерживаемых режимов потока
- Полностью в сочетании решатель температуры / потока для высокой плаучестью потоков
- Все функции, поддерживаемые с распределенными, общий, и гибридные передачи сообщений режимов
- 2-го порядка пространственная точность для всех неструктурированных топологий элементов: 4-узловой тетраэдр, 5-узел пирамиды, клин 6-узел, кирпич 8-узел

- 2-го порядка интегрирования точного времени для моделирования переходных процессов
- Несжимаемый и дозвуковой сжимаемого Стокса и уравнение Навье-Стокса
- уравнения переноса Многовидовые
- 2 жидкость несмешивающейся многофазная модель с интерфейсом слежения
- Моделирование вязкоупругого материала
- Тепловое транспорт и теплообмен сопряженная
- Многослойные термические уравнения оболочки
- Серый корпус корпус модели излучения с расчетом коэффициента параллельного просмотра
- Солнечная модель излучения
Модели турбулентности представленные в AcuSolve:
- Динамическая модель LES
- Постоянный коэффициент Смагоринского LES модель
- Отдельный Eddy Simulation (DES)
- DES-1997, DDES, IDDES
- SST-DES
- Рейнольдс усредненные модели Навье-Стокса (РАЕН):
- Spalart-Allmaras
- SST
- Wilcox 2006 $k-\omega$
- BSL- $k-\omega$
- Реализуемая $k-\epsilon$
- ГСЧ $k-\epsilon$
- Стандартный $K-\epsilon$
- Бурные модели переходных (совместимые с Спаларта-Allmaras и модели SST РАЕН / DES):
- γ модель одного уравнения
- γ -Re θ модель два уравнения

При построении сетки используется технология «Перемещения Mesh», произвольное Лагранжево Эйлерово (ALE) движение сетки, движения с интерполяцией сетки, свободная поверхность движение сетки, руководство движения поверхности сетки, неконформные / скользящие интерфейсы сетки. В программном комплексе AcuSolve так же реализованы решения задач multiphysics и аэроакустики.

Программный комплекс **ANSYS CFD (CFX, FLUENT)** является модулями семейства программ ANSYS. Они используется для расчетов в области вычислительной гидрогазодинамики. Основная сфера этого пакета применения – моделирование многофазных потоков, химической кинетики, горения, радиационного теплообмена, жидкостно-структурного взаимодействия [2].

Основные физические модели, используемые в программном

обеспечении, позволяют выполнять моделирование с использованием таких технологий и в таких прикладных областях как:

- Турбулентность. В этой сфере используются RANS-модели, $k - \varepsilon$, $k - \omega$, SST, модель турбулентных напряжений Рейнольдса, модели расчета больших вихрей (LES-модели), модели изолированных вихрей (DES-модели), SST-модели для расчета таких параметров, как кривизна линий течения, прогнозной модели перехода от ламинарного течения к турбулентному (модель Menter-Langtry Y-6 model), новой Scale-Adaptive Simulation(SAS) модели для течений, в которых недостаточно использовать статичные модели турбулентности.

- Вращающиеся машины. ANSYS CFX имеет полный набор моделей для расчета взаимодействия между вращающимися и статичными компонентами, обладает специальной рабочей средой для препроцессинга, постпроцессинга турбин и полностью соответствует требованиям специалистов в области гидрогазодинамики турбин

- Многофазные потоки. ПО позволяет выполнять моделирование многофазных потоков жидкостей и газов, пузырьковые потоки, потоки капель, частиц и потоки со свободной поверхностью, модель переноса Лагранжа (Lagrangian transport model), статистическая модель столкновения частиц и квазистатическая модель тонкого слоя, многофазная модель Эйлера, модель групп разных размеров (MUSIG model) .

- Теплообмен и радиационный теплообмен. Здесь можно выполнять расчет конвективного переноса энергии потоком жидкости или газа. ANSYS CFX обладает функцией сопряженного теплообмена для расчета теплопереноса в твердых телах, содержит широкий набор моделей для расчета всех видов радиационного теплообмена в жидкостях, газах, твердых телах, а также между ними независимо от того, являются они полупроницаемыми, полностью проницаемыми или непроницаемыми для теплового излучения.

- Горение. В этой прикладной сфере возможно моделирование химических реакций и процессов горения, связанных с течением жидкости или газа, будь то моделирование горения в газовой турбине, автомобильном двигателе, угольной топке или оценка пожарной безопасности вокруг и внутри зданий или других конструкций.

- Жидкостно-конструкционное взаимодействие. Здесь выполняются расчеты в области гидрогазодинамики и механики твердых тел. Возможны и односторонние, и двусторонние расчеты в рамках рабочей среды ANSYS Workbench от постановки задачи до постпроцессинга

- Движущаяся сетка, повторное создание сетки и погруженные в текучую среду твердые тела. В модуле ANSYS CFX присутствует большое количество возможностей для моделирования влияния твердого тела на течение жидкости или газа. Технологию деформации сетки, применяемую при расчетах жидкостно-конструкционного взаимодействия для обеспечения большого диапазона движения при фиксированной топологии сетки, можно объединить с повторным управляемым созданием сетки для того, чтобы

учесть даже самое сложное движение геометрии.

В основе расчетной технологии ANSYS CFX лежит решатель Algebraic Coupled Multigrid. ANSYS CFX использует сетку конечных элементов (числовые значения в узлах сетки), схожую с теми, например, что используется в анализе прочности, для дискретизации области.

Autodesk CFD имеет встроенный мощный решатель для комплексных расчетов задач динамики жидкостей и газов. Возможности CFD показывают значительное снижение времени расчетов на мощных многоядерных компьютерных системах. Архитектура CFD идеальна для многопроцессорных систем и кластеров с несколькими узлами[4].

Autodesk CFD обладает широкими возможностями и поддерживает моделирование многих физических процессов, а именно:

- внутренний несжимаемый поток;
- внешний несжимаемый поток;
- теплопередача;
- периодические граничные условия;
- нестационарные потоки;
- свободная поверхность (Volume of Fluid - VOF);
- скалярное смешивание;
- испарение;
- прогнозирование мест возникновения кавитации;
- излучение;
- солнечный нагрев;
- сжимаемые потоки;
- нагрев под действием электрического тока;
- вращающиеся машины (осевые компрессоры, насосы, вентиляторы);
- визуализация дыма;
- тепловой комфорт;
- прогнозирование мест возникновения эрозии;
- теплообменники;
- компактные тепловыделяющие модели;
- печатные платы;
- термоэлектрические компоненты;
- тепловые радиаторы;
- проницаемые материалы.

Autodesk CFD позволяет выполнить процесс расчета не только на локальном компьютере, но и использовать облачные сервисы компании Autodesk. Когда расчетная модель готова, то при наличии действующей учетной Autodesk ID и наличии специальных облачных кредитов (Autodesk Cloud Credits), модель может быть отправлена в облако, где будет произведен расчет. Результаты расчета будут загружены на компьютер пользователя автоматически по окончании. При решении задач в облаке, ресурсы локального компьютера остаются свободными, и пользователь может выполнять другую работу.

FINE/Turbo – первый в мире узкоспециализированный расчетный 3D-CFD программный комплекс (ПК) высокого уровня, ориентированный на решение специализированных задач турбомашиностроения (подходит для любых типов лопаточных машин), предназначен для CFD моделирования турбомашин, расчетный CAE программный комплекс высокого уровня, ориентированный на решение специализированных CFD задач турбомашиностроения и лопаточных машин[6]. FINE/Turbo является самым быстрым CFD пакет для вращающихся машин с несжимаемых и сжимаемых жидкостей от дозвуковых до гиперзвуковых режимов течения. Все типы многоступенчатый осевых, радиальных или смешанного потока конфигураций поддерживаются: компрессоры, турбины, насосы, вентиляторы, воздушные винты или противоположного вращения винтов. Из сетки для визуализации результатов, приложение-ориентированный графический пользовательский интерфейс FINE/Turbo является интуитивно понятным, что позволяет быстро проекта настройки и анализа.

Основные возможности FINE/Turbo являются:

- Явный структурированный, неявный - CPU Booster, распараллеливание
- Большой набор граничных условий
- Большой набор Моделей Турбулентности (BL, SA, k-e, k-w, SST, EARSM, v2-f)
- DES/LES
- Ламинарно-турбулентный переход в ПС
- Интерфейсы ротор-статор стационарные/нестационарные (mixing plane, frozen rotor, phase-lagged, sliding)
- Сжимаемые/несжимаемые потоки, вязкие/невязкие, ламинарные/турбулентные, большой набор моделей состояния (+база материалов), совершенный/реальный газ
- Фазовые переходы (конденсация, кавитация, учет термодинамических таблиц)
- Сопряженный теплообмен
- Взаимодействие твердая частица – поток

Пионерское решение (**NLH**) – не реализовано ни у одного из конкурентов – уникальное решение NUMECA для совместного расчета подвижных и неподвижных расчетных областей с целью быстрого получения нестационарного решения для многоступенчатых машин при несовпадающих периодических границах. В том числе имеется возможность исследовать Clocking Effect.

Преимущества программного комплекса FINE/Turbo заключается в следующем:

- Расчёт производится только в одном лопаточном канале, что значительно снижает число вычислительных узлов и требуемый объем памяти компьютера

- Полученное нестационарное решение может быть реконструировано на все ряды лопаточного венца
- Данный метод исключает вероятность появления разрывов параметров на границах смещения потока (выполнение законов сохранения на границе ротор – статор)
- Значительно снижает время, затрачиваемое на получение результата по сравнению с классическим нестационарным методом, но при этом имеет высокую точность решения

OpenFOAM – свободно распространяемый инструментальный вычислительной гидродинамики (CFD) для операций с полями (скалярными, векторными и тензорными). В основе лежит набор библиотек, предоставляющих инструменты для решения систем дифференциальных уравнений в частных производных как в пространстве, так и во времени[3]. Рабочим языком является ООП C++.

Можно выделить основные возможности системы **OpenFOAM**:

- Использование метода контрольного объема на базе многогранных ячеек с поддержкой подвижных сеток;
- URANS/LES/DNS моделирование;
- Использование SIMPLE/PISO/PIMPLE алгоритмов для связи уравнений скорости и давления;
- Несжимаемые/сжимаемые и стационарные/нестационарные потоки;
- Сопряженные задачи (жидкость - тело);
- Решение уравнений движения тела с 6 степенями свободы;
- Решение задач динамики разряженного газа;
- Многоблочная сетка и декомпозиция расчетной области (Metis, Scotch);
- Параллельная версия (до 2000 ядер), поддержка версий MPI;
- Поддержка структурированной/неструктурированной сетки;
- Импорт сеток из различных коммерческих и открытых пакетов.
- Использование возможностей объектно-ориентированного программирования на C++;
- Представление уравнений МСС с помощью естественного языка программирования;
- Решение уравнений эллиптического, параболического, гиперболического типа;
- Разбиение кода на небольшие самостоятельные единицы;
- Совместимость с доступными открытыми кодами и компиляторами (gcc, python);
- Возможность разработки собственных модулей (граничные условия, библиотеки модели среды, решатели, утилиты).

Основные физические модели, используемые в программном обеспечении OpenFOAM:

- простые уравнения Лапласа;
- уравнения Навье-Стокса;
- уравнение переноса для пассивного скаляра;
- модели несжимаемой жидкости;
- модели сжимаемой жидкости;
- многофазные потоки;
- прямое численное моделирование (DNS) и крупных вихрей (LES);
- модели горения;
- переходные режимы для пожаров и турбулентной диффузии пламени;
- методы молекулярной динамики;
- моделирование методом Монте-Карло;
- электромагнитные модели;
- позволяет решать уравнение Блэка-Шоулза для цен сырьевых товаров;
- моделирование методом крупных вихрей и прямое численное моделирование.

Методы решения, используемые в ПО OpenFOAM следующие: численный метод, решение систем линейных уравнений, решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений, параллельные вычисления, динамическая сетка.

COMSOL CFD Module является программным комплексом численного моделирования, платформой для вычислительной гидродинамики (CFD), которая точно описывает процессы потока текучей среды и инженерных конструкций. Программный комплекс моделирует большинство аспектов течения жидкости, в том числе сжимаемой, неизотермической, неньютоновской, многофазных и пористых медиапотоков – все в ламинарном и турбулентном режимах течения. Для полного контроля над моделями CFD, имеется возможность вводить свои собственные уравнения в программном обеспечении.

FlowVision имитирует многомерные стационарные/нестационарные, слабосжимаемые/несжимаемые потоки жидкости в различных промышленных и природных объектах [5]. Применение разных модификаций турбулентности и адаптивной вычислительной сетки дает возможность имитировать непростые движения веществ. FlowVision базируется на конечно-объемном методе решений уравнений гидрогазодинамики и применяет прямоугольную адаптивную сетку с местным измельчением.

Основные возможности **FlowVision** заключаются в следующем:

- до-, транс-, сверх- и гиперзвуковое трехмерные течения;
- стационарные/нестационарные задачи;
- ньютоновская и неньютоновская жидкость;
- многоскоростное приближение;
- морфология: сплошная, дисперсная (пузыри, частицы, капли);

- неинерциальная система координат;
- моделирование турбулентности;
- моделирование свободной поверхности;
- теплоперенос;
- горение многофазного течения;
- модель массопереноса;
- электрогидродинамика;
- модель зазора:
- управление вязкостью;
- электропроводимость;

В системе FlowVision для решения задач используются следующие методы: конечно-объемный метод, явный и неявный методы, неявный алгоритм расщепления для решения уравнения Навье-Стокса, решение систем линейных алгебраических уравнений, сопряженного градиента с использованием неполного разложения Холесского, модифицированный метод поточечной верхней релаксации.

Таблица 1 – Сравнение CFD комплексов

№ п/п	Функциональные возможности	Системы моделирования						
		ANSYS CFX	Open FOAM	Flow Vision	Autodesk CFD	COMSOL CFD Module	Altair AcuSolve	Fine turbo
1.	Тепловой анализ и термодинамические расчеты	+	+	+	+	+	+	+
2.	Расчет прочности	+	+					
3.	Решение задач механики и динамики жидкости и газа	+	+	+	+	+	+	+
4.	Решение задач электродинамики	+		+	+			
5.	Моделирование химических систем	+	+	+	+			+
6.	Решение задач акустики	+					+	+

№ п/п	Функциональные возможности	Системы моделирования						
		ANSYS CFX	Open FOAM	Flow Vision	Autodesk CFD	COMSOL CFD Module	Altair AcuSolve	Fine turbo
7.	Проектирование и расчет технологических процессов	+				+	+	+
8.	Интеграция с другими пакетами	+	+			+	+	+
9.	Использование имеющихся и возможность создания новых баз данных	+	+		+	+	+	+
10.	Возможность анализа и расчета аэро- и гидродинамики	+	+	+	+			+
11.	Экспорт данных расчетов	Excel, программные коды	Txt, программные коды		Word, Excel, специальные форматы и интерфейсы	Word, Excel, специальные форматы и интерфейсы		Экспорт результатов (графики, поля) в проприетарных и открытых форматах файлов

№ п/п	Функциональные возможности	Системы моделирования						
		ANSYS CFX	Open FOAM	Flow Vision	Autodesk CFD	COMSOL CFD Module	Altair AcuSolve	Fine turbo
12.	Работа с геометрией	Создание внутри системы, импорт из CAD-систем	Импорт из CAD-систем	Импорт из CAD-систем	Создание внутри системы, импорт из CAD-систем	Создание внутри системы, импорт из CAD-систем	Создание внутри системы, импорт из CAD-систем	Создание внутри системы, импорт из CAD-систем
13.	Типы сеток	Поверхностные треугольные сетки и тетраэдральные сетки	Неструктурированная сетка	Ортогональная сетка	Конечноэлементная сетка	Конечноэлементная сетка	<ul style="list-style-type: none"> • Неконформные / Скользящие интерфейсы сетки, • Конечноэлементная 	блочнo-структурированная сетка

В настоящее время невозможно производство турбомашин без применения CAE-систем. Многообразие CAE систем вызвано функциональным различием. Предприятия используют CAE решения, которые отвечают конкретным условиям для решения своих задач, это вызвало такое разнообразие систем.

Заключение. Использование программного обеспечения при проектировании позволяет улучшить характеристики турбомашин, существенно сэкономить время и деньги.

Литература

1. AcuSolve [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hyperworks.com/mechlab.ru/article/hyperworks-solver-acusolve> (дата обращения: 23.03.2017).
2. ANSYS CFX [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ansys.com/>.
3. OpenFOAM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.openfoam.com/> (дата обращения: 24.04.2017).
4. Autodesk Simulation CFD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.autodesk.ru/products/simulation/features/simulation-cfd/all/gallery-view> (дата обращения: 25.04.2017).
5. FlowVision [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://flowvision.ru/> (дата обращения: 25.04.2017).

6. Fine/turbo [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://
http://www.numesa-ru.com/](https://http://www.numesa-ru.com/) (дата обращения: 29.04.2017).

УДК.004.942

Дифференцированный уровень обслуживания в мультисервисных центрах обработки вызовов с адаптацией серверов

М.Ю. Неустроев, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем,
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», г. Королев, Московская область

В статье изучаются крупномасштабные системы обслуживания с несколькими классами клиентов. Рассматривается вопрос необходимого количества серверов и соответствие с требованиями клиентов для снижения затрат на персонал в условиях ограничения качества обслуживания на уровне класса. Произведена характеристика схемы планирования и кадрового обеспечения, которые являются асимптотически оптимальными в ограниченных условиях, так как нагрузка на систему возрастает до бесконечности. Асимптотические режимы рассмотрены в соответствии с качеством и эффективностью управления, качеством управления и эффективностью управления в рамках одного класса обслуживания.

ЦОВ, качество обслуживания, дифференцированные услуги, интеллектуальная маршрутизация, динамический приоритет, уровень обслуживания, нагрузка.

Differentiation service of level in multiservice call centers with adaptation servers

M.Yu. Neustroev, graduate of the Department of Management, State Educational Institution of Higher Education Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

In this article study large-scale service systems with several classes of customers. The following question of the necessary number of servers and compliance with the requirements of customers to reduce the cost of personnel in conditions of limiting the quality of service at the class level is considered. The characteristics of the planning and staffing scheme that are asymptotically optimal under constrained conditions are made, since the load on the system increases to infinity. Asymptotic modes are considered in accordance with the quality and efficiency of management, the quality of management and the effectiveness of management within a single class of service.

Call centers, quality of service (QoS), differentiation services, intelligent routing, dynamic priority, service level, load.

Введение

Современные системы обслуживания стремятся предоставить клиентам индивидуальный подход, который нацелен на потребности клиента. Последние тенденции включают в себя опции сегментирования рынка самостоятельным выбором, многоязычной поддержки и индивидуальным подходом к кросс-продажам. При этом растет уровень кастомизации сервиса, а разнообразие предоставляемых услуг любой организацией становится все более высоким. Такое разнообразие услуг требует, чтобы обслуживающий персонал обладал большим набором теоретических и практических навыков. Уже давно признано, что во избежание чрезмерного переполнения кадровых ресурсов, не менее важно проводить запланированные практикумы, теоретические семинары и перекрестное обучение представителей сервисных служб, а также обеспечить эксплуатацию серверов с возможностью масштабирования. Однако, чтобы воспользоваться всеми преимуществами такого уровня гибкости необходимо создать эффективное клиент-серверное распределение поступающих вызовов, рациональное использование кадровых ресурсов (операторов ЦОВ) и проведение перекрестного обучения персонала для взаимозаменяемости. Этим кадровым и управленческим проблемам сейчас уделяется повышенное внимание и вклад данной работы заключается в решении данных проблем [1].

Моя работа во многом мотивирована состоянием современных мультисканальных распределенных ЦОВ, которые состоят из десятков, сотен агентов (операторов), задачи которых обеспечить максимальное удобство потребителей для выполнения различных потребностей и запросов. Примером таких запросов могут быть банковский сектор и услуги, страхование, справочные и экстренные службы, различные социально-значимые элементы. В центрах такого класса клиент характеризуется потребностью своих услуг и относительной важности для организации, предоставляющей ему эти услуги. В работе представлена модель мультиклассовой системы очередей, использующая многочисленное количество серверов и называется V-модель (или VEE модель). Данная модель направлена на упрощение понимания сложностей в разработке информационных систем (ИС) и представлена на рисунке 1.

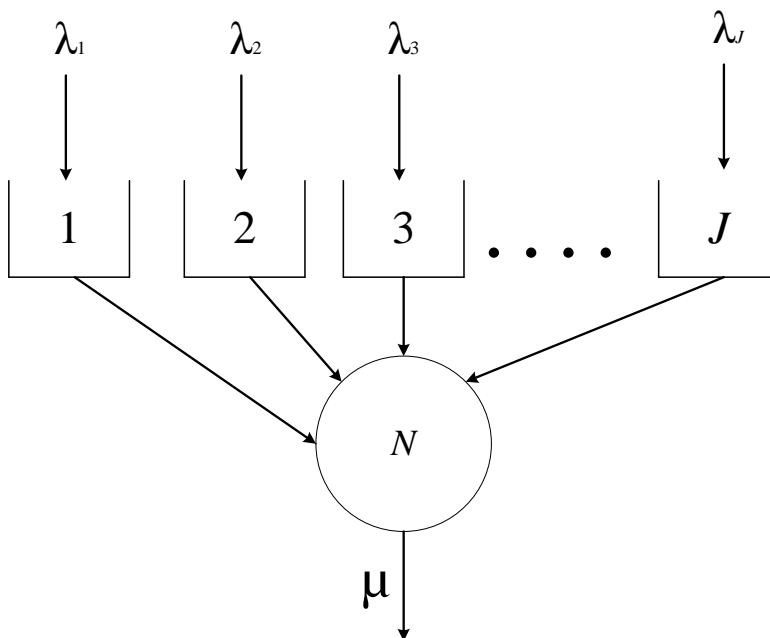


Рисунок 1 – V-модель: многоклассовость в работе с клиентами с использованием одноптипного сервера

Разумеется, менеджеры ЦОВ (супервайзеры) стремятся обеспечить высокое качество обслуживания клиентов с точки зрения эксплуатационных показателей эффективности и других, менее ощутимых критериев качества обслуживания. С практической точки зрения, качество обслуживания выражается в различных показателях. К ним относятся скорость ответа из очереди (ASA), показатель сброшенных вызовов (Abn, %) и уровень сервиса (SL – service-level). SL измеряет долю вызовов, которые были обработаны оператором в течение заданного «уровня обслуживания». В данном случае можно применить пропорцию 80/20. Это означает, что задачей ЦОВ является обслуживание 80% входящих вызовов оператором в течение первых 20 секунд. Цели SL могут быть определены внутри ЦОВ или как альтернатива, они могут быть основаны на партнерском соглашении между ЦОВ и клиентами. Чем выше количество обработанных вызовов и оперативность персонала, тем выше уровень и качество обслуживания. Необходимо понимать, что пропорция 80/20 или выше, как правило, прослеживается в ЦОВ, в котором отработаны бизнес-процессы, нагрузка прогнозируется сервисными моделями, а форс-мажорные ситуации близки к нулю [2].

Но, тем не менее, общего стандарта в отрасли мультисервисных ЦОВ пока не существует, а нормы устанавливаются бизнес-идеями и целями конкретной компании. Для определения численности операторов, которые будут предоставлять услуги с желаемым качеством обслуживания и оценки производительности, многие ЦОВ на сегодняшний день используют С-формулу

Эрланга в качестве модели нагрузки, в основе которой лежит один из классов системы массового обслуживания с ожиданием $M/M/n$ (Эрланговская система с ожиданием – $M/M/n$), соответствующий стабильной производительности. Данная система описывает равенство предложенной нагрузки и обслуженной нагрузки, ввиду отсутствия блокировки попыток вызовов. Обобщая этот подход, исследователи предложили использовать V -формулу Эрланга, которая включает в себя структуру, стратегию и нагрузку. Эта модель была утверждена разработчиками инструментов управления и персоналом, а, следовательно, в ЦОВ становится более распространенной. Но что, если задачей менеджера ЦОВ является обеспечение дифференцированного уровня обслуживания для разных классов потребителей? В данной работе изучается V -модель, которая является естественным продолжением модели нагрузки S -формулы Эрланга и модели V -формулы Эрланга, позволяющие манипулировать ситуацией, в которой преимущественен дифференцированный уровень обслуживания.

В мультисервисных ЦОВ (МЦОВ) клиенты уже научились рассчитывать на дифференцированное обслуживание. Некоторые организации имеют специальное обозначение класса, в котором клиенты получают дифференцированный подход в зависимости от их класса назначения. Кроме того, МЦОВ предоставляют услуги по нескольким организованным каналам связи. Предоставляемые услуги будут оказываться в зависимости от выбранного клиентом канала обращения (WhatsApp, Telegram, Viber, факс, почта, e-mail и т.д.). Например, большинство МЦОВ обрабатывают запрос клиента по телефону быстрее, нежели запрос, поступивший по e-mail. Большинство центров по оказанию информационных услуг автоматизируют свои процессы, перенося их в мессенджеры и социальные сервисы, которые сейчас набирают популярность для всех классов клиентов, как самый быстрый и простой способ получения информации по услугам.

Для оценки уровня обслуживания дифференцированного элемента нашей модели, назначается ограничение на уровень обслуживания для каждого класса обслуживания, который является относительно важным для МЦОВ. Кроме того, на модель накладывается глобальное ASA-ограничение, у которого меньше ограничений, чем у SL. Классы, которые не имеют индивидуального ограничения по уровню обслуживания (имеющие приоритет над остальными) называются негарантированным классом (негарантированной доставкой) или наилучшим сервисом доставки данных. Эта формулировка является естественной в аутсорсинговой сфере, где аутсорсер может иметь глобальное ограничение QoS в дополнение к конкретным договорам клиентов [3].

В отношении V -модели стоит задать следующий вопрос: Сколько серверов требуется и каким образом сопоставить их с клиентским контролем для минимизации кадровых расходов при условии уровня обслуживания и ASA-ограничений?

Кадровое обеспечение и контроль управления как правило создаются в различных временных масштабах. Управление ЦОВ осуществляется в режиме реального времени, и супервайзеры распределяют нагрузку между по-

токами данных, но кадровое обеспечение на практике принимается на еженедельной основе, а иногда и реже. Для принятия решения о кадровом укомплектовании в ЦОВ достаточно знать только общий объем вызовов, а остальные показатели используются только с целью контроля. Чтобы избежать не рационального принятия решений контроля кадрового обеспечения в ЦОВ следует рассмотреть данную проблему более детально.

Данный подход в решении кадровых и управленческих вопросов является асимптотическим и характеризуется планированием кадровых схем, которые являются асимптотически оптимальными по совокупности повышения скорости поступления вызовов. Анализ такого подхода является глубоко техническим, но конечные результаты изложены в довольно простой форме, доступной для менеджеров управления.

В общей структуре многоканальной системы массового обслуживания (многоканальная СМО) интенсивно поступающего трафика, сохраняется сосредоточенность на трех более конкретных режимах: качество и эффективность управления, качество управления и эффективность управления.

Основные результаты

Основные результаты данной работы заключаются в следующем:

Совместные проблемы кадрового обеспечения и управления разъединяются на две отдельные проблемы, где:

Штатное расписание такое же, как в одноклассовой системе с общей суммарной скоростью поступления вызовов, а также глобальным ASA-ограничением. Данное правило можно назвать *правилом одноклассового кадрового обеспечения*.

Управление в режиме реального времени обеспечивает дифференцированное качество обслуживания между различными классами клиентов посредством правила планирования *предельного приоритета незанятого сервера*, где предел находится на минимальном значении простоя сервера перед тем как произойдет назначение класса клиента конкретному серверу. Предельные значения, связанные с этим правилом, являются независимыми и их значения легко определяются в зависимости от параметров системы.

Таким образом, управление кадрами имеет высокий приоритет при обслуживании клиентов. Нет необходимости в получении информации частоты поступления вызовов в одноклассовой системе. Когда эти показатели станут известны в режиме реального времени, станет возможным принятие управленческих решений кадрового обеспечения, используя полученную информацию.

Устойчивость кадрового обеспечения и контроля: правило одноклассового кадрового обеспечения вместе с управлением предельным приоритетом свободного сервера приведены асимптотически оптимальными (при всех асимптотических режимах) для различных формулировок задач и модельных предположений, в том числе нашей исходной задачи удовлетворения ограничений, но и минимизации издержек проблем максимизации прибыли с или без отказа клиента.

Простота предлагаемого правила кадрового обеспечения имеет большое значение. Априори, кадровые решения, которые необходимо учитывать в требованиях к качеству обслуживания различных классов клиентов могут быть очень сложными.

Предлагается динамический контроль согласующего сервера для клиентов на основе приоритетов и предельных значений. В двух словах, в соответствии с управлением предельных значений приоритетов свободного сервера, классы клиентов являются приоритетными по отношению к своим целям уровня обслуживания с самым низшим приоритетом. Клиент определенного класса приоритета может получить услугу только если нет более высокого приоритета клиентского ожидания, а количество незадействованных серверов не превышает классо-зависимого предельного значения.

Формулировка модели

Рассмотрим большую систему обслуживания, смоделированную как мультиклассовая система массового обслуживания с классами потребителей J и N статически идентичных серверов. Клиенты для класса i поступают в соответствии с Пуассоновским потоком вызовов со скоростью λ_i , независимо от других классов. Определим $\lambda = \sum_{i=1}^J \lambda_i$, чтобы определить суммарную скорость поступления вызовов. Предполагается экспоненциальный уровень обслуживания со скоростью μ для всех классов клиентов. Задержка клиентов класса i в бесконечном буфере очереди I [4].

Рассмотрим задачу минимизации количества серверов (кадровый уровень) субъекта качества обслуживания ограничений, предполагая, что клиенты не будут отказываться от вызова и покидать очередь. Эти ограничения выражаются в терминах доли класса i клиентов, которые ожидают больше, чем T_i до начала обслуживания. Имеется ввиду обращение к T_i в качестве целевого уровня сервиса и набору ограничений, так как уровень обслуживания ограничен.

Негарантированные классы по работе с клиентами, которые не имеют ограничений по уровню и качеству обслуживания, но которые поддерживаются лучшим оборудованием, которое есть, называются *негарантированные классы качества*. Между различными негарантированными классами не производится дифференцирование с точки зрения ограничений в качестве обслуживания и можно считать, что без потери общности есть одиночный негарантированный класс качества J . Кроме того, накладывается ограничение на ASA для всей совокупности клиентов. Это ограничение называется глобальным ASA-ограничением. Пусть W и W_i являются стабильным состоянием времени ожидания для всей совокупности клиентов и стабильным состоянием времени ожидания клиентов класса i соответственно. Пусть α_i будет вероятностью класса i уровня обслуживания. Тогда условие задачи будет формально определено следующим образом:

$$\begin{aligned} & \text{Свести к минимуму } N, \text{ при условии } E[W] \leq T, \\ & P\{W_i > T_i\} \leq \alpha_i, i = 1, \dots, J - 1, N \in \mathbb{Z}_+, \pi \in \Pi. \end{aligned} \quad (1)$$

В формуле (1) описана комбинированная постановка негарантированного класса качества к ограничению уровня обслуживания или для краткости формулировка негарантированного класса качества, где T и целевые показатели уровня обслуживания $T_i, i = 1, \dots, J - 1$, строго положительные константы $0 < \alpha_i < 1$. Будем считать без потери общности, что классы упорядочены в порядке возрастания T_i , то есть $T_1 \leq T_2 \leq \dots \leq T_{J-1} < T$, и $\alpha_i < \alpha_{i+1}$ если $T_i = T_{i+1}$. Для данного уровня кадрового обеспечения N , политики управления π , устанавливается набор правил, определяющих каким образом принимаются вызовы с сервера в любой момент времени. Множество допустимых стратегий Π определяются следующим образом:

Мы говорим, что π неупреждающее непрерывный приоритет обслуживания вызовов является допустимой стратегией планирования, если соблюдаются следующие два условия:

Класс FCFS: в пределах каждого класса клиенты обслуживаются по мере поступления. Первым прибыл – первым обслужен (FCFS – first-come first-served).

Обслуживаются все клиенты: блокировка клиентов или отправка их в несуществующее направление не допускается.

Здесь неупреждаемость означает, что схема принятия решений в момент времени t может быть основана только на информации, которая поступила до времени t .

Предлагаемое решение

Данное описание является достаточным для практических целей и не требует использования асимптотических рамок и технологий. Очевидно, что любое решение проблемы кадрового обеспечения следует указывать как набор правил штатного расписания и контроля использования в режиме реального времени. Предлагаемое решение начинается путем ввода правил контроля, которые будут использованы и некоторых характеристиках, которые важны для понимания комплексного решения наилучшей производительности. Контроль, который будет использован, называется *принцип предельного значения незанятого сервера в режиме ожидания* (свободное от обслуживания устройство, сервер в режиме ожидания) и определяется следующим образом:

После поступившего в очередь клиента или завершения обслуживания, назначается класс обслуживания с относительным приоритетом (приоритет, не прерывающего обслуживания) i на простаивающий сервер тогда и только тогда (1), когда очередь j пустая для всех классов j , так что $j < i$ и (2) количество простаивающих серверов превышает предельное значение K_i , где $0 = K_1 \leq K_2 \leq \dots \leq K_J$. Обозначим модель массового обслуживания, как $M / M / N / \{K_i\}$. Теоретически для параметров фиксированной системы штатного расписания (кадрового обеспечения) в соответствии с заданным набором предельных значений $\{K_i\}$, для расчета всех j можно использовать $P\{W_j > T_j\}$. Утверждаем, что штатное расписание и маршрутизация с использованием модели $M / N / \{K_i\}$ является приближенно оптимальным для зада-

чи (1). То есть для решения (1) можно использовать следующий способ: предполагая, что используется принцип предельного значения незанятого сервера в режиме ожидания, найти наименьший кадровый уровень N для которого существует множество пределов $\{K_i\}$, так что $E[W] \leq T$ и $P\{W_j > T_j\} \leq \alpha_j \forall j \leq J - 1$.

Однако это не является практичным решением, поскольку расчет верных оптимальных параметров N и $\{K_i\}$ требуют тщательного исследования. Тем не менее можно улучшить показатели производительность по $M / N / \{K_i\}$, что чрезвычайно упрощает решение. Улучшение показателей для конечных вероятностей $P\{W_j > T_j\}$ по принципу предельного значения незанятого сервера в режиме ожидания задается следующей простой рекурсией:

$$P\{W_j > T_j\} \approx P\{W_{j+1} > 0\} \sigma_j^{K_{j+1}-K_j} \bar{F}(N \cdot T_j; \sigma_j, \sigma_{j-1}) \forall j \leq J - 1, \quad (2)$$

где $\sigma_j = \sum_{k=1}^j \rho_k$. Кроме того для заданных значений $0 < y < x < 1, F(\cdot; x, y)$ является функцией распределения ($\bar{F}(\cdot; x, y)$ является его дополнением) Лапласа с преобразованием $\psi(s/N; \sigma_i, \sigma_{i-1})/s$, где

$$\psi(s; \sigma_i, \sigma_{i-1}) = \begin{cases} \frac{\mu(1-\sigma_i)}{s(s+\mu(1-\sigma_1))}, & i = 1, \\ \frac{\mu(1-\sigma_i)(1-\tilde{\gamma}_i(s))}{s(s-\lambda_i+\lambda_i\tilde{\gamma}_i(s))}, & i = 2, \dots, J - 1, \end{cases} \quad (3)$$

и

$$\tilde{\gamma}_i(s) = \frac{s+\mu}{2\sigma_{i-1}\mu} + \frac{1}{2} - \sqrt{\left(\frac{s+\mu}{2\sigma_{i-1}\mu} + \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{1}{\sigma_{i-1}}}. \quad (4)$$

Установив $T_j = 0$ в формуле (2) мы получим:

$$P\{W_j > 0\} \approx P\{W_{j+1} > 0\} \sigma_j^{K_{j+1}-K_j}. \quad (5)$$

Важно отметить, что приближенное распределение времени ожидания класса j не имеет никакой очевидной зависимости от предела класса $i = 1, \dots, j - 1$. Это не совсем верно, так как существует некоторая зависимость от значения $P\{W_j > 0\}$, которая необходима для инициализации рекурсии и более того $P\{W_j > 0\}$ зависит от предельных значений. Однако, эта зависимость может быть удалена. В частности рассмотрим, что использование принципа предельного значения незанятого сервера в режиме ожидания с подобранным предельным значением соответствующим образом, то есть вероятность ожидания класса $J, P\{W_j > 0\}$, может быть аппроксимирована вероятностью системы ожидания $M/M/N$ в простой FCFS очереди. То есть,

$$P\{W_j > 0\} \approx P\{W_{\lambda, \mu}^{FCFS} > 0\}, \quad (6)$$

где $W_{\lambda, \mu}^{FCFS}$ это установившееся время ожидания $M/M/N$ очереди FCFS со скоростью поступления вызовов λ , скоростью обслуживания μ и количест-

вом агентов в очереди N . Учитывая формулу (2) можно увидеть, что распределение времени ожидания класса j легко аппроксимировано, используя только выполнение $j + 1$.

Напомним, что постановка задачи также требует расчета глобального среднего времени ожидания. Данный расчет является достаточно сложным по модели $M / M / N / \{K_i\}$, но оказывается есть и очень простое приближение, которое использует модель $M / M / N$. В частности, когда предельные значения выбраны соответствующим образом:

$$E[W] \approx E[W_{\lambda, \mu}^{FCFS}], \quad (7)$$

Имея эти приближенные значения, решением процедуры сначала будет нахождение количества агентов, необходимых для удовлетворения глобального ASA ограничения $E[W] \leq T$. По формуле (7) мы можем найти приблизительное количество агентов, используя модель $M / M / N$. Для этого мы переопределим $W_{\lambda, \mu}^{FCFS}(N)$ для установившейся системы ожидания $M / M / N$ как функцию количества агентов N . Как только мы найдем оптимальное $M/M/N$ уровня штатного расписания, мы сможем определить предельные значения с помощью рекурсивного выражения (2) для определения предельных значений.

Предлагается использование принципа *одноклассового кадрового обеспечения и принцип предельного значения незанятого сервера в режиме ожидания*: при условии, что $T_i \ll T$ для всех $i = 1, \dots, J - 1$ (то есть, что T на порядок больше чем $T_i s$, например, минут больше чем секунд, соответственно), следующие процедуры кадрового укомплектования и контроля оптимальной аппроксимации:

Кадровое обеспечение: Нахождение кадрового обеспечения по одноклассовой модели $M/M/N$ (или С-формула Эрланга) со скоростью поступления вызовов λ , обслуживания μ и очереди FCFS. В частности, получим:

$$N^* = \text{Min}\{N \in \mathbb{Z}_+ : E[W_{\lambda, \mu}^{FCFS}(N)] \leq T\}, \quad (8)$$

Контроль: использование правила *предельного приоритета незанятого сервера* с дифференцированием $\{K_{j+1} - K_j\}_{j \leq J-1}$, выбранного рекурсивно для $j = J - 1, \dots, 1$ следующим образом:

Вычисляем

$$K_{j+1} - K_j = \left\lfloor \frac{\ln\left(\frac{\alpha_j}{[P\{W_{j+1} > 0\}]^{\bar{F}}(N^*, T_j; \sigma_j, \sigma_{j-1})}\right)}{\ln(\sigma_j)} \right\rfloor \vee 0, j = J - 1, \dots, 1, \quad (9)$$

Получаем

$$P\{W_j > 0\} = P\{W_{j+1} > 0\} \sigma_j^{K_{j+1} - K_j}, \quad (10)$$

В приведенном выше, мы получили $P\{W_j > 0\} := P\{W_{\lambda, \mu}^{FCFS}(N^*) > 0\}$,

и для двух действительных чисел x и y , $x \vee y =: \max \{x, y\}$. Фактические пороговые значения определяются установкой $K_1 = 0$.

Важно отметить, что как упоминалось во введении, кадровое обеспечение персоналом в описанной выше процедуре требует только знание совокупного количества вызовов, в то время как скорость поступления индивидуальных классов необходима только для определения пороговых значений на этапе управления ЦОВ. Таким образом, совместное решение кадровой укомплектованности и управления разделено на два независимых решения. Это решение является желательным для практического применения, поскольку информация, доступная менеджеру ЦОВ при принятии кадровых решений укомплектованности, ограничена и становится более раскрытой при принятии решений управления кадрами в реальном времени.

Альтернативное уравнение для порогового значения, которое не использует функцию распределения \bar{F} и следовательно, не требует интегрального преобразования Лапласа, задается формулой:

$$K_{j+1} - K_j = \left\lfloor \frac{\ln \left(\frac{\alpha_j T_j}{P\{W_{j+1} > 0\} \hat{w}(N^*, \sigma_j, \sigma_{j-1})} \right) \right\rfloor \vee 0, j = J - 1, \dots, 1, \quad (11)$$

где $\hat{w}(N^*, \sigma_j, \sigma_{j-1}) = [N\mu(1 - \sigma_j)(1 - \sigma_{j-1})]^{-1}$.

Однако более простая формула получена за счет менее точного результата. А именно, ожидается, что пороговые значения, рассчитанные с использованием формулы (11), будут значительно менее точными, чем те, которые получены в соответствии с уравнением (9). Формула (11) получена с помощью неравенства Маркова, так что неточность порогового значения влияет на неточность неравенства Маркова. Тем не менее для больших систем пороговые значения, которые вычисляются по формуле (11), будут оптимальной аппроксимацией.

Должно быть интуитивно понятно, что уровень кадровой обеспеченности ЦОВ предложенной процедурой, фактически является нижней границей требуемого количества операторов. Чтобы убедиться в этом, обратим внимание, что при фиксированном значении N и при известной скорости обслуживания μ , общая средняя длина очереди (по закону Литтла – общее среднее время ожидания) минимизируется с помощью любой политики сохранения работы, в частности алгоритма FCFS. Следовательно, количество агентов, необходимое для удовлетворения глобального ограничения ASA на столько велико, насколько это необходимо для достижения тех же целей алгоритму FCFS. Используя нижнюю границу, можно удовлетворить все ограничения.

Обратим внимание, что $W_{\lambda, \mu}^{FCFS}$ легко вычисляется по любому доступному калькулятору С-формулы Эрланга [5].

Заключение

Объектом исследования стали крупномасштабные системы обслуживания с несколькими классами заказчика и полной гибкостью серверов. Для

таких систем исследуется вопрос количества серверов и их сочетания с клиентами таким образом, чтобы минимизировать расходы на персонал в зависимости от класса обслуживания, средней скорости ответа и ограничением вероятности отказа. В то время как установлена асимптотическая оптимальность, поскольку число агентов неограниченно увеличивается, предполагаемое решение работает очень хорошо даже для малых и средних систем.

Кадровое обеспечение, определенное правилом SCS, зависит от общей потребности в системе и от глобального ограничения качества обслуживания. Это означает, что поскольку кадровая обеспеченность не зависит от класса уровня ограничений, можно сказать дифференцированный уровень обслуживания достигается «свободно» (бесплатно) в том смысле, что для удовлетворения этих ограничений на уровне класса не требуется дополнительных серверов. Более того, даже если зависящие от класса коэффициенты поступления или целевые показатели производительности неизвестны, в то время, когда принимаются решения о кадровом расписании, штатное расписание персонала остается неизменным.

Практически, неясность спроса становится более проблематичной, когда обслуживание осуществляется третьей стороной, не имеющей доступа к требуемой информации. Эта проблема приобретает все большее значение из-за распространения аутсорсинговых услуг ЦОВ, что является следствием несогласованности между двумя сторонами информационной асимметрии, которая приведет к неэффективности системы. Чтобы устранить эти недостатки, необходимо разработать механизм, который мог бы обеспечить равномерное распределение информации в многомерном запросе. Понимание проблемы уменьшает ее в одномерную, что делает ее приемлемой в данном исследовании.

Литература

1. Неустроев М.Ю. Роль информационных технологий в социальной коммуникации / Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности / сб. ст. По материалам Международной научно-практической конференции // Пенза. 18.02.2016. С. 25-28.
2. Неустроев М.Ю. Анализ показателей эффективности и скорости обслуживания в центрах обработки вызовов // Информационные технологии. 2016. № 6. С. 416-422.
3. Неустроев М.Ю. Анализ производительности при обращении в центр обработки вызовов // Информационно-технологический Вестник. № 1(07). 2016. С. 73-83. ISSN 2409-1650.
4. Неустроев М.Ю. Анализ показателей эффективности и скорости обслуживания вызовов в центрах обработки / Инновационные аспекты социально-экономического развития региона / сб. тр. По материалам VI ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ» // Королев МО. 17.12.2012. С. 231-237.

5. Неустроев М.Ю. Разработка корпоративной VoIP сети предприятия на платформе Asterisk // М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2016. 153 с. ISBN: 978-3-659-86592-3.

УДК 621.398

Методы прогнозирования на основе анализа временных рядов

Н.П. Сидорова, к.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,

Д.С. Демина, аспирант кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В работе рассматриваются различные методы прогнозирования оптовой цены энергоресурсов. Предпринята попытка подбора оптимальных моделей, показывающих минимальную среднюю ошибку прогнозирования. На основе авторегрессионных моделей, опирающихся на выборку максимального подобия, и модели тенденции, основанной на методах технического анализа, построен прогноз на достаточно длительный период. Полученные результаты помогут лицам, принимающим решения, избежать неоправданных рисков и корректно принять решение. Также показана универсальность применения моделей к различным по длине временным рядам.

Авторегрессия, максимальное подобие, технический анализ, прогнозирование, тенденция.

Comparison of results of forecasting of time series based on autoregression analysis and model trends

N.P. Sidorova, Ph.D, Associate Professor, Department of information technology and system management,

D.S. Demina, postgraduate student Department of Information Technology and Control Systems,

State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

At the moment, there are various forecasting models. Model tendencies are based on the key technical analysis techniques: smoothing data using a mathematical average, the allocation trend. Attempt selecting optimal models, are showing the minimum average error of prediction. On the basis of autoregressive models, based on the sample maximum likelihood, and model trends based on the methods of technical analysis based forecast for a sufficiently long period. Thus, the proposed models give a forecast with minimum average error, and its values are in the interval allowed for the researcher. The obtained results will help the decision makers to avoid unnecessary risk and correctly make a decision.

Autoregression, maximum likelihood, technical analysis, forecasting, trend.

Введение

Развитие информационных технологий приводит к расширению сферы их применения в различных прикладных областях. Одним из наиболее активно развивающихся прикладных областей является прогнозирование цен на энергетическом рынке России (с 2010 года электроэнергия продается и покупается [8, С.40]), поскольку в условиях кризиса потребители стремятся оптимизировать затраты на энергоресурсы. Для решения задачи прогнозирования могут быть использованы математические методы на основе анализа временных рядов [4, С.41].

При решении задачи прогнозирования исследователю необходимо проанализировать временной ряд и определить, при помощи какого класса моделей возможно произвести прогноз [9, С.221]. На сегодняшний день ряд исследователей занимаются этой проблемой. В частности, для анализа временных рядов предлагается применять структурно-лингвистический подход, основанный на нечетких элементарных тенденциях [3, С.56]. Однако этот метод не отличается простотой понимания и реализации.

Модель прогнозирования временного ряда представляет собой функцию функциональное представление, наиболее полно и адекватно определяющую заданный временной ряд. Для оценки работы модели прогнозирования используется величина отклонения полученного прогнозного значения от истинного значения временного ряда, которая должна быть минимальна. Формально постановка задачи прогнозирования выглядит так: необходимо вычислить будущие значения временного ряда, опираясь на функциональную зависимость этих значений на уже заданные временные значения [2, С.52].

По определению метод прогнозирования – это алгоритм нахождения модели прогнозирования заданного временного ряда. Исследователь или ЛПР (лицо, принимающее решение) в начале исследования интуитивно выбирает общий класс модели для прогнозирования временного ряда, затем пытается оценить параметры этой модели и понять, пригодна ли она для прогноза. Часто для этого оценивается точность прогноза (минимум разница истинного значения от прогнозного).

В работе предлагается рассмотреть два достаточно универсальных метода прогнозирования, основанных на выборке максимального подобия и тенденции. Достоинством представленных моделей является их числовая реализация.

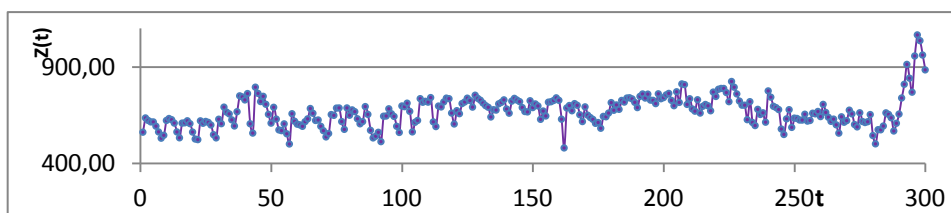
Проведем анализ и прогноз временного ряда на примере статистических данных Московской энергетической биржи с 1 марта 2009г. по 30 сентября 2017 г. Ценовая зона – Европа и Урал, ОЭС – Центр, название ЗСП – Москва. Посуточные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические данные РСВ по ЗСП «Центр»

Дата	Значение цены, руб/кВтч
01.03.2009	562,46
02.03.2009	636,30
03.03.2009	623,44
04.03.2009	615,74
05.03.2009	615,67
06.03.2009	593,59

На рисунке 1 представлен пример динамики цен на электроэнергию в европейской территории РФ, который задает значение некоторого временного ряда.

Рисунок 1 – Динамика цен на электроэнергию. Решение задачи



В результате исследований предстоит произвести прогноз цен на электроэнергию на первую неделю октября 2017г. при помощи двух различных моделей. Сгруппируем данные Московской энергетической биржи за 2009-2017 г. за каждый день недели отдельно. В результате вместо одной, достаточно большой выборки, получим 7 более мелких временных рядов.

Математическая постановка задачи. Обозначим каждый временной ряд $Z(t)$, значение времени примет дискретные значения $t = 1, 2 \dots T$ соответственно. Необходимо вычислить значения $Z(T + n)$, где n – длительность прогноза.

Авторегрессионная модель

В исследовании используется модель, основанная на классе авторегрессионных моделей, но она не содержит в себе главный недостаток таких моделей – большое количество свободных параметров. Моделирование временных рядов при помощи выборок максимального подобия основано на предположении, что временной ряд представляет собой последовательность выборок. Этот подход к моделированию временного ряда был доказан в работе [1, С.40].

Для прогнозирования была построена модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия (1):

$$\widehat{Z_{T+1}^P} = \alpha_1 * Z_{k_{max}+M}^P + \alpha_0 * I^P, \quad (1)$$

где $\widehat{Z_{T+1}^P}$ – значение выборки прогнозных значений, $Z_{k_{max}+M}^P$ – значение выборки базовой истории, I^P – единичный вектор, α_0, α_1 – коэффициенты корреляции.

Идентификация модели выполнена по алгоритму, схема реализации которого представлена на рис. 2:

1. Определить контрольный и тестовый период 5 и 7 дней соответственно.
2. Установить время упреждения $P = 7$ дн. Размерность выборки M , диапазон возможных значений выборки, перебирается с шагом $S=0.5P$, т.е. $M = \{P, 1.5 * P, 2 * P, \dots, 6 * P\}$.
На практике $M = \{11,14,18,21,25,28,32,35,39,42\}$, так как это сокращает время идентификации и не влияет на точность прогнозирования.
3. Найти коэффициенты корреляции для каждой выборки размерности M . Наиболее подходящей является та выборка, которой соответствуют максимальные коэффициенты корреляции и минимум ошибки регрессии (коэффициент α_0, α_1).
4. Построить модель аппроксимации по наиболее подобным выборкам.
5. Выбрать модель на основе критерия минимальной средней абсолютной ошибки (MAPE).

В таблице 2. Представлены соответствующие значения размерности выборки M , ее начало и конец (дата начала и конца), коэффициенты корреляции и ошибка (MAPE).

Таблица 2 – Значения размерностей и коэффициентов

	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота	воскресенье
	M=39	M=28	M=11	M=32	M=42	M=39	M=39
	27.06.2011	22.07.2014	23.09.2009	10.12.2009	02.08.2013	18.06.2011	08.12.2013
	19.03.2012	27.01.2015	02.12.2009	15.07.2010	16.05.2014	10.03.2012	31.08.2014
a0	1 832,30	1 305,45	1 697,10	1 309,00	2 080,77	1 920,76	370,07
a1	-0,67	-0,09	-0,75	-0,10	-0,72	-0,79	0,64
MAPE (тест)	6,31	4,66	7,78	4,81	5,61	5,51	6,92
MAPE (контр.)	15,76	27,83	12,36	19,16	10,81	19,65	12,80

6. Построить прогноз на основании полученной модели на первую неделю октября 2017года. Результаты приведены в таблице 3.

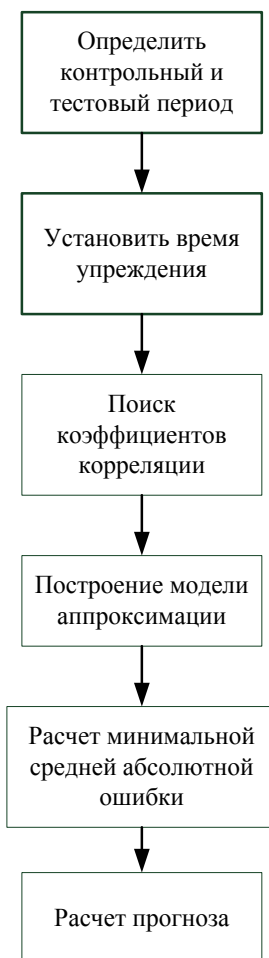


Рисунок 2 – Схема определения прогноза по выборке максимального подобия

Таблица 3 – Результаты прогнозирования на 1 неделю октября 2017 г.

Дата	Факт	Прогноз	МАРЕ
05.10.2017	1297,28	1182,5903	0,0884
06.10.2017	1255,69	1210,8709	0,0357
07.10.2017	1217,27	1249,1316	0,0262
08.10.2017	1234,5	1227,0805	0,0060
09.10.2017	1287,97	1224,6317	0,0492
10.10.2017	1242,62	1143,7931	0,0795
11.10.2017	1160,21	1048,7846	0,0960

Значения ошибки прогнозирования колеблется в интервале от 0,6% до

10%, что вполне допустимо описывает реальные колебания временного ряда. Многие исследователи, в том числе и зарубежные, отмечали, что прогноз цен с оценкой *MAPE* до 10-15% эффективны для использования в планировании. В работе [10, С.42] показаны примеры исследования энергорынка Испании, Скандинавии и Канады, со значениями оценки *MAPE*, находящиеся в указанном диапазоне.

Модель тенденции

Технический анализ – прогнозирование изменений цен в будущем на основе анализа изменений цен в прошлом [5, С.12]. Его основные постулаты: цена учитывает все; движение цен подчинено тенденциям; история повторяется [6, С.616]. Основа технического анализа – тренд. В работе [7, С.112] был использован метод прогнозирования, основанный на методе математического скользящего среднего, построения тренда и дальнейшего технического анализа для прогнозирования временного ряда, на примере курса доллара. Этот метод точно смоделировал валютный коридор и построил точный краткосрочный прогноз с *MAPE* = 0,0041.

Применим этот алгоритм к ценам на оптовом энергорынке. На графике представлен временной ряд исходных данных и их тренд (Рисунок 2).

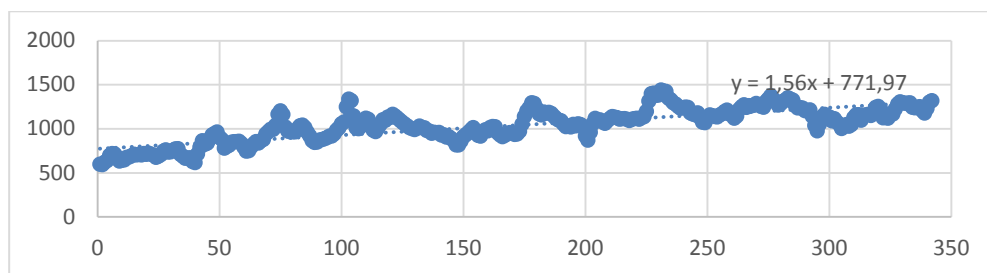


Рисунок 2 – Временной ряд и его тренд

Математическая постановка задачи

Обозначим временной ряд $Z(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$. Необходимо вычислить значения $Z(T + n)$, где n – длительность прогноза.

Так как главным достоинством технического анализа является прогнозирование изменений цен в будущем на основе анализа изменений цен в прошлом. В исследовании было использован метод обработки данных временных рядов для сглаживания краткосрочных колебаний и выделения основных тенденций и циклов – метод скользящего среднего. Данные, как и в прошлом в модели, разделены по дням недели. Данные временного ряда были сглажены по формуле (2):

$$\overline{Z(t)} = \frac{Z(t-1)+Z(t)+Z(t+1)}{3}, \quad (2)$$

где $Z(t)$ – данные временного ряда.

Временной ряд описывается уравнением (3):

$$\overline{Z(t)} = Z_{Tp}(t) + E(t) \quad (3)$$

где $Z_{тр}(t)$ – значения линейного тренда, E – ошибка приращения.

Значения временного ряда содержат в себе постоянную составляющую – тренд. Технический анализ не рассматривает причины того, почему цена изменяет своё направление, но учитывает лишь тот факт, что цена уже движется в определённом направлении, растёт по тренду (см. рис. 2). Уравнение линейного тренда находится по формуле(4):

$$Z_{тр}(t) = a_1 * t + a_0, \quad (4)$$

где $a_1 = 1,56, a_0 = 771,97$.

Абсолютная ошибка приращение задается формулой (5)

$$\xi = |E_{T-1} - E_T| \quad (5)$$

Этапы исключения тренда и ошибки абсолютного приращения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Вычисление тренда

Дата	t	Z(t)	средние сглажен- ные $\overline{Z}(t)$	данные по трен- ду $Z_{тр}(t)$	E	абс.приращен ие ошибки □
02.03.2009	1	636,3	597,4267	773,53	-176,10333	
09.03.2009	2	546,42	592,41	775,09	-182,68	6,576667
16.03.2009	3	609,56	620,1633	776,65	-156,48667	26,19333
23.03.2009	4	621,25	639,75	778,21	-138,46	18,02667
30.03.2009	5	629,68	697,8567	779,77	-81,913333	56,54667
06.04.2009	6	668,32	718,4433	781,33	-62,886667	19,02667

В ходе исследования решается уравнение (6):

$$\overline{Z(T + 1)} = 3 * \overline{Z(t - 1)} - Z(t - 1) - Z(t),$$

$$\overline{Z(t - 1)} = E_{t-1} - \xi_{t-1} + Z_{тр}(t - 1)$$

$$\overline{Z(t - 1)} = 1307.05 - 1.867 = 1305.183, \quad Z(T + 1) = 3 * 1305.183 - 1362,74 - 1268,64 = 1284.17. \quad (6)$$

Результаты выполнения вычислений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Вычисление прогноза

t	ξ_{t-1}	E_{t-1}	Z(t)
343	-1,867	1307,05	1305,183
345			1284,17

Значение 1284,17 является прогнозом на 5 октября 2017г. Далее по той же методике прогнозируем другие дни недели. В таблице 6 представлены результаты прогнозирования на основе модели тренда и фактические данные.

Результаты сравнения результатов прогнозирования при использова-

нии моделей на основе авторегрессии и технического анализа представлены в табл. 7.

Таблица 6 – Результаты технического анализа

Дата	Факт	Прогноз (тест)	МАРЕ
05.10.2015	1297,28	1284,1700	0,0101
06.10.2015	1255,69	1406,8000	0,1203
07.10.2015	1217,27	1276,9234	0,0490
08.10.2015	1234,5	1295,5574	0,0495
09.10.2015	1287,97	1356,7658	0,0534
10.10.2015	1242,62	1349,7134	0,0862
11.10.2015	1160,21	1262,2900	0,0880

Таблица 7 – Сравнение полученных результатов

Дата	Факт	Технический анализ		Авторегрессия	
		Прогноз	МАРЕ	Прогноз	МАРЕ
05.10.2017	12 97,28	1284,1700	0,0101	1182,5903	0,0884
06.10.2017	12 55,69	1406,8000	0,1203	1210,8709	0,0357
07.10.2017	12 17,27	1276,9234	0,0490	1249,1316	0,0262
08.10.2017	12 34,5	1295,5574	0,0495	1227,0805	0,0060
09.10.2017	12 87,97	1356,7658	0,0534	1224,6317	0,0492
10.10.2017	12 42,62	1349,7134	0,0862	1143,7931	0,0795
11.10.2017	11 60,21	1262,2900	0,0880	1048,7846	0,0960
		<i>Сумма</i>	0,4565	<i>Сумма</i>	0,3810

Анализ полученных результатов показал, что обе представленные модели дают ошибку, находящуюся, в пределах, допустимых для прогнозирования.

Основные результаты и выводы

1. Предложен универсальный алгоритм прогнозирования оптовых цен на энергоресурсы, основанный на прогнозировании временного ряда, не вызывающий трудностей для программных реализаций, но при этом дающих хорошие результаты.

2. Результаты вычисления показывают, что обе представленных модели достаточно универсальны для прогнозирования экономического процесса, который можно представить в виде временного ряда.

Литература

1. Gheyas I.A., Smith L.S. A Neural Network Approach to Time Series Forecasting // Proceedings of the World Congress on Engineering, London, 2009. Vol 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp1292-1296.pdf.
2. Singh S. Pattern Modelling in Time-Series Forecasting // Cybernetics and Systems-AnInternational Journal. 2000. Vol. 31. No. 1. P. 49-65.
3. Афанасьева Т.В. Решение задач интеллектуального анализа временных рядов в рамках структурно-лингвистического подхода // Анализ процессов управления. 2010. № 2. С.54-58.
4. Кирилова Т.Н. Многофакторное прогнозирование потребления электроэнергии в промышленном и бытовом секторах / Т. Н. Кирилова [и др.] // Энергорынок. 2009. № 11. С. 40-43.
5. Лефевр Э. Воспоминание биржевого спекулянта // Русич. 2010. С. 12.
6. Мэрфи Дж. Дж. Технический анализ фьючерсных рынков. Теория и практика // Альпина Паблишер // Москва. 2011. С.616.
7. Пастухова Ю.И., Демина Д.С., Левчук М.В. Моделирование колебаний динамики курса рубля в условиях высокой экономической нестабильности. // Обзорение прикладной и промышленной математики. Т. 21. Вып. 4. 2014. С.112.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 1172. 2010. С.40.
9. Тихонов Э.Е. Прогнозирование в условиях рынка // Невинномысск. 2006. С.221.
10. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис. ... канд. техн. наук // М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. 2012. С. 41-43.

УДК 378.02 (082)

**Особенности построения экспертной системы оценки
экономической эффективности мероприятий
по информационной безопасности**

В.Н. Соляной, к.в.н., с.н.с., доцент кафедры информационной безопасности,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Необходимость наличия инструментов обоснования и оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность – одна из важнейших проблем современности. Возможным направлением решения выявленной проблемы является компьютерное моделирование экономической оценки инвестиций в информационную безопасность, которая позволит повысить эффективность и оперативность принимаемых решений. Разработанная программная модель экспертной системы позволяет обоснованно оценивать экономическую эффективность затрат на информационную безопасность.

Компьютерное моделирование, экономическая эффективность, оценка инвестиций, информационная безопасность.

**Basics of computer modeling of economic evaluation
of investments in information security**

V.N. Solyanoy, c.m.s., s.n.s., docent of the Department of Information security,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The need for tools substantiate and assess the effectiveness of investment in information security – one of the most important problems of our time. The possible direction of the solution of the identified problem is the computer modeling of economic evaluation of investments in information security that will improve the efficiency and operativeness of the decisions made. The developed program model of expert system allows to reasonably estimated effectiveness of the cost for information security.

Computer modeling, economic efficiency, investment valuation, information security.

Информационная безопасность – один из важнейших аспектов комплексной безопасности, как на уровне отдельных предприятий и организаций, так и на уровне региона и государства в целом. Информационная безопасность (далее – ИБ) – состояние защищенности

личности, общества и государства от внутренних и внешних информационных угроз [1, 5].

В настоящее время как на международном уровне, так и в России имеется достаточно хорошо развитая законодательная база по вопросам обеспечения информационной безопасности. Разработано и утверждено множество международных и национальных стандартов, в частности [2, 3, 4]:

- Международный стандарт ISO/IEC 17799:2000 «Информационные технологии – практические правила управления информационной безопасностью»;

- Международный стандарт ISO/IEC 27001:2013 «Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования»;

- Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности».

Важно отметить, что стандарты, касающиеся ИБ, предусматривают наличие специального инструмента (методологии) для оценки результатов деятельности в области ИБ. Причем выбранные методы, чтобы считаться пригодными, должны давать сопоставимые и воспроизводимые результаты. Все это обуславливает актуальность выбранной тематики. Научная новизна заключается в построении экспертной системы (разработке программной модели) обоснования и оценки экономической эффективности инвестиций в информационную безопасность, а практическая значимость – в возможности применения разработанной экспертной системы (в частности программной модели) как на уровне отдельных предприятий и организаций, так и в последующем на региональном уровне.

Применение экспертных систем (далее – ЭС) для обоснования и оценки экономической эффективности инвестиций в ИБ является наиболее эффективным вариантом, так как: во-первых, дает возможность решать трудно формализуемые задачи с использованием специально разработанного математического аппарата; во-вторых, ЭС ориентированы на эксплуатацию широким кругом специалистов, взаимодействие с которыми реализуется посредством интуитивно-понятного интерфейса, понятной логики рассуждений и терминологии; в-третьих, ЭС позволяют повысить эффективность и оперативность принимаемых решений за счет накопленных знаний экспертов в рассматриваемой области.

Экспертная система должна уметь взять на себя те функции, которые выполняет специалист-эксперт или выполнить роль ассистента (советчика) для лица, принимающего решения. Использование экспертных систем позволит управляющей информационной системе получать решение непосредственно от программы и полностью исключить необходимость использования человека в управляющей системе. С другой стороны, экспертная система может повысить эффективность работы человека, предлагая наиболее верное решение поставленной задачи [10].

Процесс построения экспертной системы экономической оценки эффективности мероприятий ИБ должен состоять из следующие ключевых этапов (рис.1):

1. Формулирование проблемы – грамотно сформулированная проблема является основой для создания ЭС. В случае неверного выбора проблемы возможно создание ЭС, которая не решит поставленные задачи и вообще не может быть реализована.

На данном этапе особое внимание следует уделить вопросам:

- определения проблемной области и круга решаемых задач;
- определения эксперта, участвующего в разработке ЭС;
- предварительного определения подходов к решению задачи;
- анализа экономической эффективности разработки;
- подготовки плана разработки;

2. Создание опытного образца (прототипа) ЭС.

Опытный образец представляет собой усеченную версию ЭС, позволяющую проверить правильность кодирования фактов, связей и стратегий рассуждения эксперта;

3. Доработка ЭС.

После успешного завершения все необходимых испытаний опытным образцом, ЭС необходимо доработать до промышленного состояния. На данном этапе осуществляется расширение базы знаний системы с целью обеспечения возможности решения большего числа трудно уловимых аспектов отдельных случаев;

4. Оценка ЭС.

Данный этап заключается в проведении тестирования разработанной ЭС широким кругом специалистов с целью выявления возможных недостатков такой системы (ошибок программирования, тупиковых ситуаций и т.д.).

Оценку можно проводить на основе следующих критериев:

- критерии пользователей – удобство интерфейсов, «прозрачность» работы ЭС;
- критерии приглашенных экспертов – сравнение предлагаемых ЭС решений с собственными, оценка системы объяснений;
- критерии коллектива разработчиков – эффективность реализации, производительность, время отклика, дизайн;

5. Интеграция ЭС.

На данном этапе осуществляется стыковка ЭС с другими информационными системами рабочей среды (например, создание связей с существующими на предприятии базами данных). Немало важным является обучение персонала основам работы с такой системой;

6. Поддержка ЭС.

Поддержка подразумевает постоянное обновление базы знаний, добавление новых правил и логических конструкций.

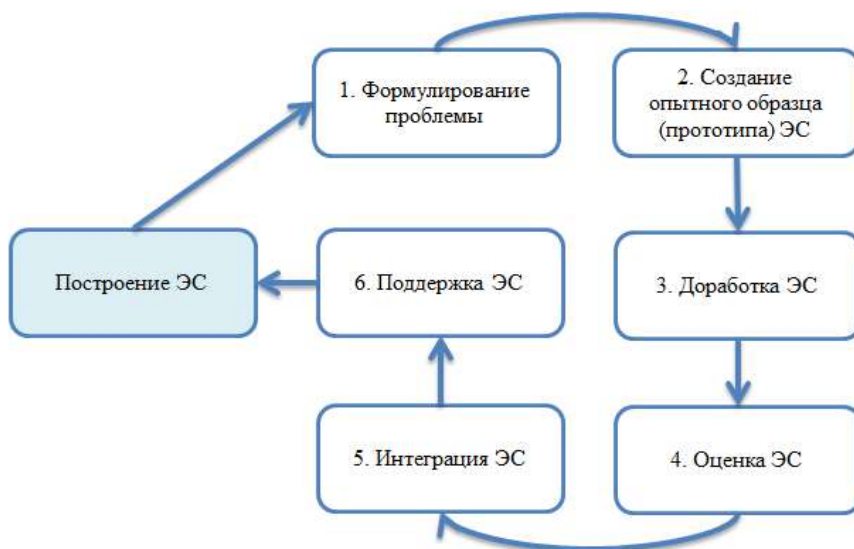


Рисунок 1 – Этапы построения ЭС экономической оценки эффективности мер по ИБ

При построении экспертной системы обоснования и оценки экономической эффективности инвестиций в информационную безопасность необходимо определить какие функции она будет выполнять. Такие функции условно можно разделить на две группы: основные – приобретение, представление знаний, получение ответа и объяснение решения и вспомогательные, обеспечивающие выполнение поставленных задач – предоставление интерфейса, разграничение прав доступа, администрирование базы знаний (рис. 2).



Рисунок 2 – Функции экспертной системы экономической оценки эффективности мер по ИБ

В соответствии с определенными для ЭС функциями состав ее функциональных подсистем может меняться, но, как правило, всегда включает в себя следующие подсистемы:

- подсистема получения знаний, позволяющая эксперту дополнять базу знаний необходимыми элементами в удобном для него виде (т.е. выполнить обучение ЭС);

- подсистема представления знаний, позволяющая организованно хранить накопленные знания, а также вносить необходимые данные для последующей обработки знаний;

- подсистема получения ответа с объяснением решения, позволяющая получить пояснения к полученным результатам.

Важно отметить, что с разрабатываемой ЭС могут работать три группы пользователей:

1. Эксперты – участвуют в проверке и вводе знаний в ЭС;
2. Инженер по знаниям – обеспечивают представление знаний в заданном формате и контролируют порядок хранения знаний;
3. Пользователи – получают варианты решений от ЭС.

Порядок организации взаимодействия этих групп пользователей с ЭС имеет графическое представление (рис. 3).

Количественные оценочные результаты экономической эффективности мер по ИБ (по возможным вариантам информационной обстановки) в рассматриваемой экспертной системе основаны на методологии возврата инвестиций в ИБ: ROSI [9].



Рисунок 3 – Порядок взаимодействия пользователей с ЭС

Обоснование и оценка эффективности (целесообразности) затрат на систему ИБ – это одна из важнейших задач [6,7]. В настоящее время существует множество методов оценки эффективности затрат в

информационную безопасность, среди которых выделяют ROSI (Return on security investment – возврат инвестиций в информационную безопасность), BCP (Business continuity management – планирование непрерывности бизнеса), LE (Loss expectancy – ожидаемые потери), SAEM (Security attribute evaluation method – метод оценки свойств системы безопасности), TCO (Total cost of ownership – совокупная стоимость владения). В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа данных методик [10].

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов оценки эффективности инвестиций в ИБ

Методы	Анализируемые параметры			
	Высокая стоимость проведения	Приблизительный результат	Простота реализации метода	Статистический показатель
ROSI	–	+	+	+
BCP	+	–	–	–
LE	–	–	+	–
SAEM	–	–	±	–
TCO	–	–	±	+
Примечание: (+) – наличие параметра; (-) – отсутствие параметра				

В результате анализа таблицы 1 можно сделать вывод, что методика оценки возврата инвестиций в информационную безопасность (ROSI) является наиболее предпочтительной в качестве основы для построения рассматриваемой ЭС.

В первые термин ROSI был введен в употребление специалистами в области IT Security после публикации статьи в начале 2002 г. в журнале CIO Magazine «Finally, a Real Return on Security Spending» [10].

Суть оценки возврата инвестиций в ИБ сводится к расчету, прежде всего, сроков окупаемости инвестиционного проекта и экономической выгоде от его реализации на основе показателей совокупной стоимости владения, ожидаемых годовых потерь и функциональной эффективности системы ИБ [10, 11].

В качестве среды разработки программной модели ЭС была взята Delphi 7, в которой в качестве языка программирования используется объектно-ориентированный язык программирования Delphi. Данный выбор обусловлен, с одной стороны, областью его использования – написание прикладного программного кода, с другой стороны, его стройностью и высокой читаемостью (т.к. изначально язык был предназначен для обучения дисциплине программирования).

Алгоритм работы разработанной программной модели ЭС на основе методологии ROSI в наиболее общем виде заключается в выполнении последовательности этапов (рис. 4).

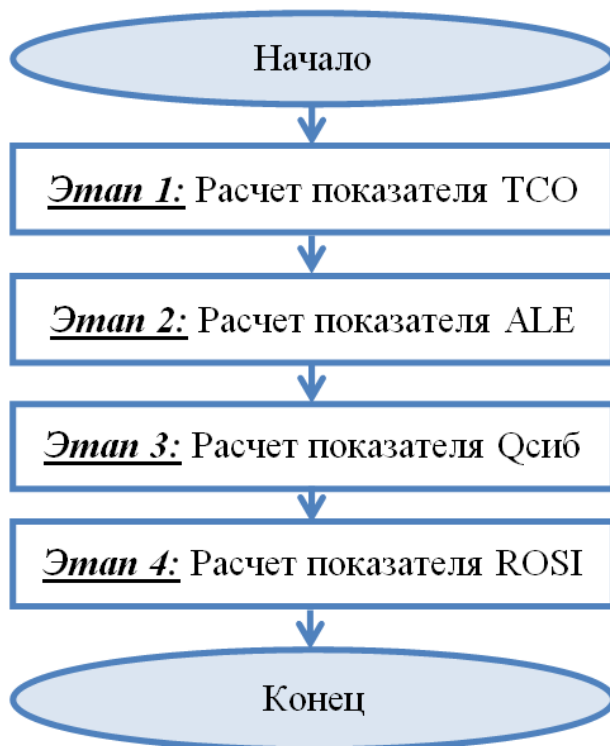


Рисунок 4 – Алгоритм (этапы) работы программной модели ЭС на основе методики ROSI

Что же касается разработанной программной модели ЭС, то она представляет собой набор взаимосвязанных форм, по результатам заполнения которых можно получить ответы на поставленные вопросы.

В общем случае, при работе с данной ЭС в качестве входных параметров необходимо указать следующие:

- ТСО_т – текущий показатель совокупной стоимости владения (в рублях);
- ТСО_ц – целевой показатель совокупной стоимости владения (в рублях);
- Qсиб – показатель функциональной эффективности рассматриваемой системы информационной безопасности (вероятность защиты информации);
- АЛЕ - показатель ожидаемых годовых потерь от реализации угроз информационной безопасности (в рублях);
- r – ставка дисконтирования (в процентах), как правило, берется равной ставке рефинансирования Центрального Банка РФ.

Перечисленные параметры, за исключением ставки дисконтирования (r), получаются на основе расчетов на этапах 1-3 и вносятся в

соответствующие поля автоматически.

В случае, если значения входных параметров уже имеются, в программной модели предусмотрена возможность ввода уже известных значений указанных показателей, в этом случае этапы 1-3 пропускаются, а соответствующие поля заполняются пользователем самостоятельно.

Важно отметить, что данную программную модель можно использовать также и для расчетов отдельных показателей, например, в случае, когда требуется рассчитать только значение показателя функциональной эффективности системы ИБ (Qсиб), совокупной стоимости владения (ТСО) или ожидаемых годовых потерь (ALE).

На основе указанных входных параметров программная модель экспертной системы автоматически произведет все необходимые вычисления и отобразит (в том числе графически) полученные результаты и сформулирует выводы.

По окончании расчетов имеется возможность подать на печать все полученные результаты (таблицы и графики) с целью их дальнейшего использования в качестве обоснования экономической целесообразности инвестиционного проекта (затрат на систему ИБ).

В качестве примера далее приведен фрагмент программной модели экспертной системы – форма для расчета показателя совокупной стоимости владения (рис. 5).

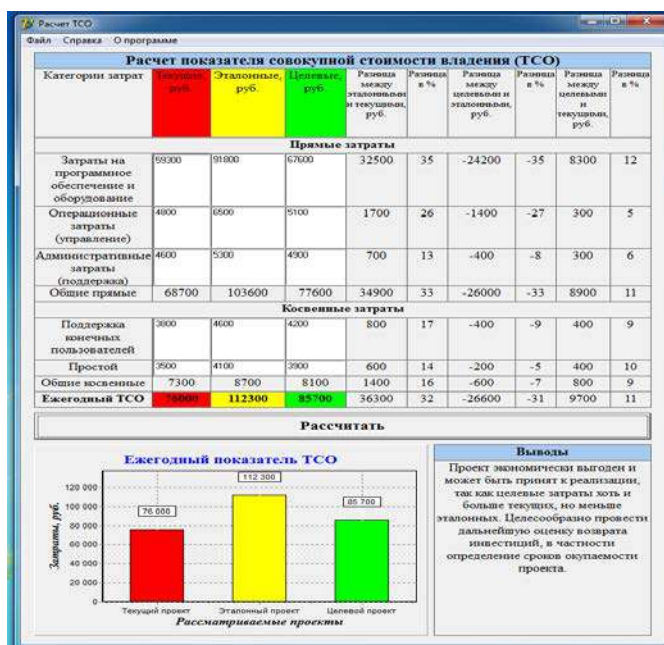


Рисунок 5 – Форма для расчета показателя совокупной стоимости владения

Таким образом, наличие специального аппарата (методов и

инструментов) для экономической оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность является одним из важнейших требований существующих международных и национальных стандартов. Результаты сравнительного анализа существующих подходов показали, что в качестве основы построения ЭС наиболее предпочтительной является методология экономической оценки возврата инвестиций в систему ИБ.

Разработанная в среде Delphi 7 программная модель ЭС позволяет в автоматическом режиме производить все необходимые расчеты. Данная модель обладает рядом преимуществ, к которым, прежде всего, следует относить доступность среды разработки, стройность и высокую читаемость кода; простоту реализации и понимания процессов функционирования для конечного пользователя (реализованная в виде набора табличных форм и формульных зависимостей с возможностью графического отображения, понятных для конечного пользователя); возможность применения как для расчета в целом показателя ROSI, так и для определения отдельных параметров (TCO, ALE, Qсиб).

Дальнейшим направлением развития разработанной программной модели ЭС целесообразно рассматривать ее совершенствование с целью применения не только для экономической оценки эффективности мероприятий по ИБ на уровне отдельных предприятий, учреждений, организаций, но в целом на уровне региона.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 05.12.2016 №646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации».
2. Международный стандарт ISO/IEC 17799:2000 «Информационные технологии – практические правила управления информационной безопасностью».
3. Международный стандарт ISO/IEC 27001:2013 «Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования».
4. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности».
5. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
6. Информационная безопасность предприятия: Учебное пособие / Н.В. Гришина. – 2-е изд., доп. // М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М. 2015.
7. Комплексная система защиты информации на предприятии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.Г. Грибунин, В.В. Чудовский // М.: Издательский центр «Академия». 2009.
8. Петренко С.А. Обоснование инвестиций в кибербезопасность // Труды ИСА РАН. Т. 27. 2006.

9. Сияк А.А., Губенко Н.Е. Анализ методов оценки эффективности затрат в информационную безопасность // Донецкий национальный технический университет. 2012.
10. Козулин С.В. «Применение экспертных систем для анализа и оценки информационной безопасности». Международный научный журнал «Молодой ученый» №11 (145) / 2017.
11. Соляной В.Н., Сухотерин А.И., Шихнабиева Т.Ш., Сиротский А.А. Некоторые элементы ассоциативности в методиках преподавания дисциплин технической направленности. Организация менеджмента информационной безопасности в финансово-кредитных учреждениях. Информационная безопасность бизнеса и общества. Сборник статей научно-преподавательского состава кафедры информационных систем, сетей и безопасности / Российский Государственный Социальный Университет // М.: Издательство «Перо». 2016.
12. Соляной В.Н., Сухотерин А.И. Становление направления «Радиоэлектронная безопасность функционирования информационных объектов» в системе дополнительного профессионального образования по информационной безопасности // Научный журнал №1 (07) 2016г. ИНФОРМАЦИОННО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК г. Москва. МО: Изд-во «Научный консультант». МГОТУ. 2016.

УДК 66

**Содержание хлора в эпоксидных смолах и оценка его влияния
на качество продукции на их основе**

П.А. Щеглов, инженер-технолог 1-ой категории, ОАО «Композит»,
А.С. Шестаков, инженер-технолог 1-ой категории, ОАО «Композит»,
А.И. Вялов, начальник отдела 0212, ОАО «Композит»,
Объединённое акционерное общество «Композит», г. Королев, Московская
область

Статья посвящена оценке влияния содержания хлора в эпоксидных смолах на качество продукции и проблемам, связанным со снижением доли гидролизуемого хлора для улучшения качества. Отмечено, что эпоксидные полимеры и олигомеры широко используются в производстве высокопрочных конструкционных материалов, электротехнике, электронике, радиоэлектронике, приборостроении, машиностроении, судостроении, авиации, в ракетной и космической технике. В электротехнике, в частности, эпоксидные олигомеры применяются для герметизации стыков электрических кабелей, для заливки обмоток трансформаторов, двигателей, герметизации и даже капсулирования различных деталей в целях защиты от окружающей среды. Современная техника предъявляет повышенные требования к так называемой «чистоте» полимерных материалов и их качеству, в частности к минимизации легколетучих и ионных примесей, снижению содержания групп, выделяющих нежелательные примеси при эксплуатации. «Чистота» компонентов эпоксидного материала обеспечивает их коррозионностойкость и, как следствие, определяет надёжность приборов.

Эпоксидные полимеры, чистота, качество, хлор.

**Content of chlorine in epoxy resins and assessment of his influence
on quality of production on their basis**

P.A. Shcheglov, first category engineer-technologist, JSC «Kompozit»,
A.S. Shestakov, first category engineer-technologist, JSC «Kompozit»,
A.I. Vyalov, head of department 0212, JSC «Kompozit»,
Joint Stock Company «Kompozit», Korolev, Moscow region

Article is devoted to assessment of influence of content of chlorine in epoxy resins on quality of production and to the problems connected with decrease in a share of the hydrolyzed chlorine for improvement of quality. It is noted that epoxy polymers and oligomer are widely used in production of high-strength constructional materials, electrical equipment, electronics, radio electronics, instrument making, mechanical engineering, shipbuilding, aircraft, in the rocket and space equipment. In electrical equipment, in particular, epoxy oligomer are applied to

sealing of joints of electric cables, to filling of windings of transformers, engines, sealing and even capsulation of various details for protection against the environment. The modern equipment imposes increased requirements to so-called «purity» of polymeric materials and their quality, in particular to minimization of easily flying and ionic impurity, decrease in keeping of the groups emitting undesirable impurity at operation. «Purity» of components of epoxy material provides their corrosion resistance and, as a result, defines reliability of devices.

Эпоху полимеров, чистота, качество, хлорин.

Эпоксидные полимеры и олигомеры повсеместно применяются в самых разных отраслях техники благодаря сочетанию сравнительно простой технологии переработки с такими высокими их показателями, как адгезия к разнообразным материалам, теплостойкость, физико-механические показатели, стойкость к различным химическим средам, а также способность отверждаться, как при нормальных условиях, так и в широком интервале температур с достаточно малой усадкой ($\leq 0,4\%$). Они широко используются в производстве высокопрочных конструкционных материалов, электротехнике, электронике, радиоэлектронике, приборостроении, машиностроении, судостроении, авиации, в ракетной и космической технике [3, 4]. В электротехнике, в частности, эпоксидные олигомеры применяются для герметизации стыков электрических кабелей, для заливки обмоток трансформаторов, двигателей, герметизации и даже капсулирования различных деталей в целях защиты от окружающей среды. Коксованные и пироуглеродные углепластики на эпоксидной основе устойчивы, как к термической, так и к термоокислительной деструкции и могут эксплуатироваться при очень высоких температурах [6]. По данным технико-экономического исследования фирмы Nexant сегмент потребления эпоксидных олигомеров и полимеров в электронике и электротехнике занимает четвертое место и составляет примерно 10 процентов от общемирового потребления эпоксидных смол.

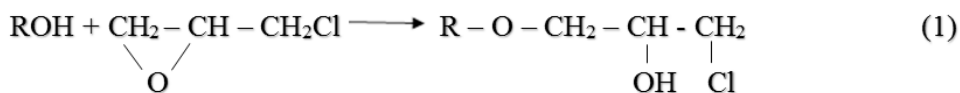
Современная техника предъявляет повышенные требования к так называемой «чистоте» полимерных материалов и их качеству, в частности к минимизации легколетучих и ионных примесей, снижению содержания групп, выделяющих нежелательные примеси при эксплуатации. «Чистота» компонентов эпоксидного материала обеспечивает их коррозионностойкость и, как следствие, определяет надёжность приборов.

Как и во всех прочих областях, в электронике и электротехнике наиболее широко применяют эпоксидные смолы, которые получают так называемым хлоргидринным способом, другими словами, через присоединение эпихлоргидрина. К таким эпоксидным смолам относятся эпоксидиановые, эпоксисилоксановые, алифатические и ароматические разбавители. Всё это – крупнотоннажные, промышленные продукты, а потому – наиболее доступные и дешёвые.

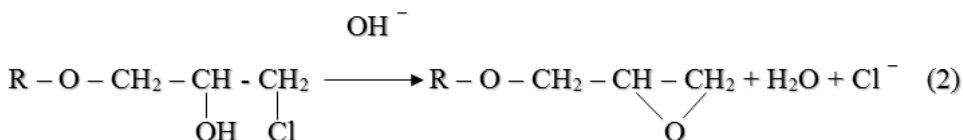
Процесс получения эпоксидных смол через присоединение эпихлор-

гидрина включает следующие реакции [1]:

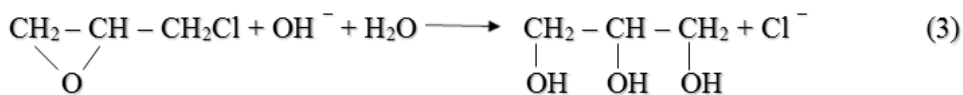
- взаимодействие гидроксильной группы с эпихлоргидрином



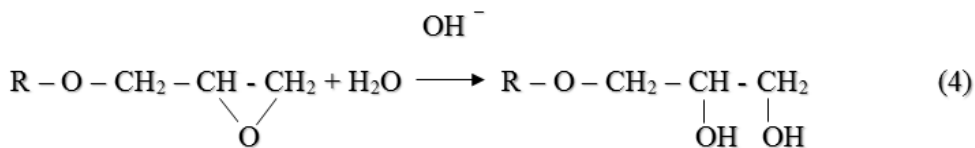
- дегидрохлорирование хлоргидринного эфира



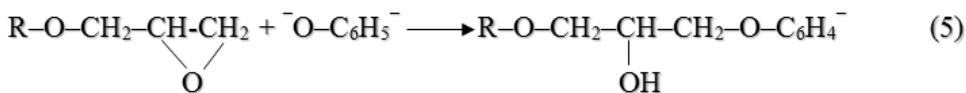
- гидролиз эпихлоргидрина до глицерина



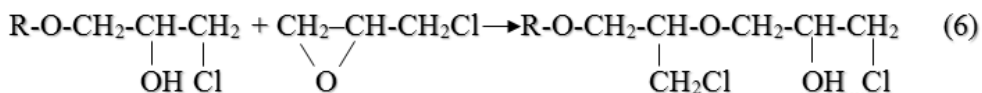
- гидролиз эпокси группы глицидилового эфира



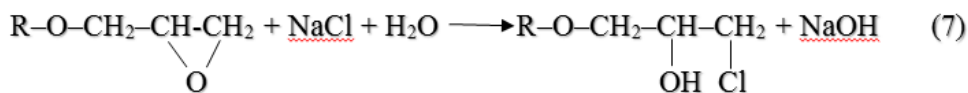
- взаимодействие эпоксидных групп образовавшейся смолы с фенольными гидроксильными группами



- взаимодействие гидроксила хлоргидринной группы с эпихлоргидрином



- обратное присоединение NaCl к эпоксидной группе в щелочной среде



Реакции (1) и (2) являются основными реакциями, реакции (3) – (7) – побочными, ведущими к дефектности синтезируемой смолы.

Процесс получения эпоксидных смол можно проводить двумя способами:

- одностадийный способ: реакции присоединения и дегидрогалогенирования в присутствии щёлочи протекают одновременно. Этот способ применяют для получения ароматических глицидиловых эфиров. Реакцию проводят в большом избытке эпихлоргидрина (мольное соотношение [эпихлоргидрин]: [ОН] > 3) при постепенной подаче щёлочи. Большой избыток эпихлоргидрина необходим для подавления побочной реакции (5). При проведении процесса по одностадийному способу протекают побочные реакции (3, 4, 5, 7), в результате готовая эпоксидная смола содержит в качестве примеси высокомолекулярную фракцию с гидроксильными группами в структуре. Примесь органического, трудно омыляемого хлора в смоле, полученной по одностадийному способу незначительна;

- двухстадийный способ: сначала проводят реакцию присоединения эпихлоргидрина в присутствии кислого катализатора ($\text{BF}_3 \cdot \text{эфират}$, SnCl_4), а затем дегидрогалогенирование полученного хлоргидрина щёлочью. В этом случае не требуется больших избытков эпихлоргидрина. В качестве побочных протекают реакции (3, 4, 6, 7), а смола в своей структуре содержит органический и гидролизуемый хлор. Двухстадийным способом получают, как правило, алифатические эпоксидные смолы и разбавители.

Органический хлор отщепляется под действием щёлочи в очень жёстких условиях при $t > +150^\circ \text{C}$, поэтому считается трудно омыляемым, неактивным. Гидролизуемый хлор (хлор в хлоргидринной группе) реагирует с водой в присутствии щелочных примесей уже при комнатной температуре, выделяя ионы хлора, таким образом, гидролизуемый хлор может стать их источником при попадании влаги в эпоксидный материал. После проведения дегидрогалогенирования смолу нейтрализуют и очищают от примесей солей и растворителя. Стоит отметить, что полностью освободиться от примесей в промышленных эпоксидных смолах технически невозможно, реально только максимально снизить концентрацию хлорсодержащих продуктов.

К крайне нежелательным для смол, применяемых в электронике и электротехнике, относятся примеси хлора и хлорсодержащих соединений, в частности, ионный хлор, поскольку он является причиной коррозии при наличии влаги, и гидролизуемый хлор, поскольку он служит потенциальным источником ионного хлора при наличии воды.

Хлор в составе промышленных эпоксидных смол может присутствовать в следующих формах:

- в ионной форме вследствие недостаточного освобождения эпоксид-

ных смол от примеси хлористого натрия – так называемый ионный хлор;

- в трудноомыляемой форме вследствие наличия 1,3 – хлоргидринов и хлорметильных групп, а также хлорорганических примесей – так называемый омыляемый хлор;

- в омыляемой (гидролизуемой) форме вследствие недостаточно полного завершения реакции дегидрохлорирования 1,2 – хлоргидриновых эфиров, фенолов и спиртов – так называемый гидролизуемый хлор, который также часто называется активным.

Результаты исследований авторов доказывают, что неполное завершение реакции дегидрохлорирования при синтезе эпоксидных смол ухудшает такие важные эксплуатационные характеристики отверждённых композиций, как химическая стойкость, их физико-механические и электроизоляционные свойства, что является очень существенным при использовании их для изделий наиболее ответственного назначения. В Российской Федерации к «чистоте» эпоксидных смол не предъявлялись высокие требования, что обусловило отсутствие научного задела в данной области [8].

Исследования авторов показали, что в Российской Федерации эпокси-диановые смолы выпускают по ГОСТ 10587-84 [2], в котором заложены требования к «чистоте», существенно заниженные по сравнению с показателями качества импортных смол: содержание хлора в ионной форме ограничивается 0,001-0,002%, в то время как в импортных смолах – не более 5 ppm (0,0005%); показатель гидролизуемого хлора в отечественных смолах ограничивается уровнем 0,2 – 0,8% (масс.) в зависимости от марки смолы и сортности, в то время как в зарубежных промышленных смолах общего назначения составляет менее 0,1% (зачастую менее 0,05%). В смолах электротехнического назначения этот показатель – менее 0,02%.

Проведённый авторами анализ производства показал, что в настоящее время крупномасштабное производство эпоксидных смол в России отсутствует. Возможно, с этим связано отсутствие патентов по снижению хлорсодержащих примесей в эпоксидных смолах. Компания ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева» является производителем ассортимента активных разбавителей эпоксидных смол и эпоксидной смолы ЭТФ. Ниже приведены технические требования к этим продуктам (табл. 1) в сравнении с требованиями к некоторым импортным аналогам. Как видно, требования к содержанию гидролизуемого хлора в наших продуктах не соответствует уровню этого показателя в импортных аналогах, особенно для электроники.

Таблица 1 – Технические требования к отечественным смолам и их зарубежным аналогам

Марка смолы	Массовая доля эпоксидных групп, %	Массовая доля гидролизуемого хлора, %	Динамическая вязкость, мПа · с, при 25 °С
1	2	3	4
Лапроксид 201 Б	> 25	< 0,2	< 2,5
Polurox R 5	26,1 – 30,7	< 0,1	1,2 – 1,8
Лапроксид 301 Г	17,0 – 20,0	< 1,0	3 – 5
Polurox R 17	18,7 – 20,5	< 0,3	2 - 4
Лапроксид БД	28,0 – 33,0	< 0,5	10 – 30
Polurox R 3	29,6 – 33,1	< 0,2	12 - 22
Лапроксид БФ	17,5 – 20,0	< 1,0	10 – 40
Polurox R 7	17,9 – 19,5	< 0,3	10 - 30
Лапроксид НЕО	26,0 – 30,0	< 0,5	15 – 50
Polurox R 7	26,9 – 28,7	< 0,2	15 - 25
Лапроксид ТМП	27,0 – 31,0	< 1,0	140 – 200
Polurox R 20	28,7 – 30,7	< 0,8	120 - 180
Лапроксид 702	7,5 – 10,5	< 1,0	70 – 120
Polurox R 19	12,4 – 13,7	< 0,3	40 - 90

Основной способ снижения хлорсодержащих примесей в эпоксидных смолах, заключается в дополнительной обработке смолы, которая может быть как химической (в частности, упомянутая выше обработка щёлочью), так и физической (например, дополнительная дистилляция, экстракция и т.д.). В 80-90-ые годы прошлого века на данную тему были опубликованы патенты ведущими производителями эпоксидных смол, такими как DOW Chemical Company, Ciba Geigy Corp. (сегодня – Huntsman Advanced Materials), Shell Oil Company, Sumitomo Chemical Company. Основная группа патентов предлагает проводить додегидрохлорирование смолы щёлочью с последующим тщательным удалением ионных примесей.

В патенте [7], принадлежащем крупнейшему мировому производителю эпоксидных смол – фирме DOW Chemical Company, авторы отмечают, что современные материалы, применяемые в электронике, должны иметь минимальный уровень не только гидролизуемого хлора (менее 10 ppm, а лучше – менее 1 ppm), но и олигомеров с молекулярной массой выше теоретической, поскольку такие олигомеры содержат в своей структуре ОН-группы. Для получения «суперчистой» смолы теоретического состава и строения авторы предлагают проводить «разгонку» промышленной эпоксидной смолы методом молекулярной дистилляции, выделяя узкую фракцию с теоретическим составом. Предварительно, перед проведением дистилляции смолу дополнительно додегидрохлорируют. Додегидрохлорирование по данному способу проводят без применения растворителя эквивалентным количеством концентрированного раствора щёлочи, а потому при более высоких температурах (~ 70 °С). После додегидрохлорирования реакционную смесь нейтрализуют углекислым газом и подвергают молекулярной дистилляции на плёночном испарителе в глубоком вакууме при температурах (~ 150-200 °С).

Предлагаемый способ позволяет получать смолу практически теоретического строения, то есть без примесей димеров и других олигомеров, с минимальным содержанием гидролизуемого хлора. К преимуществам своего способа авторы относят следующее:

- не используются значительные количества растворителей;
- не используется избыток щёлочи;
- не требуется проводить стадии очистки, включающие водную отмывку, отгонку растворителя и фильтрацию.

Однако, следует отметить, что предлагаемый способ проведения дополнительного дегидрохлорирования (без растворителя и при высокой температуре) приведёт к дополнительной «подшивке» смолы по эпоксидным группам, то есть увеличится доля высокомолекулярной фракции в смоле. В результате по предлагаемому способу невозможно получить целевой продукт с высоким выходом, что подтверждают данные, приведённые в примерах патента. Также следует отметить, что данный способ требует применения сложного и дорогостоящего оборудования.

В настоящее время в рамках государственно-частного партнёрства [5], проводятся совместные работы госкорпорацией «Роскосмос», ОАО «Композит», ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева» по разработке компаундов, клеев и герметиков для применения в электротехнических изделиях ракетно-космической техники на основе дегидрогалогенированных эпоксидных смол и активных разбавителей марки Лапроксид. Как известно, эпоксидные смолы – высоковязкие или твёрдые вещества, поэтому для получения материалов с удобными технологическими характеристиками (в частности, вязкостью) в их рецептуру вводят активные разбавители марки Лапроксид – глицидиловые эфиры алифатических и ароматических спиртов с различной функциональностью, которые позволяют создавать современные, не содержащие растворитель, а, следовательно, экологически безопасные материалы. При отверждении активные разбавители встраиваются в полимерную цепь, модифицируя её, при этом, активные разбавители являются не только разбавителями, но и пластифицирующими модификаторами.

Снижение содержания гидролизуемого хлора было проведено двумя способами:

- оптимизацией стадии дегидрохлорирования при синтезе;
- дополнительным дегидрохлорированием продукта.

Для минимизации побочных процессов подшивки гидроксильных групп к образовавшимся эпоксидным группам на стадии дегидрохлорирования, а также для повышения эффективности стадии водной отмывки избытка щёлочи и выделившегося по реакции хлористого натрия в реакционную смесь был введён растворитель – толуол. Синтез из хлоргидрина проводился следующим образом: хлоргидрин или его раствор обрабатывались щёлочью при 40 – 50 °С в течение 1 часа, затем к реакционной массе добавлялась вода, смесь перемешивалась 0,5 часа для растворения солей и оставлялась для расслаивания на 2 часа. За это время реакционная смесь делится на 2 слоя:

- органический, представляющий собой Лапроксид или его раствор с примесью воды, щёлочи и соли;

- водный, содержащий соль, щёлочь и примесь органики.

Затем слои были разделены, органический слой нейтрализован, вода с растворителем отогнана и проведена финишная фильтрация.

Сравнение результатов синтеза с синтезом без применения растворителя показало, что введение растворителя улучшило разделение фаз, а именно: содержание воды в органической фазе снизилось с 5 % до менее 1,4 %, при этом в толуольной органической фазе отсутствует алкоголятная щёлочность, а суммарная – снизилась более, чем в 3 раза. В результате в конечном продукте, полученном синтезом с толуолом, остаточного гидролизуемого хлора меньше в 4 раза, при этом улучшились и другие показатели: повысилась доля эпоксидных групп, снизилась вязкость (табл. 2).

Таблица 2 – Снижение гидролизуемого хлора

Синтез	Органическая фаза			Массовая доля эпоксидных групп, %	Массовая доля гидролизуемого хлора, %	Массовая доля органического хлора, %	Динамическая вязкость, мПа · с, при 25 °С
	Массовая доля воды, %	Щёлочность, %					
		Алколятная	Суммарная				
1	5,0	0,03	0,050	17,4	0,060	3,3	130
2	1,4	-	0,010	18,6	0,015	3,3	90
3	1,3	-	0,008	18,9	0,006	3,1	95
Хлор ионный отсутствует во всех синтезах							

Додегидрохлорирование этого образца Лапроксида проводилось в растворителе, в качестве которого был также выбран толуол, при 40-50 °С в течение 1 часа гидроксидом натрия. Щёлочь применялась в эквивалентном избытке (~ 150 %). Далее проводилось выделение готового продукта по методике, приведённой выше. На стадии водной отмывки разделение слоёв было более чёткое, причём органическая фаза не содержала щёлочности. В результате был получен продукт, в котором гидролизуемый хлор снижен в 70 раз, при этом вязкость продукта выросла незначительно.

Следует отметить, что проведение додегидрохлорирования эквивалентным избытком щёлочи позволило существенно снизить «вредный» гидролизуемый хлор в продукте. Значения хлора в готовом продукте, как правило, выше, чем в полупродукте, что говорит о необходимости дополнительной оптимизации стадий выделения продукта.

Таким образом, от содержания хлора в эпоксидных смолах напрямую зависит коррозионностойкость материалов на их основе, высокое содержание хлора приводит к снижению таких важных эксплуатационных характеристик отверждённых композиций, как химическая стойкость, их физико-

механические и электроизоляционные свойства, что является очень существенным при использовании их для изделий наиболее ответственного назначения. Показана эффективность додегидрохлорирования смолы для снижения в ней массовой доли «вредного» гидролизующего хлора, проведено изучение влияния типа растворителя, избытка щёлочи на показатели продуктов. Предложенный способ отличается от известных сравнительно дешёвой и отсутствием необходимости применения сложного и дорогостоящего оборудования.

Литература

1. Благодравова А.А., Непомнящий А.И. Лаковые эпоксидные смолы // М.: Химия. 1970.
2. ГОСТ Р 10587-84 Смолы эпоксидно-диановые. Технические условия. Введ. 1985-01-01.-М.: Изд-во стандартов. 1984. С. 17.
3. Исаев В.Г. О методическом подходе к оценке технического уровня агрегатов и систем космических ракетных комплексов // Информационно-технологический вестник № 2(04) 2015. 136с. Стр. 106-110.
4. Исаев В.Г., Озерский М.Д. Основные направления создания отечественных многоцветных космических систем // Информационно-технологический вестник № 1(01) 2014. 103с. Стр.34-43.
5. Исаев В.Г. Возможные области применения государственно-частного партнерства в исследованиях околоземного пространства // Информационно-технологический вестник № 1(11) 2017. 114с. Стр. 3-13.
6. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология // СПб.: Профессия, 2008.
7. Пат. 20020022709 США. Process for the elimination of materials containing hydrolysable halides and other high molecular weight materials from epihalohydrin derived epoxy resins / R. Mader // Опубл. 21.02.2002.
8. Фирсов В.А., Волошкин А.Ф., Негрובה Л.П. и др. Проблемы создания эпоксидных пресс-материалов для герметизации интегральных микросхем // Пластические массы. 1994. № 2. С. 3-7.

ДЛЯ ЗАМЕТОК
