

УДК 004.4'22

## **ОБ ОЦЕНКЕ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ И ВЕКТОРА ПАРАМЕТРОВ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ\***

А.А. ВОЕВОДА<sup>1</sup>, Г.В. ТРОШИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики. E-mail: ucit@ucit.ru

<sup>2</sup>630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

Принципы калмановской фильтрации, имеющие важное самостоятельное значение, дали мощный толчок для достижения многих интересных результатов теоретического и прикладного значения и в смежных областях. Данная работа продолжает обзор статей, посвященных использованию фильтра Калмана при идентификации систем. В материалах XII Всероссийского совещания по проблемам управления, состоявшегося 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, включены работы широко известных специалистов, отражающие современное состояние различных аспектов теории фильтрации и управления в динамических системах. В данной статье дан обзор некоторых подходов, используемых при оценивании вектора параметров и вектора состояния в задаче идентификации динамических систем. Особый интерес представляют примеры, содержащие результаты моделирования реальных ситуаций, например, использование алгоритмов нелинейной дискретной фильтрации в радиолокаторах управления воздушным движением для сопровождения траекторий. Структура моделей при этом определяется после тщательного исследования динамики системы. Существенным требованием является близкое сходство модели с объектом. Отметим, что при математическом моделировании динамических объектов возникает проблема неизмеряемых возмущений или помех, а также необходимо учитывать тот факт, что некоторые состояния системы не могут быть определены непосредственно по выходным данным системы. Рассмотренные работы ни в коей мере не охватывают все возможные случаи, они лишь показывают разнообразие систем, которые могут быть промоделированы, и получаемые при этом важные результаты.

---

\* Статья получена 10 июня 2014 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному заданию № 2014/138. Тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоёмких результатов интеллектуальной деятельности».

**Ключевые слова:** идентификация, оценивание состояния, динамическая система, фильтр Калмана, оценивание параметров, линейная система, нелинейная система, структурная идентификация

DOI: 10.17212/2307-6879-2014-4-53-68

## ВВЕДЕНИЕ

При решении многих прикладных задач возникает необходимость идентификации тех или иных математических моделей управляемых объектов. Отметим, что в последнее время появилось большое число публикаций, посвященных задаче активной параметрической идентификации стохастических нелинейных систем [1, 2]. В данной работе рассматриваются методы анализа и реализации фильтров для оценивания состояния динамических систем в практических задачах. Выбор переменных состояния при реализации фильтра может стать критическим с точки зрения минимизации требуемых вычислений. Важным моментом является также моделирование измерений. При заданной последовательности измерений фильтр, в котором обрабатывается вектор переменных состояния, может использовать большое количество вычислительных операций, поэтому фактически будет использована только часть полученных измерений. Поэтому при решении уравнений, возникающих в задаче фильтрации, требования вычислительного характера оказываются невыполнимыми для большинства практических задач. В работах [3, 4] довольно подробно изложены основные результаты, касающиеся оценивания качества экспериментальных данных на основе использования информационной матрицы Фишера по данным установившегося режима в задаче активной идентификации при оценивании параметров линейных динамических дискретных стационарных объектов. Внимание авторов работ XII Всероссийского совещания по проблемам управления, состоявшегося 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, концентрируется в большей мере на прикладной стороне вопросов управления, что находит отражение как в рассмотрении различных примеров, содержащих результаты моделирования реальных ситуаций, так и в разработке алгоритмов, удобных для реализации. Ниже приведен обзор некоторых статей, представленных в трудах XII Всероссийского совещания по проблемам управления. Данная статья проявляется продолжением работы\*, опубликованной ранее, и посвящена использованию фильтра Калмана при идентификации систем.

---

\* Трошина Г.В. Об использовании фильтра Калмана при идентификации динамических систем // Сб. науч. тр. НГТУ. – Новосибирск, 2014. – Вып. 3(77). – С. 37–52.

## 1. ОЦЕНКА ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Описание дискретной модели представим в виде [4]:

$$\begin{aligned}x(t+1) &= \Phi x(t) + Gu(t) + \Gamma w(t), & x(0) &= \bar{x}_0, \\y(t+1) &= Hx(t+1) + v(t+1), & t &= \overline{0, N-1},\end{aligned}$$

где  $x(t)$  –  $n$ -вектор состояния;  $\bar{x}_0$  –  $n$ -вектор оценок математического ожидания случайного гауссовского вектора  $x(0)$  с неотрицательно определенной ковариационной матрицей  $P(0)$ ;  $u(t)$  –  $r$ -вектор входных сигналов;  $\{w(t), t = 0, 1, \dots\}$  – белая гауссовская последовательность с нулевым средним и неотрицательно определенной ковариационной матрицей  $Q$ ;  $\Phi, G, \Gamma$  –  $(n \times n), (n \times r), (n \times q)$  переходные матрицы состояния, управления и возмущения соответственно;  $H$  –  $(m \times n)$  матрица наблюдения;  $y(t)$  –  $m$ -вектор наблюдения;  $\{v(t), t = 0, 1, \dots\}$  – белая гауссовская последовательность с нулевым средним и положительно определенной ковариационной матрицей  $R$ ;  $N$  – объем выборки. Таким образом, можно проводить классификацию моделей по наличию/отсутствию случайных сигналов. В моделях в форме пространства состояний (непрерывных/дискретных) используется вектор состояния, что приводит к необходимости его восстановления из наблюдений за входом/выходом объекта.

Уравнения фильтрации по Калману для решения задачи оценивания состояния линейных дискретных систем, описываемых моделями в пространстве состояний, в классической форме (без нормирования обновленной последовательности) имеют следующий вид\*:

$$\hat{x}(t+1|t) = \Phi \hat{x}(t|t) + Gu(t), \quad \hat{x}(0|0) = \bar{x}_0;$$

$$P(t+1|t) = \Phi P(t|t) \Phi^T + \Gamma Q \Gamma^T, \quad P(0|0) = P(0);$$

$$B(t+1) = HP(t+1|t)H^T + R;$$

$$K(t+1) = P(t+1|t)H^T (HP(t+1|t)H^T + R)^{-1};$$

---

\* Ниже использованы общепринятые обозначения для дискретного случая:  $\hat{x}(t+1|t)$  – оценка предсказания на один шаг вперед на основе наблюдения в момент  $t$ ,  $\hat{x}(t|t)$  – оценка фильтрации в момент  $t$  по наблюдению на основе наблюдений до  $t$  включительно.

$$\varepsilon(t+1) = y(t+1) - H\hat{x}(t+1|t);$$

$$\hat{x}(t+1|t+1) = \hat{x}(t+1|t) + K(t+1)(y(t+1) - H\hat{x}(t+1|t));$$

$$P(t+1|t+1) = P(t+1|t) - K(t+1)HP(t+1|t).$$

Здесь приняты следующие обозначения:  $P(t+1|t)$  – матрица ковариации ошибок оценок предсказания размера  $n \times n$ ;  $K(t+1)$  – матрица усиления Калмана размера  $n \times m$ ;  $P(t+1|t+1)$  – матрица ковариации ошибок оценок фильтрации размера  $n \times n$ ;  $\varepsilon(t+1)$  показывает разницу между выходом системы и оценкой предсказания выхода системы. Таким образом, уравнение фильтра включает в себя оценку предсказания  $\hat{x}(t+1|t)$ , матрицу усиления  $K$  в момент  $t+1$ .

Для стационарного случая уравнения фильтрации по Калману с использованием нормированной обновленной последовательности имеют следующий вид:

$$\hat{x}(t+1|t) = \Phi \hat{x}(t|t) + Gu(t), \quad \hat{x}(0|0) = \bar{x}_0;$$

$$P(t+1|t) = \Phi P(t|t)\Phi^T + \Gamma Q \Gamma^T, \quad P(0|0) = P(0);$$

$$B(t+1) = HP(t+1|t)H^T + R, \quad \Sigma(t+1) = \text{SQRT}(B(t+1));$$

$$\hat{y}(t+1) = H\hat{x}(t+1|t), \quad v(t+1) = \Sigma^{-1}(t+1)(y(t+1) - \hat{y}(t+1|t));$$

$$K(t+1) = P(t+1|t)H^T \Sigma^{-1}(t+1);$$

$$\hat{x}(t+1|t+1) = \hat{x}(t+1|t) + K(t+1)v(t+1);$$

$$P(t+1|t+1) = P(t+1|t) - K(t+1)\Sigma^{-1}(t+1)HP(t+1|t).$$

По-видимому, следует использовать фильтры пониженного порядка, так как они проще.

Авторы работы [5] рассматривают задачу идентификации нелинейных динамических процессов, представимых в виде моделей Винера и Гаммерштейна. Исследуются системы, находящиеся в условиях частичной параметризации. Предполагается, что структура и параметры уравнения, описывающего линейную динамическую часть объекта, не известны. При этом вид нелинейности является известным с точностью до набора параметров. Предложен ал-

горитм, который не требует наличия полной априорной информации о структуре объекта. Реакция линейной системы на входное воздействие описывается интегралом Дюамеля. Дана методика построения моделей для получения прогноза выхода нелинейных систем путем сочетания моделей линейного динамического и нелинейного статического процессов в общей модели системы.

Метод идентификации объекта управления, имеющего сложную структуру с распределенными управляющими воздействиями, имеющими различные запаздывания и число которых превосходит число выходных воздействий, рассматривается в работе [6]. Объекты такого рода обладают внутренними координатными и параметрическими связями, и это позволяет отнести их к классу нелинейных. Особенность идентификации таких объектов состоит в планировании эксперимента специальным образом и в последовательной обработке полученных данных. Предложен подход, состоящий из двух этапов. На первом этапе выполняется идентификация одного канала регулирования, который характеризуется отсутствием параметрических связей и наименьшим запаздыванием. На втором этапе проводится идентификация остальных каналов регулирования, когда расчетным путем исключают эффекты влияния изменения коэффициентов передачи каналов регулирования, математические модели которых уже известны. С этой целью проводят эксперименты с нанесением исследовательских воздействий на прогнозируемые траектории рабочих управлений и последовательную обработку полученных данных.

В работе [7] описаны некоторые приемы генерации разнообразия ансамблей моделей в задачах идентификации. Показано, что точность ансамбля зависит как от точности индивидуальных моделей, так и от их разнообразия. Исследована эффективность методов генерации разнообразия, основанных на манипуляциях с исходной обучающей выборкой и параметрами обучения индивидуальных моделей.

Системы дискретных уравнений с быстрыми и медленными переменными рассматриваются в работе [8]. Для нахождения решения задачи используется схема усреднения и приводится ее обоснование. Предлагается схема построения асимптотического управления в задаче, если известно соответствующее управление в усредненной задаче. Формулируются условия, при которых решения исходной и усредненной задач близки на асимптотически большом промежутке дискретного времени.

Авторы работы [9] рассматривают построение гарантированных оценок состояния динамических систем в условиях неопределенности, когда статистическая информация о возмущениях и помехах отсутствует и известны только множества их возможных значений. Рассмотрено построение аппрок-

симации информационных множеств на основе текущего измерения, а также с учетом накопленных ранее данных.

## **2. ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

Проблема параметрической идентификации состоит в получении оценок параметров из наблюдений входного и выходного сигналов, которые могут быть непрерывными или дискретными. Методы идентификации существенным образом зависят от наличия/отсутствия случайных сигналов и, соответственно, от количества информации об этих воздействиях.

Следует отметить работу [10], которая посвящена анализу дополнительной погрешности идентификации, возникающей из-за статистических флуктуаций корреляционной функции входного сигнала в условиях ограниченных интервалов наблюдения. Для решения этой задачи предварительно решается задача оценивания свойств корреляционной функции входного сигнала и соответствующей обратной матрицы. Для входного сигнала в виде белого шума и входного сигнала с экспоненциальной корреляционной функцией оценки дополнительной погрешности доведены до количественных соотношений.

В работе [11] рассматривается задача идентификации многомерных безынерционных объектов, особенностью которых является стохастическая зависимость между компонентами вектора входных переменных. Это приводит к тому, что реально протекающий процесс заполняет некоторое подпространство в гиперкубе, размеры которого ограничиваются областью определения соответствующих входных и выходных переменных. Такие процессы называют  $H$ -процессами. При моделировании объектов такого рода необходимо использовать индикаторную функцию. При удачном выборе параметрической структуры полученная модель достаточно хорошо с практической точки зрения описывает поведение исследуемого процесса.

Авторы работы [12] предлагают три критерия оптимизации: индекс интерпретируемости, характеризующий различимость и понятность нечетких термов; точность, оцениваемую процентом правильно классифицированных объектов; сложность, или компактность, выраженную числом нечетких правил. Разработаны алгоритмы нахождения компромисса между этими критериями, позволяющие получить несколько нечетких классификаторов с различной степенью интерпретируемости, сложности и точности. Любой из этих классификаторов может быть выбран в зависимости от требований пользователя.

В работе [13] предлагается метод адаптивного управления одномерным линейным объектом при неизвестных ограниченных внешних возмущениях. Коэффициенты объекта не известны и меняются в некоторые моменты времени. Процесс адаптации состоит из двух процедур: идентификации и синтеза. Процедура идентификации основана на методе конечно-частотной идентификации объекта управления и замкнутой системы. Процедура синтеза использует метод модального управления. Используется алгоритм выбора модального полинома, обеспечивающий заданную точность и запасы устойчивости системы.

Проблема управления в задаче слежения авторами работы [14] формулируется для класса нелинейных объектов, представленных в виде линейной структуры с параметрами, зависящими от состояния. Предполагается, что система подвергается неконтролируемым ограниченным возмущениям. Поиск оптимальных параметров регулятора сводится к необходимости решения некоторого векторного нелинейного уравнения с определенным правилом нахождения начальных условий. Параметры субоптимального регулятора находятся из решений дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями и параметрами, зависящими от состояния. Предложен метод конструирования гарантирующего управления, не требующий решения нелинейных дифференциальных уравнений с параметрами, зависящими от состояния, и обеспечивающий приемлемые переходные характеристики.

В работе [15] рассматривается задача оптимального управления линейной дискретной стохастической системой. Критерием оптимальности служит вероятность попадания первой координаты системы в заданную окрестность нуля за время, не превышающее заданную величину. Приводятся достаточные условия, при которых найденное оптимальное управление оказывается оптимальным по квантильному критерию.

Авторы работы [16] решают проблему синтеза робастных регуляторов по выходу многомерных систем с параметрической неопределенностью в заданных границах, подверженных действию неизмеряемых внешних полигармонических возмущений, ограниченных по мощности.

### **3. ПРИЛОЖЕНИЯ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

В работе [17] сравниваются четыре метода оценки параметров уравнений летательного аппарата по наблюдениям сигналов с аддитивными шумами и шумом в невязке уравнения (метод инструментальных переменных во временной и частотной области, метод ортогональной регрессии, метод вариаци-

онной идентификации). В работе рассматривается задача оценки параметров системы линейных дифференциальных уравнений, которая описывает продольное движение летательного аппарата вблизи опорной траектории. Получены аналитические выражения для дисперсий оценок разных методов. На основе результатов экспериментов сделан вывод, что использование более трудоемких методов ортогональной регрессии и вариационной идентификации позволяет получать более устойчивые оценки коэффициентов разностных уравнений.

Новый подход к нахождению оценок входного измерительного сигнала с текущей идентификацией параметров математической модели первичного измерительного преобразователя предлагается в работе [18]. В его основе лежит допущение, что динамика всех протекающих процессов удовлетворяет уравнениям Лагранжа второго рода. Это позволило на основе процедур объединенного принципа максимума получить структуру корректирующей обратной связи акселерометра в замкнутой форме. Результаты математического моделирования показали, что обеспечен выигрыш в объеме вычислительных затрат в сравнении с фильтром Калмана. С учетом уравнения для ковариационной матрицы оценивания реализация фильтра Калмана требует решения системы из девяти дифференциальных уравнений первого порядка, а в случае применения предложенного подхода требуется решить шесть дифференциальных уравнений первого порядка. На основе математического моделирования проведена оценка эффективности полученного решения задачи коррекции динамической погрешности акселерометра.

В работе [19] рассмотрены обобщенные математические модели управления. Предложены подходы для описания процессов проектирования технических систем в виде динамических моделей. Приведены способы представления проектных решений в пространствах состояний и параметров. Введено формализованное описание модели процесса проектирования технических систем в пространстве состояний. Выбран математический аппарат для идентификации внутренних операторов пространств состояний и параметров моделей управления для задач проектирования. Предложенные методы формализации процесса проектирования сложных технических систем нашли применение при разработке различных приложений, предназначенных для реализации технологий непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий радиоэлектронных средств, в приборостроении, машиностроении и т. п.

Авторы статьи [20] рассматривают особенности работы алгоритмов квазилинейной и нелинейной дискретной фильтрации в радиолокаторах управле-



ния воздушным движением для сопровождения траекторий. Представлен сопоставительный анализ показателей качества методов дискретной фильтрации для различных условий наблюдения. Даны результаты математического моделирования для следующих фильтров: ансцентного фильтра Калмана, фильтра Калмана при наблюдении полярных координат и фильтрации прямоугольных координат, фильтра Калмана при наблюдении независимых прямоугольных координат, фильтра Калмана с несмещенной оценкой наблюдения. Наиболее точно оценивает вектор состояния вне зависимости от условий наблюдения фильтр Калмана с несмещенной оценкой, ансцентный фильтр Калмана незначительно уступает по точности фильтру Калмана с несмещенной оценкой. Результаты проведенных экспериментов подтверждают значительное ухудшение качества оценки параметров движения летательного аппарата в модификациях фильтра Калмана при увеличении дальности до цели. Поэтому вопросы структурной идентифицируемости остаются наименее исследованными и одновременно становятся наиболее востребованными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье сделан краткий обзор интересных подходов к оцениванию вектора состояния и вектора параметров в задаче идентификации, которые были представлены на XII Всероссийском совещании по проблемам управления, состоявшемся 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чубич В.М. Вычисление информационной матрицы Фишера в задаче активной параметрической идентификации стохастических нелинейных дискретных систем // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 1 (34). – С. 23–40.
2. Чубич В.М. Алгоритм вычисления информационной матрицы Фишера в задаче активной параметрической идентификации стохастических нелинейных непрерывно-дискретных систем // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 3 (26). – С. 15–22.
3. Воевода А.А., Трошина Г.В. Вычисление информационной матрицы Фишера для линейных стационарных дискретных систем с неизвестными параметрами в моделях динамики и наблюдения // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 2 (44). – С. 29–34.
4. Трошина Г.В. Активная идентификация линейных динамических дискретных стационарных объектов во временной области: Дис. ...канд. техн.

наук: 05.13.01 / Г.В. Трошина; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2007. – 171 с.

5. *Коплярова Н.В., Сергеева Н.А.* Непараметрическая идентификация динамических систем [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3181–3191. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

6. *Львова Е.И.* Особенности идентификации объектов сложной структуры с распределенными управляющими воздействиями [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3202–3213. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

7. *Мангалова Е.С., Агафонова Е.Д.* О проблеме генерации разнообразия ансамблей индивидуальных моделей в задачах идентификации [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3214–3223. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

8. *Бойцова И.А.* Усреднение дискретных уравнений с быстрыми и медленными переменными в задачах управления [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 503–514. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

9. *Ширяев В.И., Подвилова Е.О.* Об аппроксимации информационных множеств в задаче гарантированного оценивания состояния линейных динамических систем [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 2132–2140. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

10. *Трояновский В.М., Сердюк О.А.* Дополнительная погрешность идентификации из-за статистических флуктуаций корреляционной функции входного сигнала [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3255–3269. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

11. *Сергеева Н.А., Корнеева А.А., Чжан Е.А.* Об особенностях непараметрического моделирования Н-процессов [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3243–3254. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

12. *Ходашинский И.А., Горбунов И.В.* Алгоритмы идентификации интерпретируемых и точных нечетких классификаторов [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3269–3280. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

13. *Александров А.Г., Шатов Д.В.* Адаптивное частотно-модальное управление [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 135–146. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

14. *Афанасьев В.Н.* Управление нелинейным объектом с параметрами, зависящими от состояния, в задаче слежения [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 491–502. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

15. *Азанов В.М.* Оптимальное управление линейной дискретной системой по вероятностным критериям [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 820–826. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

16. *Честнов В.Н., Самиорин Н.И.* Синтез робастных регуляторов при параметрической неопределенности и внешних возмущениях [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 1033–1045. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

17. *Федосеев А.В.* Сравнение методов идентификации параметров уравнений летательного аппарата [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. –

С. 3139–3147. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

18. Алгоритм коррекции динамической погрешности акселерометра с текущей идентификацией его параметров на основе объединенного принципа максимума / А.А. Костоготов, С.В. Лазаренко, Д.С. Андрашитов, Б.М. Ценных [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3192–3201. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

19. Хранилов В.П. Идентификация внутренних операторов моделей управления для задач проектирования технических систем [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3281–3288. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

20. Солонар А.С., Горшков С.А., Хмарский П.А. Особенности применения методов нелинейной фильтрации в радиолокаторах управления воздушным движением для сопровождения траекторий [Электронный ресурс] // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва, 16–19 июня 2014 года: труды. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3706–3717. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

**Воевода Александр Александрович** – доктор технических наук, профессор кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление многоканальными объектами. Имеет более 200 публикаций. E-mail: [ucit@ucit.ru](mailto:ucit@ucit.ru)

**Трошина Галина Васильевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – идентификация динамических объектов. Имеет более 50 публикаций. E-mail: [tros-hina@dean.cs.nstu.ru](mailto:tros-hina@dean.cs.nstu.ru)

## About parameters vector estimation and state vector estimation in identification problem \*

A.A. Voevoda<sup>1</sup>, G.V. Troshina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation D.Sc. (Eng.), professor. E-mail: ucit@ucit.ru

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor of the computer engineering department. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

The kalmanovsky filtration principles having important independent value gave a powerful spur for many interesting results achievement of theoretical and applied value and in adjacent areas. This work continues the review of articles devoted to use of the Kallman filter at systems identification. In materials XII of the All-Russian meeting on problems of the management which took place on June 16-19, 2014 on the basis of Management Problem Institute of V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences the works of widely famous experts reflecting a current state of various aspects of the filtration theory and management in dynamic systems are included. In this article the review of some approaches used at parameters vector estimation and a state vector estimation in the dynamic systems identification problem is given. The examples containing results of real situations modeling are of special interest. For example, use of nonlinear discrete filtration algorithms in radars of air traffic control for trajectories maintenance. The models structure thus is defined after careful research of system dynamics. The essential requirement is close similarity of model to object. We will note that at dynamic objects mathematical modeling there is a problem of not measured indignations or hindrances, and also it is necessary to consider that fact that some conditions of system can't be determined directly by the output data of system. The considered works don't cover all chances at all, they only show a variety of systems which modeling and important results received thus can be.

**Keywords:** identification, state estimation, dynamic system, Kalman filter, parameters estimation, linear system, nonlinear system, structural identification

## REFERENCES

1. Chubich V.M. Vychislenie informatsionnoi matritsy Fishera v zadache aktivnoi parametriceskoi identifikatsii stokhasticheskikh nelineinykh diskretnykh sistem [The calculation of the Fisher information matrix in the problem of active parametric identification for stochastic nonlinear discrete systems]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2009, no. 1 (34), pp. 23–40.

---

\* Received 10 June 2014.

Work is executed at financial support of the Minobrnauka Russia state job № 2014/138, the theme of the project "New patterns, models and algorithms for breakthrough methods of control of technical systems based on high results intellectuality activity".

2. Chubich V.M. Algoritm vychisleniya informatsionnoi matritsy Fishera v zadache aktivnoi parametricheskoi identifikatsii stokhasticheskikh nelineinykh nepreryvno-diskretnykh sistem [The procedure of the computation of the Fisher information matrix in the problem of active parametric identification for stochastic nonlinear continuous-discrete systems]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2009, no. 3 (26), pp. 15–22.

3. Voevoda A.A., Troshina G.V. Vychislenie informatsionnoi matritsy Fishera dlya lineinykh statsionarnykh diskretnykh sistem s neizvestnymi parametrami v modelyakh dinamiki i nablyudeniya [Fischer information matrix calculation for linear stationary discrete systems with unknown parameters in dynamics and supervision models]. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU – Transaction of Scientific Papers of Novosibirsk State Technical University*, 2006, no. 2 (44), pp. 29–34.

4. Troshina G.V. *Aktivnaya identifikatsiya lineinykh dinamicheskikh diskretnykh statsionarnykh ob"ektov vo vremennoi oblasti*. Diss. kand. tekhn. nauk [Active identification of linear dynamic discrete stationary objects in a time domain. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2007. 171 p.

5. Kopyarova N.V., Sergeeva N.A. [Nonparametric identification of dynamic systems]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3181–3191. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

6. L'vova E.I. [Difficult structure objects identification features with the distributed operate influences]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3202–3213. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

7. Mangalova E.S., Agafonov E.D. [About ensembles variety generation problem of individual models in identification problems]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3214–3223. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

8. Boitsova I.A. [Discrete equations averaging with fast and slow variables in management problems]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A.

Trapeznikova RAN, 2014, pp. 503–514. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

9. Shiryaev V.I., Podivilova E.O. [About information sets approximation in a problem of the linear dynamic systems condition guaranteed estimation]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 2132–2140. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

10. Troyanovskii V.M., Serdyuk O.A. [Identification additional error because of correlation function statistical fluctuations of an entrance signal]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3255–3268. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

11. Sergeeva N.A., Korneeva A.A., Chzhan E.A. [About nonparametric modeling features of H-processes]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3243–3254. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

12. Khodashinskii I.A., Gorbunov I.V. [Identification algorithms of the interpreted and exact indistinct qualifiers]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3269–3280. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

13. Aleksandrov A.G., Shatov D.V. [Adaptive frequency-modal management]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 135–146. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

14. Afanas'ev V.N. [Nonlinear object management with the parameters depending on a state in a tracking problem]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem uprav-

leniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 491–502. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

15. Azanov V.M. [Optimum control of linear discrete system by probabilistic criteria]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 820–826. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

16. Chestnov V.N., Samshorin N.I. [The robustnykh regulators synthesis at parametrical uncertainty and external indignations]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 1033–1045. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

17. Fedoseev A.V. [Parameters identification methods comparison of the aircraft equations]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3139–3147. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

18. Kostoglotov A.A., Lazarenko S.V., Andrashitov D.S., Tsennykh B.M. [Accelerometer dynamic error correction algorithm with the current identification of its parameters on the maximum integrated principle basis]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3192–3201. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

19. Khranilov V.P. [Internal operators identification of management models for technical systems design problems]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3281–3288. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

20. Solonar A.S., Gorshkov S.A., Khmarskii P.A. [Nonlinear filtration methods application features in radars of air traffic control for maintenance of trajectories]. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2014* [Proceedings of the XII All-Russian meeting on problems of management VSPU–2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN,



2014, pp. 3706–3717. Available at:  
<http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)