

УДК 519.24

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ\*

Г.В. ТРОШИНА

*630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru*

В материалах XII Всероссийского совещания по проблемам управления, состоявшегося 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, отражены вопросы идентификации и управления динамическими системами, которые в настоящее время представляют значительный интерес для научных работников и инженеров, занимающихся проблемами как оценивания состояния и параметров динамических систем, так и проблемами управления различными объектами. Несмотря на то что методам линейной и нелинейной идентификации посвящено много работ отечественных исследователей, не потеряли своей актуальности и проблемы построения наиболее просто реализуемых алгоритмов идентификации. В условиях существующей неопределенности характеристик внешних возмущений, а также при наличии значительных вариаций параметров динамических объектов рекомендуется применение таких алгоритмов фильтрации, параметры которых можно было бы настроить для обеспечения наиболее точного оценивания параметров и состояния. В работах\*\* отражено использование фильтра Калмана с обновленной последовательностью. В данной статье дан обзор некоторых интересных подходов к решению задачи идентификации динамических систем, например, использование фильтра на основе быстрого генетического алгоритма с элитной популяцией для линейной дискретной нестационарной системы. Также представляют несомненный интерес методы идентификации нелинейных нестационарных систем на основе вейвлет-анализа.

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

---

\* Статья получена 17 июля 2014 г.

\*\* *Воевода А.А., Трошина Г.В.* Оценивание параметров моделей динамики и наблюдения для линейных стационарных дискретных систем с использованием информационной матрицы Фишера // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 3(24). – С. 199–200.

*Воевода А.А., Трошина Г.В.* Вычисление информационной матрицы Фишера для линейных стационарных дискретных систем в установившемся режиме // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2006. – Вып. 1(43). – С. 3–8.

*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.

## ВВЕДЕНИЕ

Теория активной идентификации находит широкую область применения. При разработке математической модели динамической системы возникают вопросы как теоретического характера, так и практической реализации. Отметим, что для динамических систем выходные сигналы в текущий момент времени зависят от характера входных воздействий на предыдущем шаге. Для детерминированных систем состояние объекта можно однозначно определить для любого момента времени. Стохастические системы характеризуются тем, что изменение состояния объекта носит случайный характер, зависит не только от контролируемых, но и от неконтролируемых воздействий. В случае если параметры системы изменяются во времени, то имеем дело с нестационарной системой, в противном случае – со стационарной системой. Также можно выделить линейные и нелинейные, дискретные и непрерывные системы. При решении практических задач необходимо учитывать число переменных состояния, так как при проведении вычислений могут возникнуть ошибки округления и процесс оценивания становится неустойчивым. В теоретическом плане отсутствуют какие-либо специальные способы выбора переменных состояния, поскольку структура системы точно не определена. При этом управляющие входные воздействия на систему формируются на основе априорной информации о характеристиках системы и неточных наблюдений некоторых переменных состояния. Отметим, что алгоритмы методов идентификации обычно слишком сложны при реализации в реальном времени для большинства практических задач. Например, при исследовании задач из области космических исследований используются модели очень высокого порядка. В работах XII Всероссийского совещания по проблемам управления, состоявшегося 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, приведены интересные подходы к решению задачи идентификации динамических систем. Ниже приведен обзор некоторых докладов, представленных в трудах XII Всероссийского совещания по проблемам управления.

### 1. ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Например, описание непрерывной линейной динамической модели имеет вид

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \Gamma w(t), \quad y(t) = Hx(t) + v(t),$$

где  $x(t)$  –  $n$ -вектор состояния;  $u(t)$  –  $r$ -вектор входных сигналов;  $w(t)$  – белый гауссовский шум модели динамики;  $A$ ,  $B$ ,  $\Gamma$  –  $(n \times n)$ ,  $(n \times r)$ ,  $(n \times q)$  матрицы состояния, управления и возмущения соответственно;  $H$  –  $(m \times n)$

матрица наблюдения;  $y(t)$  –  $m$ -вектор наблюдения;  $v(t)$  – белый гауссовский шум модели измерителя.

Дискретную линейную динамическую систему можно представить в следующем виде:

$$x_{k+1} = \Phi x_k + \Psi u_k + \Gamma w_k, \quad y_{k+1} = H x_{k+1} + v_{k+1},$$

где  $x_{k+1}$  – вектор состояния;  $u_k$  – вектор управляющих воздействий;  $w_k$  – белая гауссовская последовательность;  $\Phi, \Psi, \Gamma$  – матрицы состояния, управления, возмущения соответственно;  $H$  – матрица наблюдения;  $y_{k+1}$  – вектор наблюдения;  $v_{k+1}$  – белая гауссовская последовательность.

В [1] предложен новый подход к решению задач оценивания, фильтрации и управления при неизвестных ковариациях случайных факторов – неизвестных параметров, помех в измерениях, внешнего возмущения, начального состояния. В основе этого подхода лежит выбор нового критерия – уровня гашения случайных возмущений. Рассматривается задача фильтрации (одношагового прогноза) неизмеряемого состояния линейного нестационарного динамического объекта, заданного разностными уравнениями. Выбирается прогнозирующий фильтр (предиктор), определяющий линейную несмещенную оценку состояния по измерениям выхода. Рассматривается задача управления для линейного дискретного динамического объекта, заданного разностными уравнениями.

В [2] решается задача фильтрации в случае, когда распределение полезного сигнала неизвестно. Уравнение для оптимальной байесовской оценки (уравнение оптимальной фильтрации) для случая, когда неизвестный полезный сигнал является марковским, получен А.В. Добровидовым. Показано, что если ненаблюдаемая марковская последовательность определена линейным уравнением с гауссовским шумом, то уравнение оптимальной фильтрации совпадает с классическим фильтром Калмана.

В [3] представлен адаптивный калмановский фильтр, предназначенный для трассового сопровождения целей, движение которых характеризуется значительными изменениями ускорений вследствие их маневрирования. Адаптация фильтра производится с помощью специально разработанного быстрого генетического алгоритма, основной особенностью которого является наличие элитной популяции. Рассматривается нестационарная дискретная модель объекта первого порядка. С помощью быстрого генетического алгоритма с элитной популяцией удастся сократить время поиска приемлемых решений на отдельных шагах измерений по сравнению с классическим генетическим алгоритмом.

В [4] приведена задача фильтрации для линейного нестационарного (на конечном интервале времени) и стационарного (на бесконечном интервале времени) дискретного динамического объекта, на который воздействуют внешнее возмущение и начальное возмущение, вызванное неизвестным ненулевым начальным состоянием. Определяется обобщенный дискретный  $H_\infty$  оптимальный фильтр. Синтез осуществляется с использованием минимаксного подхода, метода функций Ляпунова и теории линейных матричных неравенств.

В [5] рассматривается построение адаптивного расширенного ортогонализованного UD-фильтра и его применение для параметрической идентификации стохастических дискретных LQG систем методом максимума правдоподобия.

В [6] установлены и исследованы условия, при которых задачи структурно-параметрической идентификации на основе описания в виде бесконечных аппроксимирующих разложений являются корректно поставленными. Методы идентификации рассматриваются для систем с одним входом и одним выходом (линейная система с дискретным временем и скалярным входом и выходом). В методе частотной идентификации построение математической модели осуществляется по частотным характеристикам, выделяемым из экспериментально полученных выходных сигналов при гармоническом возбуждении системы на входе. Обсуждаются вопросы выбора хорошего тестирующего управляющего сигнала, например полигармонического воздействия. Рассматривается область устойчивости решения задачи идентификации.

В [7] предложен критерий, являющийся обобщением метода наименьших квадратов, который позволяет получать сильно состоятельные оценки параметров линейных динамических систем дробного порядка с ошибками в переменных и в условиях отсутствия информации о законе распределения. Рассматривается линейная динамическая система дробного порядка, описываемая стохастическими уравнениями с дискретным временем.

В [8] рассматривается задача одновременного оценивания состояния и параметров линейной динамической системы с одним входом и одним выходом в рамках теоретико-множественного подхода. В данной работе приведен случай, когда информация о структуре математической модели динамической системы, системы измерений и априорная информация о множестве значений ошибок измерения известны точно. В то же время априорная информация о множестве значений оцениваемых величин неизвестна. Рассматривается дискретная модель, дискретное наблюдение, начальный вектор состояния задан на множестве. Для динамической системы с одним входом, одним выходом используется интервальное оценивание.

В [9] дан линейный объект, выходная переменная которого стабилизируется относительно постоянного значения с помощью обратной связи с известной пе-

редаточной функцией. Входное случайное воздействие не контролируется. Определена величина запаса идентифицируемости замкнутой системы регулирования, выполнено исследование ее зависимости от времени запаздывания. Рассматривается объект с задержкой, параметрическая идентифицируемость.

В [10] представлен процесс моделирования, исследования и рационального выбора рекуррентных алгоритмов идентификации на примере алгоритма Нагумо-Нода по полученным критериям оценки. Перечислены основные интегральные критерии алгоритмов идентификации, такие как, например, сумма дисперсий ошибок параметров объекта и модели, отношение суммы дисперсий ошибок между параметрами объекта и модели к сумме дисперсий параметров объекта, отношение суммы ошибок между параметрами объекта и модели к сумме параметров объекта, ошибка между параметрами объекта и модели в квадрате, отношение ошибки между параметрами объекта и модели в квадрате к параметрам объекта в квадрате, среднеквадратическая оценка, сумма изменений параметров модели к сумме параметров модели по модулю.

В [11] рассматривается задача построения неасимптотического доверительного множества для параметров множественной линейной регрессии. Вводится рандомизированный алгоритм модифицированных знаково-возмущенных сумм.

В [12] решается задача идентификации линейных по параметрам моделей по малому числу наблюдений. При малом числе наблюдений имеет место априорная неопределенность, связанная как с нарушением условий статистической устойчивости, так и с возможностью плохой обусловленности задачи из-за попадания интервалов наблюдения на участки установившихся режимов управляемого объекта. Рассматривается дискретная модель динамического объекта, описываемого разностным уравнением. Входной сигнал задается таким образом, чтобы объект попеременно находился в переходном и установившемся режимах.

В [13] рассматривается задача одновременного управления и оценивания параметров модели линейного многосвязного статического объекта при наличии аддитивных ограничений возмущений в замкнутой дискретной системе с регулятором, построенным на базе адаптивной модели такого объекта. В условиях параметрической неопределенности передаточные матрицы моделей многосвязных объектов зачастую оказываются плохо обусловленными.

В [14] приведен способ оценивания возмущений и ошибок измерений с помощью решения задач линейного программирования в задаче гарантированного оценивания. В некоторых случаях для возмущений может быть задан закон изменения с неизвестными параметрами. Оценка этих параметров позволит уменьшить неопределенность в системе и улучшить оценки вектора состояния.

Приведены примеры, когда возмущения постоянны с небольшими отклонениями и когда известны ограничения на скорость изменений возмущений.

В [15] обсуждаются вопросы, связанные с аппроксимационной идентификацией сложных динамических объектов при большом уровне ошибок и на разреженных сеточных данных. Она осуществляется на основе моделей, описываемых линейными, обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Рассматривается и обратная задача: дифференциальная аппроксимация – восстановление коэффициентов дифференциальных уравнений на основе коэффициентов разностных уравнений, в частности, полученных идентификацией дифференциальных уравнений по сеточным исходным данным.

В [16] исследуется задача идентификации объекта управления с несколькими входами и одним нерегулярно измеряемым выходом. Для поиска зависимости между входными и выходными переменными объекта управления используется оценивание импульсной характеристики в условиях наличия помех на выходе и коллинеарности входов. Используются результаты пассивного эксперимента. Применяется конечная импульсная характеристика при построении модели объекта.

В [17] описана инженерная методика структурной и параметрической идентификации линейных динамических объектов с использованием корреляционных методов и таблиц типовой табличной идентификации. В данной методике по таблице предлагается выбирать не однотабличную взаимную корреляционную функцию, а все достаточно похожие. Воспользовавшись этим методом, можно достаточно быстро произвести приближенную структурную и параметрическую идентификацию любого динамического объекта по имеющейся выборке входных и выходных данных.

## 2. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Например, описание нелинейной динамической модели может иметь следующий вид:

$$\dot{x}(t) = f(x, t) + Bu(t) + \Gamma w(t), \quad y(t) = h(x(t)) + v(t),$$

где  $x(t)$  – вектор состояния;  $u(t)$  – вектор входных сигналов;  $w(t)$  – белый гауссовский шум модели динамики;  $v(t)$  – белый гауссовский шум модели измерителя.

В [18] рассматривается задача непараметрического синтеза нелинейного фильтра конечного порядка, число уравнений которого выбирается только из условия его практической реализации и не зависит от размерности марковско-

го вектора состояния объекта наблюдения. В работе предлагается способ оптимального определения структуры конечномерного нелинейного фильтра желаемого порядка, который может быть больше, равен или даже меньше числа оцениваемых переменных состояния. Рассматривается общая задача оценивания при неполных точных измерениях марковского вектора. Наблюдаемый объект и измеритель его состояния описываются системой стохастических дифференциальных уравнений в виде Ито.

В [19] рассматривается синтез робастного закона управления для аффинной системы с недоступным прямым измерением переменных состояния с использованием фильтр-корректора на основе критерия гиперустойчивости. Предложенный алгоритм управления позволяет устранить влияние нелинейностей и скомпенсировать в следящей системе внешние и внутренние возмущения с требуемой точностью.

В [20] предлагается алгоритм непараметрического синтеза быстрого двухшагового рекуррентного нелинейного фильтра конечного порядка (для дискретного случая).

В [21] рассматривается эффективность нового фильтра сопровождения маневрирующей цели, синтезированного на основе объединенного принципа максимума. Уравнения движения летательного аппарата представлены в форме уравнений Лагранжа второго порядка.

В [22] представлены методы идентификации нелинейных нестационарных систем с использованием кратномасштабного вейвлет-преобразования. В работе приведен анализ алгоритмов идентификации, основанных на применении вейвлет-анализа. Рассмотрены случаи линейных и нелинейных систем. Предложены методы ассоциативного поиска на основе кратномасштабного вейвлет-преобразования для случаев нестационарной входной последовательности и немоделируемой внутренней динамики объекта.

В [23] рассматривается задача структурной идентификации нелинейных динамических систем на множестве непрерывных блочно-ориентированных моделей при входных периодических воздействиях, имеющих равномерно и абсолютно сходящиеся ряды Фурье, и при входных гармонических воздействиях. Достоверность полученных результатов зависит от точности измерения выходных сигналов систем и математической обработки экспериментальных данных.

В [24] предложена методика исследования невязок и анализа критериев на их основе. Этап структурной идентификации предопределяет выбор математического инструмента для исследования неизвестного объекта. Несмотря на исключительную важность вопросов структурной идентификации, процедуры сравнительного анализа моделей и критериев развиты слабо. Поэтому вопросы структурной идентифицируемости остаются наименее исследованными и одновременно становятся наиболее востребованными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье приведен обзор некоторых работ из трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления, состоявшегося 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Следует отметить, что задачам идентификации динамических систем посвящено много исследований, и здесь упомянута только незначительная часть публикаций. Существующие алгоритмы, безусловно, нужно продолжать сопоставлять и совершенствовать.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ\*

1. *Коган М.М.* Оценивание, фильтрация и управление при неизвестных ковариациях случайных факторов // 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. 1079–1089. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

2. *Маркович Л.А.* Уравнение оптимальной фильтрации и его связь с фильтром Калмана // 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. 1108–1113. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

3. *Грачев А.Н., Аль-Сабул А.Х.* Адаптивный алгоритм калмановской фильтрации для трассового сопровождения целей с использованием быстрого генетического алгоритма // 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. 9092–9103. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

4. *Кривдина Л.Н.* Обобщенные  $H_\infty$ -оптимальные дискретные фильтры // 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. 882–888. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

---

\* XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16–19 июня 2014 г.: труды [Электронный ресурс]. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. 9616 с. Электрон. текстовые дан. (1074 файл.: 537 МБ). 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). ISBN 978-5-91450-151-5. Номер государственной регистрации: 0321401153.



5. *Цыганова Ю.В.* Об одном подходе к построению адаптивного UD-фильтра для параметрической идентификации LQG систем // 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. 2741–2751. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

6. Идентификация многомерных систем. Проблемы корректности и управления / В.Ф. Губарев, А.В. Гуммель, С.В. Мельничук, П.А. Точилин // 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. 2635–2645. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

7. *Иванов Д.В., Ширинов И.Р.* Идентификация линейных динамических систем дробного порядка многомерных по входу с ошибками в переменных // 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. 2658–2668. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

8. *Сальников Н.Н.* Оценивание состояний параметров динамической системы при отсутствии априорной информации об оцениваемых величинах // 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. 2685–2695. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

9. *Дюнова Д.Н., Рутковский А.Л., Текиев В.М.* Исследование системы идентификации объектов управления, функционирующих в замкнутом контуре // 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. 2646–2657. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

10. *Макаров В.В., Жиров М.В., Куроткин В.А.* Моделирование и исследование рекуррентных алгоритмов идентификации нестационарных параметров объектов управления // 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. 2679–2684. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

11. *Сенов А.А., Граничин О.Н.* Идентификация параметров линейной регрессии при произвольных внешних помехах в наблюдениях // 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. 2708–2719. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

12. *Фурсов В.А., Гошин Е.В.* Адаптивная идентификация по малому числу наблюдений с контролем обусловленности // 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. 2720–2727. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

13. *Азарсков В.Н., Житецкий Л.С., Соловчук К.Ю.* Параметрическая идентификация многосвязного статического объекта в замкнутом контуре управления: специальный случай // 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. 2764–2776.

14. *Ширяев В.И., Ильин В.Д.* Об оценивании возмущений в задаче минимаксной фильтрации с помощью систем линейных неравенств // 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. 2757–2763. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

15. *Егоршин А.О.* Кусочно линейная идентификация и дифференциальная аппроксимация на равномерной решетке // 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. 2807–2822. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

16. Идентификация параметров многомерного динамического объекта с нерегулярным измерением выхода / А.А. Гончаров, Г.Б. Диго, Н.Б. Диго, А.Ю. Торгашов // 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. 2787–2794. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

17. *Грачев А.Н., Понятский В.М., Ту В.К.* Структурная и параметрическая идентификация линейных динамических объектов корреляционными методами // 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. 2926–2935. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

18. Руденко Е.А. Оптимальный конечномерный непрерывный нелинейный фильтр произвольного порядка // 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. 676–687. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

19. Еремин Е.Л., Ченак Л.В. Робастное управление аффинной системой в схеме с фильтр-корректором // 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. 950–959. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

20. Руденко Е.А. Оптимальный дискретный нелинейный фильтр-предиктор произвольного порядка // 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. 2855–2867. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

21. Анализ функционирования фильтра объединенного принципа максимума при сопровождении маневрирующей цели / А.А. Костоглотов, А.А. Кузнецов, С.В. Лазаренко, Б.М. Ценных // 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. 3378–3383. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

22. Сакрутина Е.А., Бахтадзе Н.Н. Идентификация систем на основе вейвлет-анализа // 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. 2868–2889. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

23. Шанишавили А.Г. Структурная идентификация нелинейных динамических систем на множестве непрерывных блочно-ориентированных моделей // 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. 3018–3028.

24. Копысов А.Ю. Идентификация посредством ЛС-моделей с невязкой // 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. 2967–2978. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

**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: troshina@dean.cs.nstu.ru

### **About Kalman filter using for dynamic systems identification\***

**G.V. Troshina**

*Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, associate professor. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru*

The identification and dynamic systems management questions which represent considerable interest for the scientists and engineers dealing with problems as a state and parameters estimations of dynamic systems, and various objects management problems now are reflected in materials of the XII All-Russian meeting on problems of the management which took place on June 16-19, 2014 on the venue of Management Problems Institute of V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences. In spite of the fact that many works of domestic researchers are devoted to methods of linear and nonlinear identification, problems of creation of the most simply realized algorithms of identification didn't lose the relevance. In the conditions of the existing uncertainty of characteristics of external indignations, and also in the presence of considerable variations of dynamic objects parameters, application of such algorithms of a filtration which parameters could be adjusted for ensuring the most exact estimation of parameters and a state is recommended. In this work the review of some interesting approaches to the solution of the dynamic systems identification problem is given, for example, use of the filter on the basis of fast genetic algorithm with elite population for linear discrete non-stationary system. Also identification methods of nonlinear non-stationary systems on the basis of the veyvlet-analysis represent undoubted interest.

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

### **REFERENCES**

1. Kogan M.M. [Estimation, filtration and management at unknown covariances of random factors]. *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. 1079–1089. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

---

\* Received 17 July 2014.

2. Markovich L.A. [The optimum filtration equation and its communication with Kallman filter] *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. 1108–1113. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

3. Grachev A.N., Al'-Sabul A.Kh. [The Kalmanovsky filtration adaptive algorithm for the purposes route maintenance with use of fast genetic algorithm] *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. 9092–9103. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

4. Krivdina L.N. [The generalized  $H_\infty$ -optimum discrete filters] *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. 882–888. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

5. Tsyganova Iu.V. [About one approach to the adaptive UD filter creation for LQG systems parametrical identification] *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. 2741–2751. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

6. Gubarev V.F., Gummel' A.V., Mel'nichuk S.V., Tochilin P.A. [The multidimensional systems identification. The correctness and 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. 2635–2645. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

7. Ivanov D.V., Shirinov I.R. [Identification of a fractional order linear dynamic systems and multidimensional on an entrance with mistakes in variables] *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. 2658–2668. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

8. Sal'nikov N.N. [The dynamic system parameters conditions estimation in the absence of the estimated sizes aprioristic information] *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. 2685–2695. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

9. Diunova D.N., Rutkovskii A.L., Tekiev V.M. [The identification system research of the management objects functioning in the closed contour] *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. 2646–2657. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

10. Makarov V.V., Zhirov M.V., Kurotkin V.A. [Modeling and research of identifiycation recurrent algorithms of the management objects non-stationary] *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. 2679–2684. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

11. Senov A.A., Granichin O.N. [The linear regression parameters identification at any external hindrances in supervision] *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. 2708–2719. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

12. Fursov V.A., Goshin E.V. [Adaptive identification on small number of supervision with conditionality control] *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. 2720–2727. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

13. Azarskov V.N., Zhitetskii L.S., Solovchuk K.Iu. [Parametrical identification of multicoherent static object in the management closed contour: special case] *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. 2764–2776. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

14. Shiriaev V.I., Il'in V.D. [About indignations estimation in a minimax filtration problem by means of the linear inequalities 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. 2757–2763. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

15. Egorshin A.O. [Piecewise linear identification and differential approximation on a uniform lattice] *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. 2807–2822. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

16. Goncharov A.A., Digo G.B., Digo N.B., Torgashov A.Iu. [The multidimensional dynamic object parameters identification with irregular measurement of an exit] *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. 2787–2794. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

17. Grachev A.N., Poniatskii V.M., Tu V.K. [Structural and parametrical identification of linear dynamic objects by correlation methods] *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. 2926–2935. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

18. Rudenko E.A. [Optimum finite-dimensional continuous nonlinear filter of any order] *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. 676–687. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

19. Eremin E.L., Chepak L.V. [The affine system robust management in the filter proofreader scheme] *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. 950–959. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

20. Rudenko E.A. [Optimum discrete nonlinear filter predictor of any order] *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. 2855–2867. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

21. Kostoglotov A.A., Kuznetsov A.A., Lazarenko S.V., Tsennykh B.M. [The filter functioning analysis of the maximum integrated principle at the maneuvering purpose maintenance] *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. 3378–3383. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

22. Sakrutina E.A., Bakhtadze N.N. [Systems identification on the veyvlet-analysis 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. 2868–2889. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

23. Shanshiashvili A.G. [The nonlinear dynamic systems structural identification on a set of continuous block-oriented models] *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. 3018–3028. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

24. Kopysov A.Iu. [Identification by means of LS models with the discrepancy] *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. 2967–2978. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014).