

УДК 004.4'22

ОБ АКТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ*

Г.В. ТРОШИНА

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

В настоящее время от исследователей, работающих в области создания систем обработки информации различного назначения и использования их в различных областях науки и техники, требуется глубокое знание основных закономерностей, присущих процессам и системам формирования и обработки информации, в основе которых лежит теория активной идентификации. Высокая стоимость практических исследований управляемых технологических процессов, а также трудности проведения детальных экспериментов, наличие случайных факторов требуют дальнейшей разработки математического аппарата и привлечения результатов из смежных областей математики и техники. Динамические системы имеют такие характеристики, что управляющий вход в один момент времени действует на выход в другие моменты времени. При использовании математической модели для построения реакции системы на заданный вход требуется решить систему дифференциальных уравнений. Для эффективного управления необходимы определенные сигналы, вынуждающие работать систему наилучшим образом в соответствии с заданным критерием. В связи с этим желательно уметь предсказывать реакцию системы на некоторое множество возможных управляющих входов. Такое предсказание может быть сделано на основе реакции на ранее подававшиеся входы или путем использования математической модели системы. Из практических соображений выбираются модели более простой формы и в зависимости от требуемой точности предсказания. Данная работа продолжает обзор статей, посвященных использованию методов активной идентификации при исследовании динамических объектов. В материалах XII Всероссийского совещания по проблемам управления, состоявшегося 16–19 июня 2014 г. на базе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, много внимания уделено практическим задачам идентификации и управления.

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

DOI: 10.17212/2307-6879-2014-4-41-52

* Статья получена 10 июня 2014 г.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть работ по теории идентификации не затрагивает вопросы оценки качества экспериментальных данных. Работ же, касающихся оценки качества экспериментального материала в предположении активной идентификации, существенно меньше.

Под идентификацией динамического объекта (процесса) понимается определение структуры и параметров модели, обеспечивающих наилучшее в каком-либо смысле совпадение выходных координат модели и объекта при одинаковых входных воздействиях. Различают пассивные и активные методы идентификации. Из последних наибольшее распространение нашли методы идентификации с помощью синусоидальных, ступенчатых и импульсных сигналов. Эти методы включают идентификацию, например: на основе преобразования Фурье для линейных соотношений вход/выход; с помощью построения модуля частотной характеристики в логарифмических единицах; с помощью переходной функции; с помощью импульсной переходной функции; с помощью специальных сформированных импульсов. Некоторые методы применимы для идентификации динамических объектов в реальном времени. Представляет интерес подход, предложенный в работах [1, 2].

Постановок задач идентификации и методов идентификации чрезвычайно много, например: идентификация методами стохастической аппроксимации и последовательного обучения; идентификация методом инвариантного погружения; идентификация с использованием прогноза и градиентного метода прогнозирования; регрессионные методы идентификации, последовательные регрессионные методы идентификации; методы корреляционных функций и другие. Соответственно, принципов классификации также много. Если исходить из объема знаний о модели исследуемой системы, то можно выделить, например, структурную идентификацию, непараметрическую идентификацию и параметрическую идентификацию. В частности, предполагаем, что об объекте нам не известны лишь значения параметров модели и, возможно, характеристики случайных сигналов (шумов) на входе и выходе, т. е. будем решать задачу параметрической идентификации.

1. МОДЕЛЬ В ФОРМЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

Наиболее распространены два вида математического описания объектов, а именно модель вида вход/выход и модель в форме пространства состояний. В

данной работе предпочтение отдано описанию объектов в форме пространства состояний.

Например, описание непрерывной модели имеет вид [3–5]:

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

$$y(t) = Hx(t) + v(t),$$

где $x(t)$ – n -вектор состояния, начальное состояние $x(t_0)$ представляет собой случайный гауссовский n -вектор с нулевым средним и неотрицательно определенной ковариационной матрицей $P(t_0)$; $u(t)$ – r -вектор входных сигналов; $w(t)$ – белый гауссовский шум с нулевым средним и неотрицательно определенной ковариационной матрицей Q ; A , B , Γ – $(n \times n)$, $(n \times r)$, $(n \times q)$ матрицы состояния, управления и возмущения соответственно; H – $(m \times n)$ матрица наблюдения; $y(t)$ – m -вектор наблюдения; N – объем выборки; $v(t)$ – белый гауссовский шум с нулевым средним и положительно определенной ковариационной матрицей R .

Описание дискретной модели представим в виде

$$x(t+1) = \Phi x(t) + Gu(t) + \Gamma w(t), \quad x(0) = \bar{x}_0,$$

$$y(t+1) = Hx(t+1) + v(t+1), \quad t = \overline{0, N-1},$$

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 ; Φ , G , Γ – $(n \times n)$, $(n \times r)$, $(n \times q)$ 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.

2. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Методы параметрической идентификации включают в себя, например, рекуррентные алгоритмы метода наименьших квадратов, расширенного метода наименьших квадратов, обобщенного метода наименьших квадратов, метода максимального правдоподобия, метода инструментальных переменных и т. д.

Проблема параметрической идентификации, рассматриваемая в данной работе, 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. Это действительно сложная проблема даже в детерминированном случае (т. е. когда модель динамики представлена в виде детерминированных уравнений). В настоящее время разработка специальных входных сигналов признана полезной для повышения точности оценки параметров. Этот вопрос обсуждался в литературе для систем идентификации в различных аспектах и для разных классов моделей, включая вопросы осуществимости и реализуемости их на компьютерах. Следует отметить, что для определения «качества» информации на входе и выходе объекта (системы), которую можно получить в каждой конкретной задаче оценивания, ряд исследователей предпочитают использовать информационную матрицу Фишера. Существенный вклад в развитие этого направления сделали авторы работ [6, 7].

3. МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ: ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

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 значительной степени на прикладной стороне вопросов управления. Ниже приведен обзор некоторых статей, представленных в трудах XII Всероссийского совещания по проблемам управления.

Работа [8] посвящена развитию теории макроэкономического анализа и оценке оптимальных значений параметров экономической политики регулирования эволюции макроэкономических систем. Предложена теория парамет-

рического регулирования макроэкономических систем, разработаны математические и алгоритмические основы. Эффективность проиллюстрирована на различных классах математических моделей. Основным отличием данной теории является использование математических моделей макроэкономических систем и выработка рекомендаций в сфере экономической политики.

Работа [9] посвящена дальнейшему развитию такого подхода, как модификация методов и алгоритмов вычисления оптимального по быстродействию управления на основе аппроксимации областей достижимости гиперплоскости и применения квазиоптимального управления. Для увеличения точности задания начального приближения предлагается процедура усреднения моментов переключений управления для граничных точек области достижимости, принадлежащих опорной гиперплоскости. Рассмотрен метод уменьшения вычислительных затрат в процессе управления, основанный на разделении вычислений на предварительные вычисления и вычисления, выполненные в процессе управления. Даны способы выделения опорной гиперплоскости и вычисления приближенных значений моментов переключений и времени, оптимального по быстродействию управления. Рассмотрена итерационная процедура с интегрированием только на интервалах перемещений конечного момента и моментов переключений управления. Управляемая система описывается линейным дифференциальным уравнением вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t),$$

где $x(t)$ – n -мерный вектор состояния; $A(t)$, $B(t)$ – непрерывные матрицы размера $(n \times n)$, $(n \times m)$ соответственно; $u(t)$ – m -мерный вектор управления. Разделение вычислительных затрат на предварительные вычисления и вычисления в процессе управления позволяет существенно уменьшить объем необходимых вычислений в процессе управления, что делает возможным реализацию оптимального управления многими объектами и технологическими процессами. Предварительные вычисления осуществляются для всей области начальных условий управляемой системы и не зависят от конкретного начального условия. Разделение области начальных условий на области достижимости и аппроксимации каждой области совокупностью гиперплоскостей позволяет вычислить управление, которое близко к искомому оптимальному по быстродействию управлению. В результате нескольких итераций достаточно для вычисления оптимального управления с заданной точностью.

Авторы работы [10] описывают адаптивный алгоритм управления по выходу для систем второго порядка. Параметризация объекта осуществляется с

помощью перехода к дискретной модели, для которой разработаны быстрые алгоритмы управления по состоянию и по выходу. Идентификация параметров в ходе синтеза управления по выходу осуществляется с помощью решения системы нелинейных алгебраических уравнений. Отметим, что параметры объектов предварительно были идентифицированы в специальных тестирующих экспериментах.

Работа [11] посвящена решению задачи среднеквадратичного минимаксного оценивания в модели линейной регрессии при наличии эллипсоидальных ограничений на вектор неизвестных параметров. Автором установлено, что с помощью метода двойственной оптимизации данная проблема может быть сведена к задаче полуопределенного программирования. Полученные теоретические результаты применены к определению минимаксной оценки траектории маневрирующего летательного аппарата с учетом ограничений на вектор ускорения.

В работе [12] анализируется выбор норм невязок и их комбинаций при параметрической идентификации моделей. При построении математических моделей на основе вход-выходной информации об объекте неточный характер моделирования выражается невязкой – отклонением реальных выходов объекта от модельных. Интегральной оценкой степени адекватности модели исходным данным является некоторая норма вектора или матрицы невязок. Параметрическая идентификация основана на включении в модель параметров и их подборе из условия минимизации нормы невязки. Исследуется итерационный перевзвешиваемый метод наименьших квадратов, который может применяться к решению задачи идентификации в разных нормах. Выделяется интервальный подход к идентификации в случае равномерной нормы.

Авторы работы [13] представляют синтез квазиоптимального нелинейного алгоритма фильтрации для решения задачи навигации в глубоком космосе и околоземном космическом пространстве, основанном на использовании сигналов удаленных космических источников, таких как пульсары и квазары. В статье разработана и представлена математическая модель автономной навигационной системы, использующей синтезированный алгоритм. Приведены результаты моделирования предложенного алгоритма.

В работе [14] решается задача определения параметров случайных процессов, описывающих ошибки навигационных измерителей. При проектировании интегрированных навигационных систем, использующих информацию от различных датчиков и измерителей, ошибки которых описываются с помощью случайных процессов, весьма важным является наличие моделей для этих процессов. Такие модели необходимы при построении эффективных ал-

горитмов комплексной обработки, в частности алгоритмов калмановской фильтрации. Нестационарные процессы достаточно часто позволяют эффективно описывать ошибки навигационных измерителей и датчиков, например, с помощью винеровских процессов. Для постановки задачи оценивания параметров случайных процессов, описывающих ошибки измерителей, в рамках байесовского подхода вводится два подвектора. Один подвектор используется для описания исследуемого процесса во временной области с помощью фильтра, заданного с точностью до неизвестных параметров, а второй подвектор – для описания неизвестных параметров формирующего фильтра. Приводится процедура и соответствующие алгоритмы, обеспечивающие вычисление потенциальной точности оценивания параметров случайных процессов. Даны конкретные примеры применения описанных алгоритмов для случая, когда в составе ошибок предполагается наличие марковских процессов первого и второго порядков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье показана тесная взаимосвязь между оцениванием параметров модели, состояний и вычислениями оптимального управления по материалам работ, 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. Воевода А.А., Чехонадских А.В. Координатизация системы корней вещественных многочленов степени 5 // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 1 (22). – С. 173–176.
2. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: полиномиальный метод синтеза двухканальной системы // Сборник научных трудов НГТУ. – 2009. № 4 (58). – С. 121–124.
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. *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.

6. *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.

7. *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.

8. *Ашимов А.А., Боровский Ю.В., Адилов Ж.М., Алианов Р.А., Султанов Б.Т.* Теория параметрического регулирования макроэкономических 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. 2154–2165. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

9. *Александров В.М.* Задание начального приближения и метод вычисления оптимального управления в реальном времени [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. 2282–2293. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

10. *Ощепков А.Ю.* Адаптивное управление линейными объектами с инерцией с использованием дискретных быстрых алгоритмов [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. 2332–2337. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

11. *Семенухин К.В.* Минимаксная оценка вектора параметров, стесненного эллипсоидальными ограничениями [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. 2364–2375. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

12. Блюмин С.Л., Сараев П.В. Комбинации норм невязок и методы параметрической идентификации моделей [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. 2612–2618. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

13. Конаков А.С., Шаврин В.В., Тисленко В.И. Синтез алгоритма нелинейной фильтрации в задаче навигации космических аппаратов по сигналам пульсаров и квазаров [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. 3646–3656. – URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения: 28.10.2014).

14. Степанов О.А., Соколов А.И., Долнакова А.С. Анализ потенциальной точности оценивания параметров случайных процессов в задачах обработки навигационной информации [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. 3730–3740. – 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 active identification of dynamic objects*

G.V. Troshina

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

* Received 10 June 2014.

Now from the researchers working in the field of information processing systems creation of different function and their use in various areas of science and equipment the profound knowledge of the main regularities inherent in processes and systems of formation and information processing which cornerstone the active identification theory is required. The high cost of the operated technological processes practical researches and also difficulties of carrying out detailed experiments, random factors existence demands further mathematical apparatus development and results attraction from mathematics and equipment adjacent areas. Dynamic systems have such characteristics that the operating entrance at once of time affects an exit in other timepoints. When using mathematical model for system reaction creation to the set entrance it is required to solve the differential equations system. The certain signals compelling to work system in the best way according to the set criterion are necessary for effective management. In this regard it is desirable to be able to predict reaction of system to some great number of possible managing directors of entrances. Such prediction can be made on the basis of reaction to earlier moving entrances or by use of system mathematical model. Models of simpler form and depending on the demanded prediction accuracy get out of practical reasons. This work continues the review of articles devoted to use of active identification methods at dynamic objects research. 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 much attention it is paid to identification and management practical problems.

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

REFERENCES

1. Voevoda A.A., Chekhonadskikh A.V. Koordinatizatsiya sistemy kornei veshchestvennykh mnogochlenov stepeni 5 [Roots system coordinatization of real polynomials of degree 5]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2006, no. 1 (22), pp. 173–176.
2. Voevoda A.A. Stabilizatsiya dvukhmassovoi sistemy: polinomial'nyi metod sinteza dvukhkanal'noi sistemy [Two-mass system stabilization: polynomial method of two-channel system synthesis]. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU – Transaction of Scientific Papers of Novosibirsk State Technical University*, 2009, no. 4 (58), pp. 121–124.
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. Voevoda A.A., Troshina G.V. Otsenivanie parametrov modelei dinamiki i nablyudeniya dlya lineinykh statsionarnykh diskretnykh sistem s ispol'zovaniem informatsionnoi matritsy Fishera [Parameters estimation of dynamics and supervision models for linear stationary discrete systems with use of Fischer information matrix]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2006, no. 3 (24), pp. 199–200.

6. Chubich V.M. Vychislenie informatsionnoi matritsy Fishera v zadache aktivnoi parametricheskoi 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.

7. 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 continues-discrete systems]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2009, no. 3 (26), pp. 15–22.

8. Ashimov A.A., Borovskii Yu.V., Adilov Zh.M., Alshanov R.A., Sultanov B.T. [Parametrical regulation theory of macroeconomic 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. 2154–2165. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

9. Aleksandrov V.M. [Initial approach task and the optimum control calculation method in real time]. *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. 2282–2293. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

10. Oshchepkov A.Yu. [Adaptive management of linear objects with inertia using of discrete fast algorithms]. *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. 2332–2337. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

11. Semenikhin K.V. [Minimax estimation of the parameters vector constrained by ellipsoidal restrictions]. *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. 2364–2375. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

12. Blyumin S.L., Saraev P.V. [Combinations of discrepancy norms and models parametrical identification 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. 2612–2618. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

13. Konakov A.S., Shavrin V.V., Tislenko V.I. [The nonlinear filtration algorithm synthesis in the spacecrafts navigation problem according to pulsars and quasars signals]. *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. 3646–3656. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)

14. Stepanov O.A., Sokolov A.I., Dolnakova A.S. [The potential accuracy analysis of casual processes parameters estimation in navigation information processing 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. 3730–3740. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (accessed 28.10.2014)