

# НОВЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДЛЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**А.А. Пыркин**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики*  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49  
E-mail: [bobtsov@mail.ru](mailto:bobtsov@mail.ru)

**А.А. Бобцов**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики*  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49  
E-mail: [bobtsov@mail.ru](mailto:bobtsov@mail.ru)

**Р. Ортега**

*LSS-SUPELEC*  
Франция, Париж.  
E-mail: [romeo.ortega@lss.supelec.fr](mailto:romeo.ortega@lss.supelec.fr)

**Ключевые слова:** киберфизические системы, наблюдатель переменных состояния, идентификация, регрессионная модель.

**Аннотация:** В работе рассматриваются два новейших метода синтеза адаптивных наблюдателей переменных состояния киберфизических систем, полученные авторским коллективом в период их совместной деятельности в период с 2014 по 2018 годы. Обсуждаемые в работе методы базируются на предварительном преобразовании исходной системы к статической регрессионной модели, включающей неизвестные параметры или неизвестные функции.

## 1. Введение

На сегодняшний день в научной и популярной литературе существует большое множество разнообразных определений киберфизических систем и представители различных областей науки и техники довольно часто имеют отличное друг от друга понимание данного термина. Но незыблемым является то, что современная киберфизическая система представляет собой объекты физического мира, связанные между собой с помощью сети. Иными словами, проблематика управления объектом физического мира взаимодействующего с другими объектами является актуальной в контексте современного понимания киберфизических систем. И многие задачи автоматического регулирования присущие классической теории управления являются перспективными и для такой относительно новой области знаний, как киберфизические системы.

В данной работе рассматриваются два новейших метода синтеза наблюдателей для нелинейных объектов, основанные на преобразовании исходной системы к статической регрессионной модели, включающей неизвестные параметры или неизвестные функ-

ции. Обсуждаемые в данной работе модели нелинейных систем не являются математическими абстракциями, но принадлежат к широкому классу электрических и электромеханических систем (асинхронные электрические двигатели, синхронные машины с постоянными магнитами, электромагнитные левитационные системы и прочее). Некоторые общие закономерности физики процессов позволяют предложить для обозначенных систем общие методы синтеза адаптивных наблюдателей переменных состояния.

В данной работе будут рассматриваться два метода. Первый метод основан на приведении исходной нелинейной системы к линейной регрессионной модели, содержащей в качестве неизвестных постоянных параметров начальные условия части переменных состояний объекта (подробнее см., [1]). Далее для восстановления неизвестных параметров используются стандартные алгоритмы идентификации или новый метод «динамического расширения и перемешивания», опубликованный в [2]. Достоинством метода [1] является то, что он впервые (на сколько известно авторам) позволил получить решение задач, которые до сих пор оставались открытыми (см., например, [3]). Однако данный метод имеет существенный недостаток, связанный с чистым интегрированием измеряемых переменных состояния объекта.

Второй метод, снимающий проблему чистого интегрирования, основан на методологии «динамического расширения и перемешивания». Использование данного метода базируется на преобразовании исходного нелинейного объекта управления к регрессионной модели, включающей неизвестные функции, которые, в свою очередь, являются неизмеряемыми переменными состояниями. Далее с использованием методологии «динамического расширения и перемешивания» осуществляется восстановление неизвестных переменных состояния киберфизической системы.

## Список литературы

1. Ortega R., Bobtsov A., Pyrkin A., Aranovskiy S. A parameter estimation approach to state observation of nonlinear systems // *Systems & Control Letters*. 2015. Vol. 85. P. 84-94.
2. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A. Performance Enhancement of Parameter Estimators via Dynamic Regressor Extension and Mixing // *IEEE Trans. Automat. Control*. 2016. Vol. 62. No. 7. P. 3546-3550.
3. Bobtsov A.A., Pyrkin A.A., Ortega R., Vedyakov A.A. A state observer for sensorless control of magnetic levitation systems // *Automatica*. 2018. Vol. 97. P. 263-270.