

Идентификация Райбмана



**Н.С. Райбман
1921- 1981**



Институт проблем управления
имени В.А. Трапезникова РАН

Москва, 2021

Наум Самойлович Райбман

1921- 1981

Н.С. Райбман родился 4 февраля 1921г. на Украине в г. Меджибож Хмельницкой области.

С 1943 г. после учёбы в Московском станкоинструментальном институте несколько лет работал технологом и заместителем начальника цеха одного из новосибирских заводов.

1946 — 50 гг. - обучение в аспирантуре, и после защиты диссертации - работа в Московском авиационном технологическом институте, а потом преподавание в Уфимском авиационном институте.

В 1959 г. вернулся в Москву, где руководил группой в одном из отраслевых НИИ.

В 1959 г. – м.н.с. Института автоматики и телемеханики.

В 1965 г. Н.С. Райбман защищает докторскую диссертацию по идентификации и вскоре становится во главе самостоятельной группы, на базе которой в апреле 1968 г. образуется лаборатория № 41.

П Р И К А З

ПО ИНСТИТУТУ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ
(ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ)

г. Москва

№ 188

от 15 апреля 1968г.

В целях развития тематики, входящей в темы-проблемы ИАТ(ТК) и повышения ответственности за выполнение конкретных задач приказом дирекции № 109 от 9 марта 1967 года были организованы самостоятельные группы.

На основании проведенного дирекцией анализа научной и организационной деятельности самостоятельных групп и с целью дальнейшего повышения эффективности работы Института

П Р И К А З Ы В А Ю :

- I. Преобразовать с 16/IV-68 года самостоятельные группы:
- 42 в лабораторию № 42 "Самонастраивающихся управляющих систем" - и.о.зав.лабораторией д.т.н. РУТКОВСКИЙ В.Ю.
 - ✓ - 37 - в лабораторию № 37 "Автоматизированных систем обработки данных" - и.о.зав.лабораторией к.т.н. ЭПШТЕЙН В.Л.
 - ✓ - 35 в лабораторию № 35 "Систем оперативного контроля и управления непрерывным производством" - и.о.зав.лабораторией к.т.н. ИЦКОВИЧ Э.Л.
 - ✓ - 41 в лабораторию № 41 "Идентификации объектов управления" - и.о.зав.лабораторией д.т.н. РАЙБМАН Н.С.
 - ✓ - 38 в лабораторию № 38 "Процессов управления при неполных данных" - и.о.зав.лабораторией д.т.н. ПЕТРОВСКИЙ А.М.
- II. Организовать лабораторию № 4 "Проблем управления процессами развития" в составе:

Лаборатория 41

1980



Лаборатория 41

1968



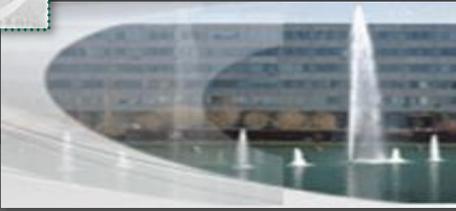
Наум Самойлович



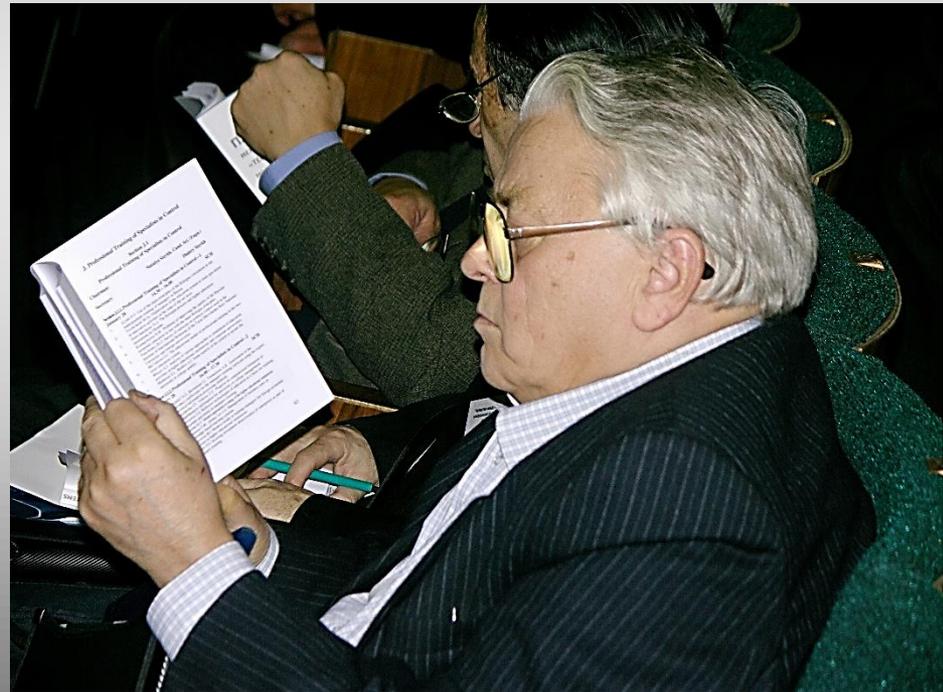
Наум Самойлович

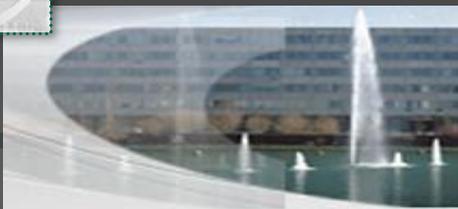
Another thing: Thank you very much also for the photos of Naum Rajbman from the 1960's. Very nice! I enclose two pictures that I found among my bunch of photos from Moscow 1972. They are taken in April 1972 when Rajbman and his daughter and grandson took me and my wife and our son Johan (then 2 years old) to the Moscow zoo.





Анатолий Григорьевич Бутковский





Наум Самойлович Райбман скончался
в возрасте 59 лет 8 января 1981 г.



Identification and System Parameter Estimation 1982

1st Edition

Proceedings of the Sixth IFAC Symposium, Washington DC, USA, 7-11 June 1982

☆☆☆☆☆ [Write a review](#)

Editors: G. A. Bekey, G. N. Saridis

eBook ISBN: 9781483165783

Imprint: Pergamon

Published Date: 1st January 1983

Page Count: 868



Contents:

- IFAC Council
- Joint IFAC/ESA Symposium on Automatic Control in Space
- IFAC signs New Agreement with Austrian Government
- Forthcoming Events
- IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems
- 6th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation
- Special Issue of Automatica — September 1984 —

November '83: IFAC Council to Meet in Laxenburg

In November this year IFAC's officers and officials will assemble again in Laxenburg for what has been phrased "Council and Related Meetings". This means to say that preceding the Council Meeting (November 4 and 5) the Technical Committees, the Technical Board, the Executive Board and the International Program Committee for the IFAC Congress 1984 will all meet to discuss topical issues of IFAC's past, present and especially future work and development.

The Technical Board for example will deal with some 40–50 applications concerning workshops and symposia to take place in 1985 and 1986. Apart from the attention to be given to more formal matters like dates, places, participation fees, location etc. the Board will also discuss ways and methods to improve advice and guidance for TC's with respect to the contents of their activities.

The Executive Board, supported by its three Standing Committees on Finance, Publications and Policy will have to deal with the most unpleasant problem of today, with financial matters. So far the Treasurer has succeeded to make ends meet. The future largely depends on the discipline of the NMO's paying their membership fee and on the success of IFAC publications. The latter will be on the agenda of both the Publications Committee and the Publications Managing Board.

A significant part of the Congress program will be devoted to Case Studies and Discussion Sessions, the latter featuring panel and/or general discussions.

Special attention will be paid to industrial representation: practical problems collected beforehand from world-wide industrial sources will be discussed by expert panels during the Congress and the results summarized in a plenary report.

The IPC-meeting in Laxenburg, being the last one before the Congress, will have to take the final decisions and give the final touch to all these issues, which means a full work schedule for these two days.



6th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation

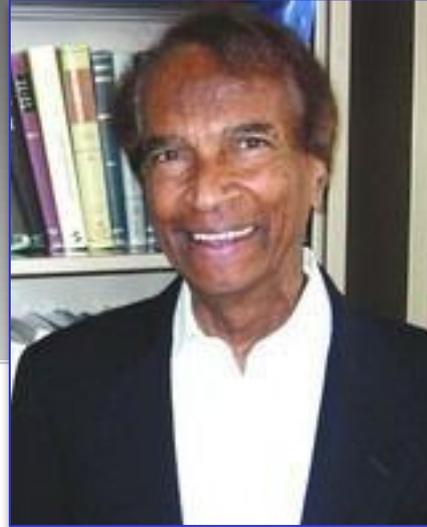
The Symposium and its Proceedings are dedicated to the memory of Professor Naum S. Rajbman of the USSR, the organizer of the 1976 Symposium, and an active participant in the other previous symposia. His presence was missed by his many friends and colleagues.

George A. Bekey, George N. Saridis

«Симпозиум и его труды посвящены памяти профессора Наума Райбмана, присутствия которого очень не хватало его многочисленным друзьям и коллегам»

Professor Lennart Ljung
 Department of Electrical Engineering
 Linköping University
 S-581 LINKÖPING, SWEDEN

Professor Brian D. O. Anderson
 Department of Systems Engineering
 Research School of Physical Sciences
 Australian National University
 P.O. Box 4
 CANBERRA, ACT 2600, AUSTRALIA



N. S. RAJBMAN: A MEMORIAL

A. V. Balakrishnan

Department of System Science, School of Engineering, UCLA, Los Angeles, CA 90024, USA

Naum Samoylovich Rajbman was born in February 4, 1921 in a small town near Lvov (formerly Lemberg) on the Hungarian border in a large Jewish family.

His university studies were interrupted by the War. After a brief stint at the Front, he was sent to work in a defense-factory, where he continued his studies at night. He received his Ph.D. in 1950.

He was a loyal friend, always eager to help, sparing no effort, whatever the personal inconvenience. His charming style, easy manners, his friendly humor, will be missed by all who have known him.

His untimely death leaves a void -- a serious loss for science and an even greater loss for humanity.

SOME PERSONAL REMINISCENCES

Naum was easily the most popular Soviet colleague for all of us from the West. Always frank and honest, cheerful and with a "will-do" attitude whatever the problems, he made us feel at home immediately. A kind and self-effacing host, he would be the first one to greet you at the airport and constantly looked after your welfare from then on, overwhelming you with his hospitality.

«Наум был самым популярным советским коллегой для всех нас с Запада. Всегда откровенный и честный, веселый и с добрым отношением, какими бы ни были проблемы, он сразу заставлял нас почувствовать себя как дома».

H I G H L I G H T S
f r o m t h e
H I S T O R Y o f I F A C

International
Federation of
Automatic
Control



Sketches: M. Cuenod

Text: P. Eykhoff

Eindhoven, Netherlands / Spring 1986 / Vienna, Austria

*There is properly no history;
only biography.*

Ralph Waldo Emerson

*“Собственно
истории нет -
только биографии”.*

Ральф Уолдо Эмерсон



Методы минимизации ошибки предсказания (PEM - prediction-error minimization)

K.J. Astrom and T. Bohlin.

Numerical identification of linear dynamic systems from normal operating records. —

Proc. IFAC Symp. Self-Adaptive System, 1965.

К.Й. Острем. Лунд, Швеция, 2019

К.Ю. Острем, Н.С. Райбман. Введение в стохастическую теорию управления. М.: Мир, 1973.



Н.С. Райбман стал основоположником идентификации систем как статистической теории, отдельного научного направления

Этому способствовала его активная деятельность по организации научных мероприятий, в частности – симпозиумов и конференций ИФАК

Его идеи развивает созданная им лаборатория Идентификации систем управления



**Идентификация систем, т.е.
построение моделей на основе
наблюдаемых входных и выходных
данных - фундаментальный элемент
науки.**

**Термин «идентификация» предложил
в 1956 г. Лотфи Заде**



«Идентификация систем - это интерфейс между реальным миром приложений и математическим миром теории управления и модельных абстракций».

Л.Льюнг



*«Идентификация вдохнула в проблему построения модели новую жизнь, выдвинула требования, которые непосредственно вытекали из **задачи управления**».*

Н.С. Райбман



Неполнота и неточность априорной информации, а также необходимость учета реальных условий функционирования и изменений во времени как характеристик самих объектов, так и условий их функционирования вызвали потребность в создании новых принципов и методов построения моделей объектов управления для решения задач анализа и синтеза



Идентификация: 70-е. ИПУ

Я.З. Цыпкин, Б.Т. Поляк, Э.Д. Аведьян, Ю.С. Попков, Б. Н. Петров, Г. М. Уланов, И.И. Перельман, К. Б. Норкин, М. Е. Шайкин, Л. П. Сысоев, А.В. Добровидов, С. К.Коровин, В.И.Уткин, А. М. Шубладзе, Ю. М. Гладков, И. Б. Ядыкин, С.Я. Виленкин, Т. И. Дубенко, А.И. Яшин



Идентификация: 70-е. ИПУ

- **Методы регуляризации** в задачах нахождения оценки весовой функции линейных и оператора нелинейных автоколебательных стохастических систем
- **Адаптивные алгоритмы идентификации**, их скорость сходимости, потенциальные возможности
- **Робастные методы оценивания** позволяющие оптимально (в определенном смысле) использовать имеющуюся априорную информацию
- Методы **непараметрической идентификации**.
- Методы **идентификации нелинейных динамических систем**, представляемых функциональным рядом Вольтерра
- **Структурная идентификация** -задачи выбора операторов или систем уравнений, описывающих процессы в исследуемой системе
- Методы **стохастической аппроксимации**
- Методы идентификации **в задачах обучения**.



70-е. ИПУ. Идентификация

- Алгоритмы **беспоисковой идентификации**, получаемые методами настраиваемой модели
- Алгоритмы **условного прогнозирования** выходной реакции объектов управления. Методы динамической оптимизации технологических процессов – И.И. Перельман
- Исследование **идентифицируемости** как задачи однозначной восстанавливаемости параметрического описания.
Б.Н. Петров: условия параметрической идентифицируемости объектов управления в замкнутых автоматических системах.
- Методы идентификации объектов **с распределенными параметрами**



70-е. 41 лаборатория

- **Адаптивные алгоритмы.** Влияние корреляции в помехах измерений на структуру оптимальных алгоритмов, а также погрешностей вычислений на **сходимость** алгоритмов.
- **Дисперсионная теория статистически оптимальных систем**, в рамках которой характеристики оптимальной системы находятся по сложному критерию, представляющему собой функционал от **дисперсионных функций различных типов.**
- Методы идентификации **многомерных, нелинейных, нестационарных объектов.**
- Методы, основанные на идее **кусочной аппроксимации:**
Фазовое пространство входного сигнала разбивается на несколько непересекающихся областей таким образом, что внутри каждой из этих областей условная дисперсия шума относительно входного сигнала приближенно постоянна

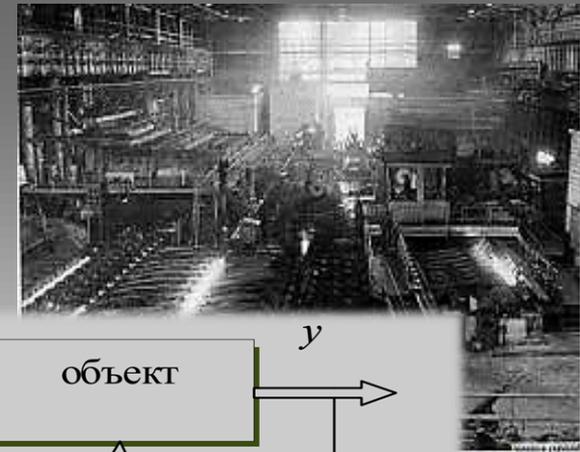


70-е. 41 лаборатория

- методы идентификации **гетероскедастических объектов**
когда разброс точек наблюдений вдоль линии регрессии является неравномерным на всем диапазоне изменения независимой переменной.
- **Модели объектов с распределенными параметрами**
- Методы и модели **управления запасами**

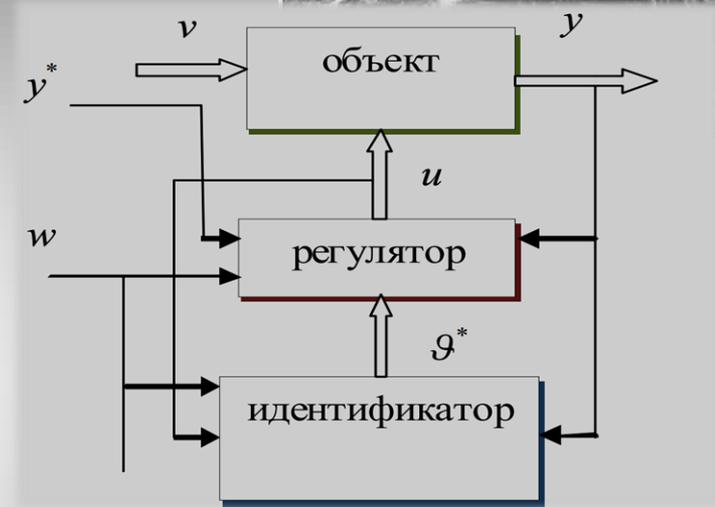


70-е. 41 лаборатория



- **Адаптивные системы с идентификатором в цепи обратной связи**

В середине 70-х годов XX века сотрудники Первоуральского Новотрубного завода (ПНТЗ) совместно с лаб. 41 ИПУ РАН разработали и успешно реализовали **систему управления трубопрокатным станом 160** на ПНТЗ с использованием советской вычислительной машины УМ1-НХ.



Государственная премия СССР 1976 г.



70-е. 41 лаборатория

Многочисленные приложения

Система автоматизации производств бора - Дальнегорск . Устькаменогорск: на Титаномагниевом комбинате создавалась система управления для изготовления титановой губки. Работы в области производства магния и др.

Адаптивные системы с идентификатором для управления точностью горячей прокатки бесшовных труб работали практически на всех трубных заводах страны.





Н.С. Райбман. 20 лет идентификации

- Конференции по теории управления как в СССР, так и по линии ИФАК стали включать **раздел, посвященный идентификации**.
- **Координирование направлением идентификации** на конференциях и симпозиумах, проводимых ИФАК, Советом экономической взаимопомощи (СЭВ), Европейской экономической комиссией (ЕЭК);
- **Проведение IV симпозиума ИФАК по идентификации**, который прошел в СССР в Тбилиси в 1976 г.
- **Организация всесоюзных симпозиумов по статистическим методам** в управлении, проводимых в Москве, Ташкенте, Фрунзе, Вильюсе;
- **Организация всесоюзных ежегодных семинаров по идентификации** в рамках программы «Кибернетика».
- **Руководство совместными научными исследованиями с зарубежными институтами** (Чехословакия и Венгрия);
- Под редакцией Н.С. Райбмана выходят **переводы лучших зарубежных книг по идентификации**.



**Лаборатория № 40
«Интеллектуальных систем
управления и моделирования»**



**Лаборатория № 44 «Экспертно-
статистических систем управления»**



Идентификация: жизнь после жизни

Н.С. Райбмана

Идентификация: 80-е +

Множество **адаптивных алгоритмов идентификации**, использующих представление сигналов в частотной и временной областях) - направленных на получение описания максимально «точного» описания функционирования системы.

Градиентные и псевдо-градиентные методы, поисковые, алгоритмы случайного поиска, методы координатного спуска,....

Алгоритмы стохастической аппроксимации

Метод подпространств - поиск модели объекта в пространстве состояний, имеющей наименьший порядок вектора состояний, на основе импульсной переходной характеристики

Идентификация: 80-е +

Статистические свойства оценок

Идентифицируемость систем

Исследование смещенности оценок и ошибки дисперсии для оценивания передаточных функций объектов

Идентификация как проблема синтеза

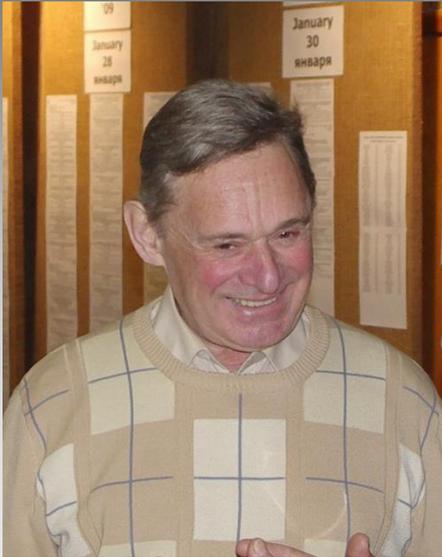
Идентификация: 80-е +



1986 г. Я.З. Цыпкин: **информационная теория идентификации, определяющая алгоритмы идентификации, оптимальные для различных классов объектов**, для чего вводится понятие ***оптимальных на классе функций потерь***.

Асимптотически оптимальные алгоритмы идентификации - алгоритмы, обладающие максимальной скоростью сходимости при известной плотности распределения помехи.

Идентификация: 80-е +



Идентификация в условиях неопределенности.

Методы на основе **интервального анализа**, основанного на методе описанных эллипсоидов - для объектов с интервальной неопределенностью

При ограниченных возмущениях в системе и в отсутствии информации о законах их распределений - **метод гарантированного оценивания** (Назин и Поляк, 2007).

Для оценивания параметров линейных стационарных систем в условиях неопределенности - **техника линейных матричных неравенств**

Идентификация: 80-е +

Идентификация в условиях неопределенности.

Метод подстановки и его модификации

При **статистическом описании неопределенности** функционалы от эмпирического распределения с увеличением объема выборки наблюдений сближаются с соответствующими «теоретическими» значениями, что позволяет получать состоятельные оценки характеристик объекта

Методы теории робастного оценивания Оптимальная функция потерь для наименее благоприятной плотности распределения из заданного класса

Идентификация: 80-е +

Методы прямой оптимизации весов для нелинейных задач оценивания функции регрессии и идентификации авторегрессионных систем при непараметрической неопределенности



Рандомизированные алгоритмы. Рандомизация: добавление в алгоритм дополнительных, случайных, но контролируемых возмущений.

Идентификация: 80-е +

Метод конечно-частотной идентификации

(активная идентификация). Пробный сигнал представляет собой сумму гармоник, число которых не превышает величину вектора состояния объекта. Амплитуды и частоты этого сигнала в значительной мере влияют на точность идентификации.

Разработаны алгоритмы **(А.Г. Александров)**, которые обеспечивают малое влияние испытательного сигнала на выход объекта, по сравнению с влиянием возмущений и помех

Идентификация: 80-е +

Непараметрические методы

Методы на основе оценивания: **переходных и импульсных переходных характеристик, частотных и спектральных характеристик.**

Информационно-теоретические подходы к структурной, параметрической и непараметрической идентификации стохастических систем – предполагают применение согласованных мер зависимости случайных величин и мер расходимости вероятностных распределений.

Идентификация: 80-е +

Идентификация нелинейных объектов

Статические:

- **методы линеаризации:** гармонической, статистической, малых приращений – преимущественно для объектов с гладкими характеристиками и для случаев небольших отклонений и возмущений относительно номинальных режимов;
- **основанные на аппроксимации модели объекта**, если структура модели точно не известна. Полиномы Чебышева, Эрмита, Лагерра.

Динамические:

методы матричных операторов, с помощью которых строятся функциональные полиномы, ортогональные для заданного класса входных сигналов. Процесс идентификации заключается в определении ядер на основе статистической обработки данных наблюдений.

Ряды Вольтерра, Гаммерштейна, Винера, непрерывных и дискр. полиномов Колмогорова – Габора

Представление ортогональных функциональных рядов в частотной области позволяет найти оптимальное решение в явном виде. Оценки в частотной области алгоритм быстрого преобразования Фурье

Идентификация: 80-е +

Идентификация нестационарных объектов

Аппроксимационные методы: тем или иным способом осуществляется переход от бесконечномерного к конечномерному параметрическому пространству, а затем используются методы идентификации для стационарных объектов

Аппроксимация неизвестных переменных параметров:

- полиномами конечной степени на всем интервале;
 - Использование разложения входа и выхода объекта в ряды по экспоненциальным функциям позволяет редуцировать задачу к стандартной линейной.
 - Исходное уравнение с полиномиальными коэффициентами с помощью разложения входа - выхода в ряды по блочно-импульсным функциям преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений
- Ортогональными функциями
 - метод оценки коэффициентов в разложении переменных параметров по ортогональному базису в пространстве функций, суммируемых с квадратом, с использованием рекуррентного МНК

К прямым методам идентификации НО, в которых не производится предварительная редукция к конечномерному параметрическому пространству, относятся методы на основе рекуррентных алгоритмов, непараметрические методы, методы гарантированного оценивания и оптимального сглаживания, спектральные методы и нейронные сети.

Идентификация: 80-е +

Идентификация объектов с распределенными параметрами

Динамика СРП описывается дифференциальными уравнениями в частных производных, интегральными и интегро-дифференциальными уравнениями

Методы сведения моделей СРП к моделям систем с сосредоточенными параметрами:

метод Галеркина, метод характеристик, метод конечных элементов, дискретизация, метод моментов, разложение по ортонормальному базису, использование сплайнов.

Идентификация: 80-е +

Идентификация объектов с распределенными параметрами

Методы сведения моделей СРП к моделям систем с сосредоточенными параметрами

Оптимизация:

Градиентные методы: Гаусса – Ньютона и Ньютона – Рафсона, Флетчера – Ривса, стохастическая аппроксимация, метод по-шагового спуска, метод наискорейшего спуска и метод присоединенного состояния.

Методы калмановской фильтрации и нелинейной фильтрации.

Вариационные методы дают возможность найти состояние системы и/или зависящие от состояния, времени и координат параметры как экстремумы функционала качества (критерия).

Методы теории оптимального управления используются обычно в задачах оценки состояния.

Методы нелинейного программирования применяются тогда, когда имеются априорные сведения о нелинейности уравнений и/или краевых условий либо о нелинейности зависимости идентифицируемых величин от координат и/или времени.

Идентификация объектов с распределенными параметрами

Спектральная теория для систем с распределенными параметрами

Введено понятие спектральной характеристики по пространственной переменной.

Дифференциальное уравнение с частными производными на основании свойств спектральных характеристик может быть представлено бесконечномерной системой обыкновенных дифференциальных уравнений в форме Коши, правая часть которых содержит члены, учитывающие граничные условия и внешние возмущения.

Нейросетевые модели. Применение к СРП обусловлено затруднением применения стандартных методов идентификации вследствие нелинейности моделей, большого объема данных, неточности их измерений, а также высокой вычислительной сложностью классических методов.

Нечеткие модели – на основе представления СРП в виде многосвязной сосредоточенной системы.



70-е. 41 лаборатория

Методы определения структуры

задачи выбора операторов или систем уравнений, описывающих процессы в исследуемой системе

Оценивание порядка модели.

Спектрально-аналитические оценки. Непараметрическая

оценка - передаточной функции $\hat{W}(e^{i\omega}) = \frac{Y(\omega)}{U(\omega)}$ основана

на анализе данных о входе $u(t)$ и выходе $y(t)$ на интервале $t \in [1, T]$. Если $\hat{W}(e^{i\omega})$ содержит информацию о специфике динамики объекта (величине резонансных пиков, высокочастотных срезов и фазовых сдвигов), то на основе анализа $\hat{W}(e^{i\omega})$ можно выбрать порядок модели, чтобы адекватно отобразить динамику системы.

Оценка размерности объекта в условиях неопределенности

Критерии Акаике: 1) оценка финальной ошибки предсказания; 2) информационный критерий Акаике; байесовский информационный критерий (BIC); критерий Шварца (SC), etc.

Сегодня

- ❑ **Методы на основе регуляризации** – для асимптотического уменьшения смещения оценок
- ❑ **Методы формирования выпуклых процедур идентификации** (предотвращение попадания оценок в локальные минимумы)

«К сожалению, выбор критерия оптимальности более или менее субъективен, а получающиеся алгоритмы существенно зависят от этого выбора»

Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975

Сегодня

- ❑ **Методы, основанные на теории статистического обучения (Statistical Learning Theory, SLT)**, изучающей методы построения и анализа алгоритмов, обучаемых по прецедентам.
- ❑ **Situational Awareness - Ситуационная осведомленность** – учет при построении моделей информации о состоянии внешней среды, наряду с уже существующей информацией
- ❑ **Reinforcement learning – обучения с подкреплением**, когда система обучается, взаимодействуя с некоторой средой.
- ❑ **Квантовые алгоритмы**



Сегодня

Обучение с подкреплением (reinforcement learning) — это метод машинного обучения, при котором модель не имеет сведений о системе, но имеет возможность производить какие-либо действия в ней. Действия переводят систему в новое состояние и модель получает от системы некоторое вознаграждение.

Роль объектов играют пары «ситуация, принятое решение», ответами являются значения функционала качества, характеризующего правильность принятых решений (реакцию среды).

“Среда” обычно формализуется как **марковский процесс принятия решений (МППР)** с конечным множеством состояний. Вероятности выигрышей и перехода состояний в МППР обычно являются величинами случайными, но стационарными в рамках задачи.

Марковский процесс принятия решений (Markov decision process (MDP)) — спецификация задачи последовательного принятия решений для полностью наблюдаемой среды с марковской моделью перехода и дополнительными вознаграждениями.

При обучении с подкреплением, в отличие от обучения с учителем, не предоставляются верные пары „входные данные-ответ“, а принятие субоптимальных решений (дающих локальный экстремум) реализует **компромисс между исследованием неизученных областей и применением имеющихся знаний.**

Сегодня

Обучение по прецедентам, или индуктивное обучение, основано на выявлении общих закономерностей по частным эмпирическим данным

❑ Методы идентификации на основе машинного обучения

- ❑ алгоритмы идентификации, основанные на нейронных сетях
- ❑ алгоритмы, использующие индуктивные знания – закономерности, извлекаемые из всей совокупности данных об объекте и его функционировании на основе их анализа, и постоянно пополняемые

Возможность быстрой обработки больших объемов данных и разработка новых методов анализа данных позволяет создавать алгоритмы идентификации, использующие в реальном времени всю имеющуюся информацию – априорную и апостериорную – об объекте управления

Тенденции

Л. Льюнг

Изменит ли машинное обучение парадигму идентификации?

Will Machine Learning Change the Paradigm of System Identification?

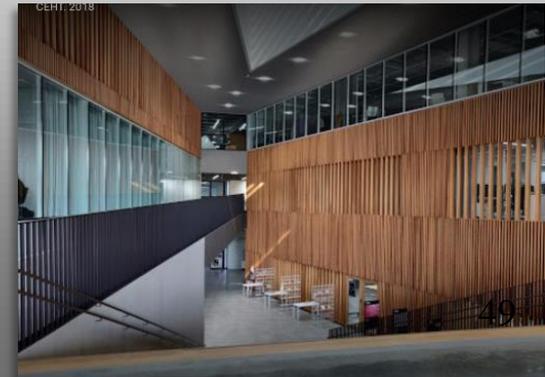
- The paradigm of System Identification
- A function learning approach to estimating impulse response functions
- Using System Identification thinking in more thoughtful way



1:13 / 25:18



к 70-летию Хейкки Койво 24.1.2014
Университет Аалто, Отаниemi, Эспоо,
Финляндия.



Тенденции

К.Й. Острем. Лунд, Швеция, 2019



K.J. Åström and P. Eykhoff System identification — A survey. *Automatica*, vol. 7, pp. 123—162, 1971.

K.J. Åström and T. Bohlin. Numerical identification of linear dynamic systems from normal operating records. — *Proc. IFAC Symp. Self-Adaptive System*, 1965. — pp. 96—111.

Конгресс IFAC, Берлин 2020

Пленарное заседание Learning and Control

Reflections on the Learning-to-Control Renaissance (Benjamin Recht)

Дискуссия: "Control and learning – is there really a divide?"

Пленарное заседание Reinforcement Learning for Process Control and Beyond

Reinforcement Learning for Process Control and Beyond (Jay H. Lee)

Дискуссия: "Industrial Potential of Reinforcement Learning"



Лаборатория 41: 1980+



Наум Самойлович Райбман

Зав. лаб. 41

1968- 1981



Владимир Алексеевич

Лотоцкий

Зав. лаб. 41

1981-2008



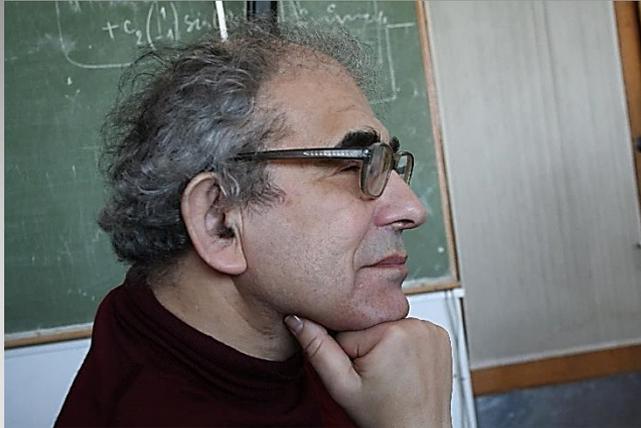
Лаборатория 41: 1980+

- ❑ Рекуррентные методы и алгоритмы идентификации
- ❑ Проблема сходимости оценок в замкнутом контуре - при коррелированности возмущений на выходе объекта и в сигнале управления.
- ❑ Идентификация объекта в замкнутых системах в условиях шумов и параметрических возмущений
- ❑ Алгоритмы получения состоятельных оценок параметров объекта в замкнутом контуре





Лаборатория 41: 1980+



Методология оценивания информационных возможностей алгоритмов структурной идентификации в условиях априорной структурной неопределенности.

Разработка методов идентификации стохастических систем на основе теоретико-информационных мер зависимости



L. Ljung. Perspectives on system identification. *Annu. Rev. Control.* 34(1): 1-12 (2010)

«Let me end with a personal IFAC reflection. When I was IFAC Vice President and chairman of the Technical Board (1987–1993) there was a discussion if it was not time to abolish the long running (since 1967) Symposium series on System Identification, since **the topic had lost its luster**. In the end we did not do so. I hope I have convinced the readers that that was a wise decision».



«Когда я был Вице-президентом ИФАК и председателем Технического комитета, проходила (1987–1993) была дискуссия, не пришло ли время отменить длящуюся с 1967 г. серию симпозиумов по Идентификации Систем, поскольку **тема потеряла свой блеск**. В конце концов, мы этого не сделали. Надеюсь, я убедил вас, что это было мудрое решение».

Mathematical statistics and time series analysis (cf Section 3.2) is in many respects the “mother” field of System Identification, see e.g. Deistler (2002). Here many of the basic results of Section 2 were developed. Statistics is clearly a very broad field, and it is not meaningful to give terse summary of recent trends.

Among developments with relevance to System Identification are for example the *bootstrap*, see e.g. Efron and Tibshirani (1993), and the EM algorithm, (Dempster et al., 1977). Other results of relevance to order selection are new techniques for regularization (variants of (5b)), such as *Lars*, *Lasso*, *NN-garotte*, see e.g. Hastie et al. (2001).

3.2 Econometrics and Time Series Analysis

Econometrics is a science that has grown out of statistics for extracting information from economic data, taking into account both the special features of such data and the a priori information coming from economic theory. Econometrics has a long tradition of giving inspiration to time series and difference equation modeling and its roots coincide with developments in statistics. The work on time series dates back to Jevons (1884), Yule (1927), and Wold (1938). The classic paper Mann and Wald (1943) developed the asymptotic theory for the LS estimator for stochastic linear difference equations (AR systems). The results were extended to simultaneous (multivariate) systems, where LS is not consistent, in Koopmans et al. (1950), where also central identifiability issues were sorted out and Gaussian Maximum Likelihood estimates were proposed and analyzed. Important extensions to the ARMA(X) case have been proposed by Anderson (1971) Hannan (1970) later on. The problem of errors-in-variables modeling (when there are disturbances on both input and output measurements) also has its origins in econometrics, (Frisch, 1934).

More recently, important focus has been on describing volatility clustering, i.e. more careful modeling of conditional variances for modeling and forecasting of risk (GARCH models, (Engle, 1982)), as well as on describing non-stationary behavior of interesting variables in terms of a common stationary linear combination (“co-integration”), (Engle and Granger, 1987), which gives the long run equilibrium relation between the variables. These two subjects were in focus for the Sveriges Riksbanks Prize in Economic Sciences in memory of Alfred Nobel in 2003.

3.3 Statistical Learning Theory

The coining of the term *Statistical learning*, e.g. Vapnik (1998), Hastie et al. (2001), has moved the fields of statistics and *Machine learning* closer together. Much

of this investigation have clearly played an essential role, e.g. Bartlett et al. (2006).

3.4 Machine Learning

The term *machine learning* was introduced to Artificial Intelligence, see e.g. the classical book Mislove (1996). The area has housed many approaches, like Kohonen’s self-organizing and self-learning maps, (Kohonen, 1984), to Quinlan’s tree-learning for binary data, (Quinlan, 1986), and the early work on perceptrons, (Rosenblatt, 1962), that later led to neural networks. More recent efforts, include Gaussian Process Regression (kriging), e.g. Rasmussen and Williams (2006), which in turn can be traced back to general nonlinear regression. Overall, the fields on machine learning and statistical learning appear to be converging.

3.5 Manifold Learning

Another “learning topic” is *manifold learning*, which really is the important area of dimension reduction of high-dimensional data to nonlinear manifolds. This is a nonlinear counterpart of multivariate data analysis, such as Principal Component Analysis (PCA). Some techniques, like *kernel PCA*, (Schölkopf et al., 1999), are such extensions. Other methods are based on developing proximity matrices, often with nonparametric techniques, such as isomaps and variance unfolding. A special such technique that has been frequently used is LLE (*Local Linear Embedding*), (Roweis and Saul, 2000). It can be described as a way to determine a coordinate system in the manifold that inherits neighborhoods and closeness properties of the original data. Manifold learning has evolved into a community of its own, essentially because of its importance for computer vision and object recognition.

3.6 Statistical Process Control and Chemometrics

The term *chemometrics* is primarily used in process industry and stands for statistical methods for extracting information from data sets that often consist of many measured variables. The techniques are various forms of Multivariate data analysis, such as PCA, but in Chemometrics the use of Partial Least Squares (PLS), (Wold et al., 1984), has been a predominant way of projecting data onto linear subspaces. For a recent survey, see MacGregor (2003). The PLS methods are conceptually related to *subspace methods* in System Identification. The term (*Multivariate*) *Statistical Process Control* refers to identifying important indicators for the process and keeping track of their changes.

3.7 Data Mining

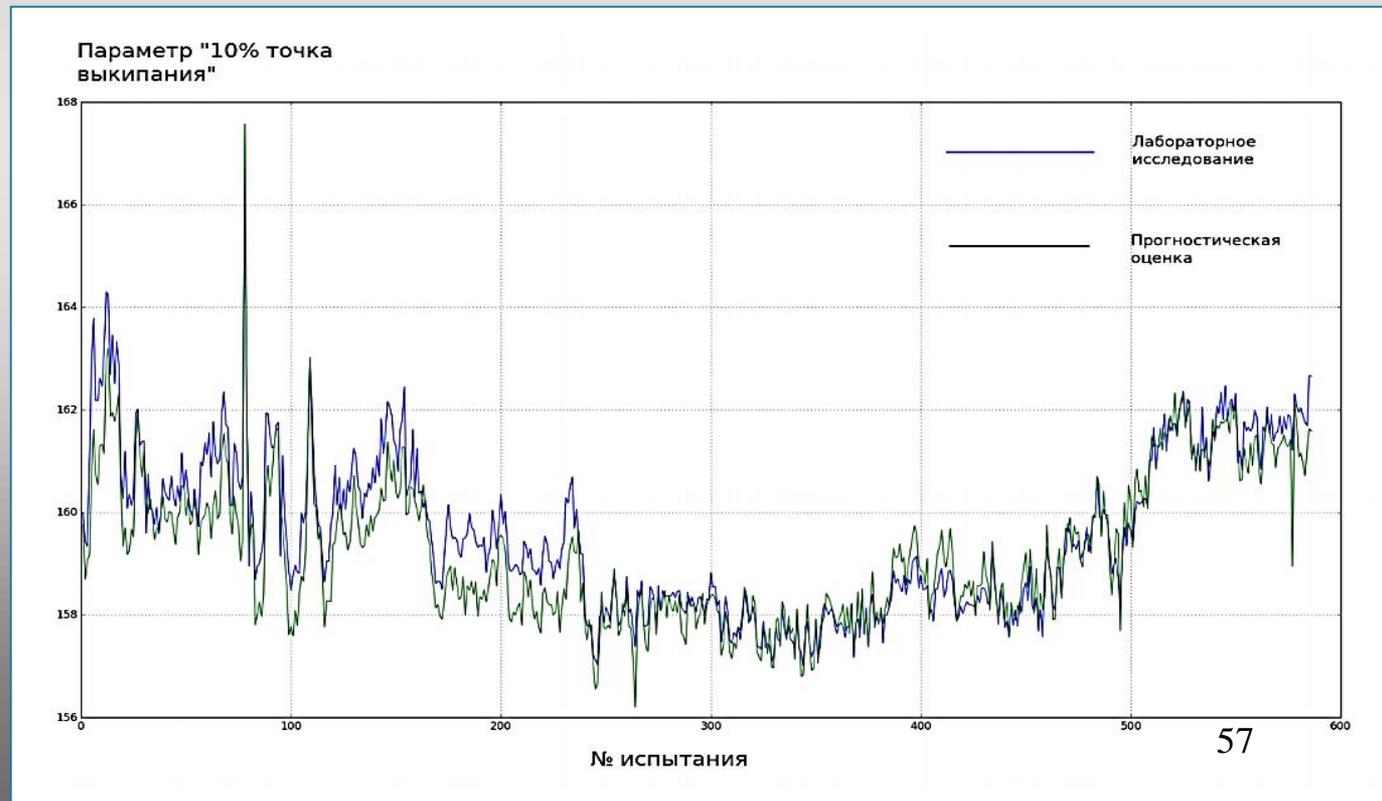
Data Mining or Knowledge Discovery has become a buzzword for sorting through large databases and finding relevant information. Data mining has been applied to a



Лаборатория 41: 2000+

Методы идентификации нелинейных и нестационарных объектов на основе алгоритмов ассоциативного поиска с использованием вейвлет-анализа и нечеткой логики - интеллектуальный механизм использования базы технологических знаний и интеллектуального анализа данных в системах управления реального времени.

Критерии приближения к границам технологического регламента и потери устойчивости





Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

- Идентификация технологических процессов непрерывных и полунепрерывных промышленных производств (в частности, химических и нефтепереработки),
- Программно-алгоритмические комплексы автоматизации управления технологическими процессами химических производств и нефтепереработки на базе алгоритмов идентификации.
- Методы автоматической дистанционной диагностики готовности к общему первичному регулированию частоты (ОПРЧ) генерирующего оборудования электростанций в ходе реальной эксплуатации
- Методы управления режимами систем электроснабжения в общей системе иерархического координированного адаптивного управления режимами ЕЭС,



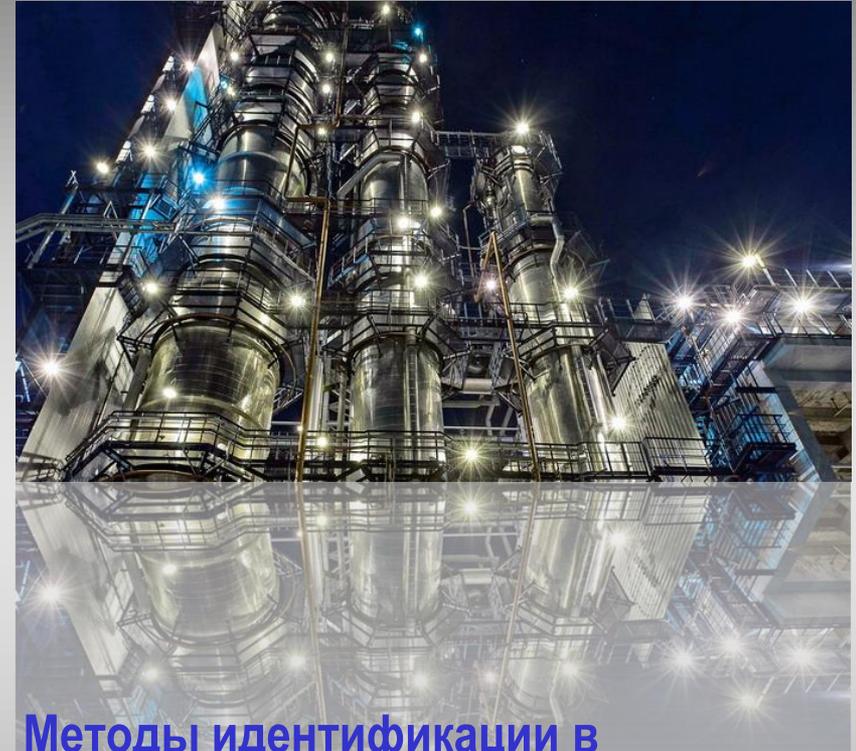
Лаборатория 41: 2000-е+

Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

- Прогнозирование динамики спроса,
- Прогнозирование динамики фондового рынка на основе интеллектуальных алгоритмов для процессов трейдинга и стресс-тестинга,
- Идентификация и прогнозирование состояния агрегатов БП автомобилей в автоматизированной бортовой системе управления, с использованием *интеллектуального анализа технологических данных* реального времени

Е.М. Максимов

Н.Е. Максимова
И.В. Никулина
И.С. Зайцева



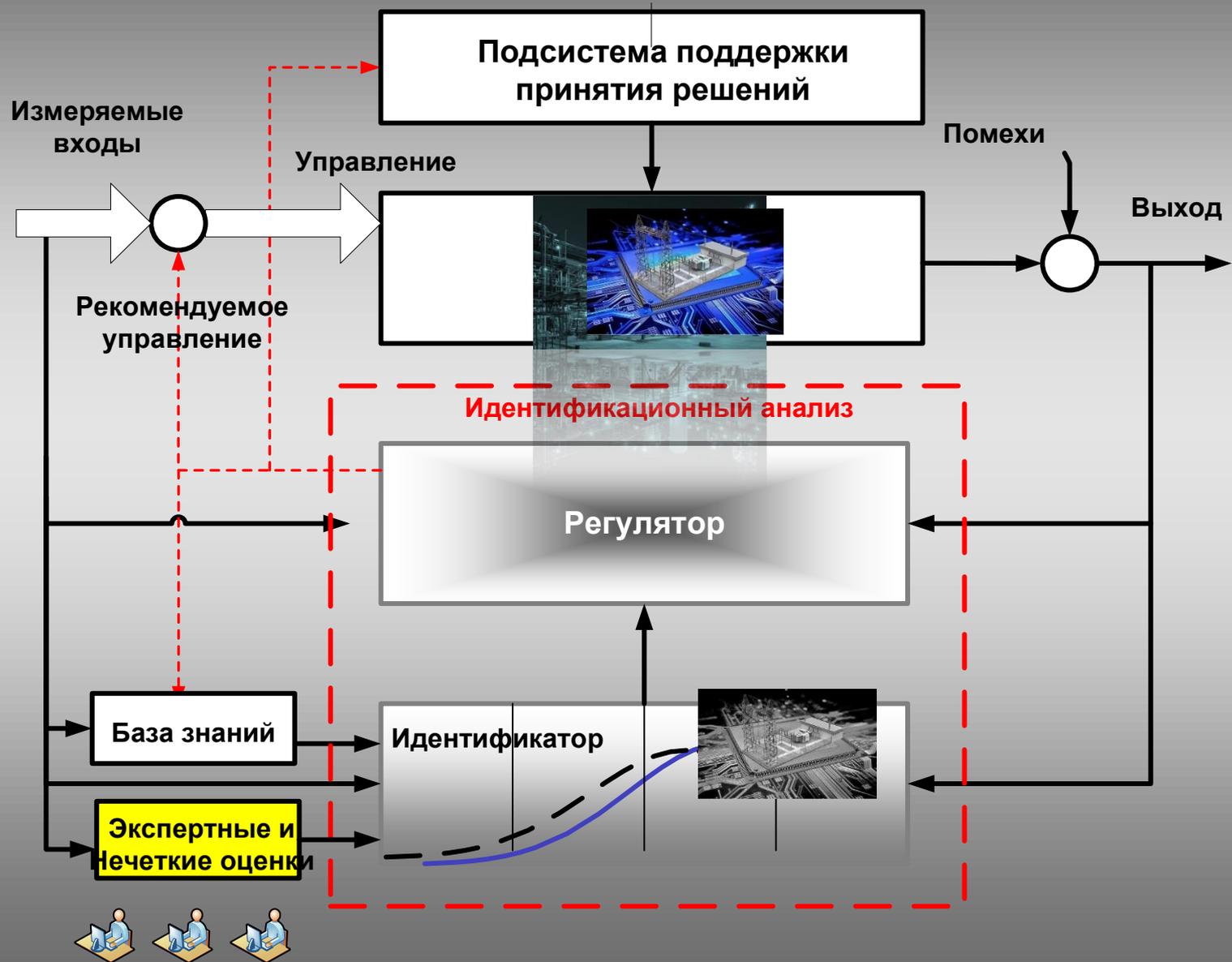
- Методы идентификации в производственной и транспортной логистике: методы прогнозирования объема автоперевозок и показателей, характеризующих эффективность расписания на основе исследования динамики перевозочных процессов.



Идентификационный анализ

- ❑ Методы разработки интегрированных систем управления производственным процессом (предприятий и компаний) **на основе идентификационных моделей реального времени**
 - ❑ Информационно-аналитические системы коммерческих компаний - ЛогоВАЗ, ОАО «Аэрофлот – международные авиалинии»
 - ❑ Методы создания нелинейных моделей состояния энергосистемы на основе идентификационного анализа с использованием мультиагентных технологий - включены в Концепцию создания интеллектуальной системы управления энергосистемой России с активно-адаптивной сетью ОАО ФСК РФ.

Модели на основе знаний





Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения



Интеллектуальные информационно-управляющие системы поддержки управления на основе предсказательного идентификационно-симуляционного моделирования с использованием систем автоматизации имитационных исследований облачного типа

Идентификационный анализ сегодня

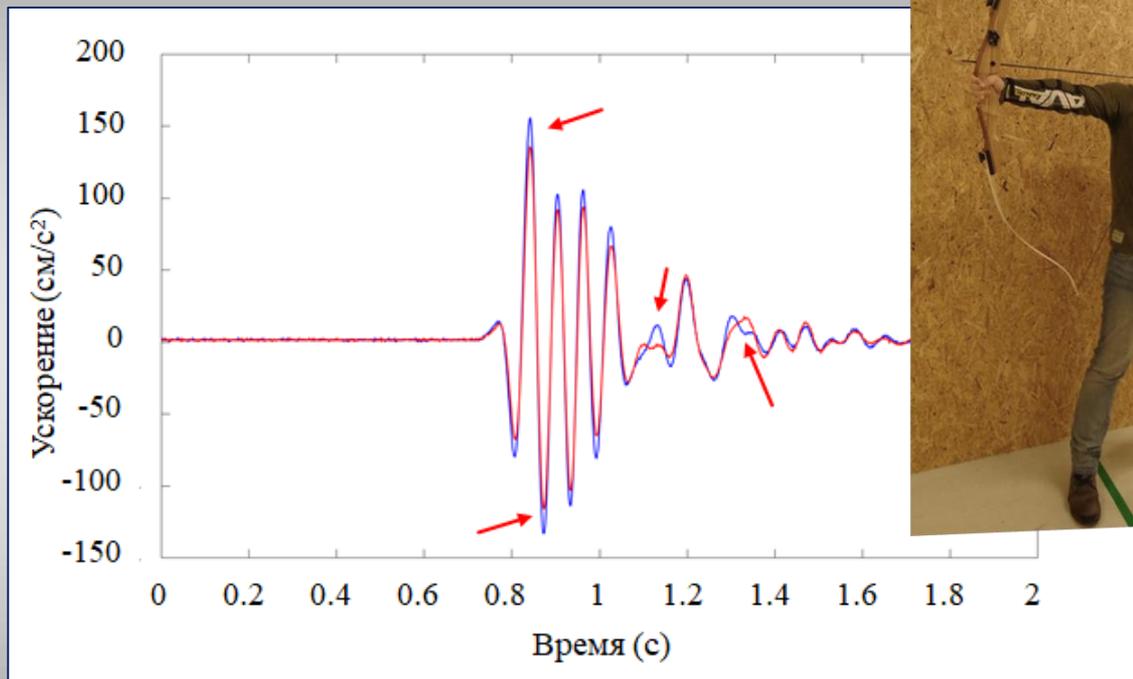
Методы разработки интегрированных систем управления производственным процессом (предприятий и компаний) **на основе идентификационных моделей реального времени**

- Методы управления производственными процессами на основе цифровых предиктивных моделей реального времени с применением Баз знаний – цифровые MPC
- Цифровые методы идентификации ситуаций.
- Методы и архитектура создания Цифровых экосистем управления производством и Систем управления цепочками поставок – в условиях больших данных



Цифровые методы идентификации ситуаций

Метод
идентификации
нештатных ситуаций
при исследовании
динамики
технологических
процессов,
основанный на
анализе оценок
схожести пар



числовых строк цифровых портретов производственных ситуаций.
Метод может быть также применен для распознавания дефектов
различных классов при оценке качества выпускаемой продукции (в
промышленном производстве и металлургии

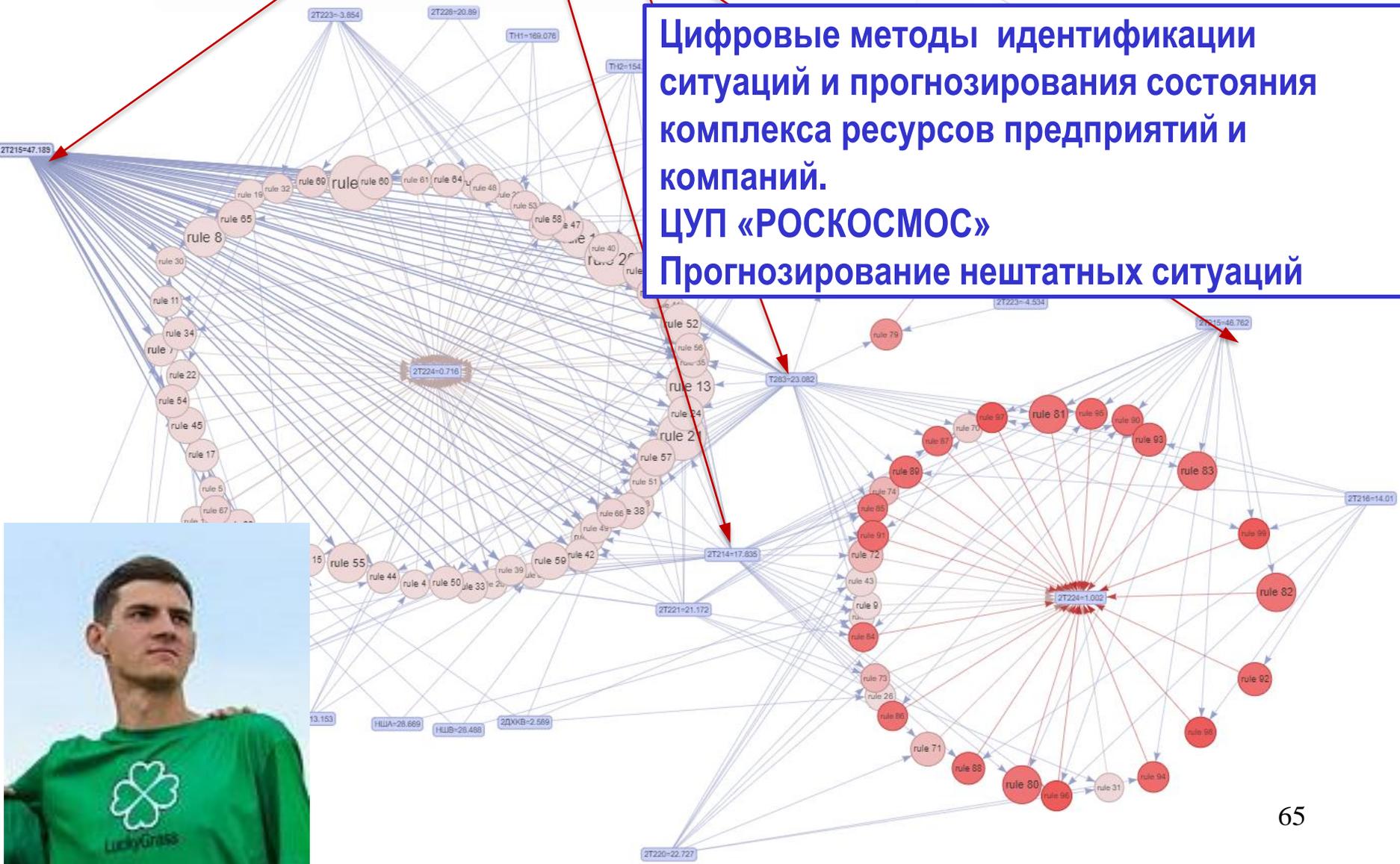
Цифровые методы идентификации ситуаций

«Иницилирующие» состояния

Цифровые методы идентификации ситуаций и прогнозирования состояния комплекса ресурсов предприятий и компаний.

ЦУП «РОСКОСМОС»

Прогнозирование нештатных ситуаций





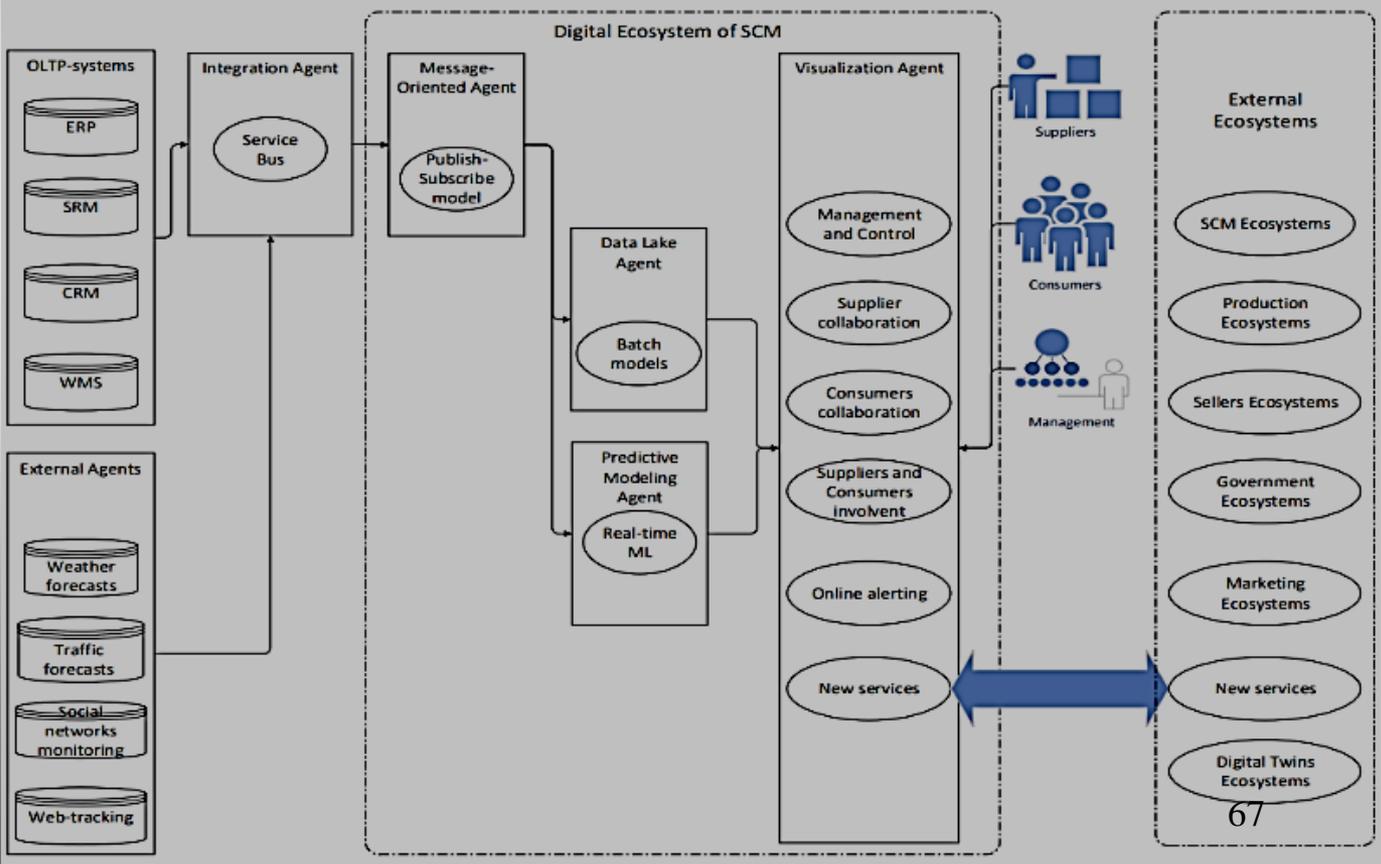
Цифровые экосистемы

- сложные человеко-машинные системы с развитой информационной инфраструктурой,
 - использующие общие системы хранения и обработки данных и различные сервисы,
 - реализующие принцип “win-win” – выгоды для каждого агента в отдельности и
 - устойчивости и устойчивого развития для системы в целом

Лаборатория 41: 2010-е+



Архитектура Цифровых экосистем управления производством и Систем управления цепочками поставок – в условиях больших данных. Управление ЦЭС на основе цифровых предиктивных моделей реального времени





Информационно-аналитическая система для анализа параметров качества электроэнергии и алгоритмы определения синхронизированных векторных измерений на цифровых подстанциях.

Предложен метод симметричных составляющих по прямой, обратной и нулевой последовательности, который широко используется для определения токов короткого замыкания – для диагностики электрооборудования цифровой подстанции.



Создание адаптивных и «умных» цифровых двойников сложных объектов на основе графического языка моделирования SysML и инструментария AnyLogic



Лаборатория 41: 2010-е+

Методы и алгоритмы формирования и коррекции прогноза для нестационарных процессов на основе обработки количественной информации и экспертного анализа событий внешней среды, оказывающих влияние на изменения в этих процессах. Актуально, в частности, для повышения эффективности планов производственных систем.

Анализ текущей ситуации на когнитивной карте (ККС) для выявления экспертно - значимых событий, способных вызвать изменения в прогнозируемом процессе;

Обнаружение в реальном времени «неявных» изменений, тенденций, свойств и взаимосвязей между прогнозируемым параметром и связанными с ним компонентами, «замаскированных» неконтролируемыми случайными возмущениями





Исследование особенностей выбора вариантов матричных структур моделей представления знаний в задачах оценивания ключевых показателей непрерывных технологических процессов в реальном времени.

Исследования применения дискриминантной функции Андерсона для решения задач классификации и оценки апостериорных вероятностей классов по обучающей выборке с учителем.





- **Идентификация параметров модели развития нефтеперерабатывающего завода по неполным данным**
Ю.М. Цодиков

- **Методы оптимизации производственного планирования, управления ресурсами и формирования гибких производственных расписаний**
Е.Н. Хоботов
Е.Е. Дудников
О.В. Володина
А.Ю. Кузнецова



- Формализованные методы оценивания конструкции изделий на технологичность на этапе технологической подготовки производства с учетом вероятностных характеристик средств автоматизации





Лаборатория 41: 2010-е+



Метод разработки конкретного плана (концепции) развития автоматизации/информатизации/ цифровизации предприятия любой технологической отрасли с целью достижения уровня **Industry 4.0.** Обсуждаются и оцениваются возможные разработчики этого плана. Приводится необходимое содержание разрабатываемой концепции, являющейся дорожной картой цифровой трансформации предприятия.

Э. Л. Ицкович
В.Е. Юрченко



Разработка методов и алгоритмов идентификации и управления плазмой в токамаках

Методы на основе количественной теории обратной связи (QFT),
Метод подпространств,
etc.

Пример: Идентификация передаточной функции, связывающей уставку тока в центральном соленоиде токамака Глобус-М2 и тока плазмы.



Карцев Н.М.
Коренев П.С.
Павлова Е.А.
Коньков А.Е.
Кружков В.И.
Иванова С.Л.
Смирнов И.С.
Воробьева М.С.



Количественная теория обратных связей (QFT) – методы, использующие **частотное представление моделей** для удовлетворения критериев качества при наличии неопределенностей.

Неопределенности: в характеристиках объекта и/или на его вход подаются неизвестные возмущения



Интеллектуальные алгоритмы идентификации:

С.А. Юдицкий

**НОРМАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРВАЛОВ ПАРАМЕТРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ
ЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ В СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ**

**ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ОБРАЗНОГО МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА С
ПОЗИЦИЙ НЕЙРОПСИХОЛОГИИ И КОГНИТИВНОЙ СЕМАНТИКИ**

- Нейропсихологические принципы работы мозга и закономерности его системного функционирования в процессе исследования механизмов формирования образного мышления. Показано, что взаимодействие полушарий головного мозга определяет различные модели формирования образов



Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

Идентификация технического состояния протяженных объектов (трубопроводов, железных дорог) методами машинного обучения.



- Обработка исходных данных различной физической природы (геотехнические, дефектоскопические, нормативные и др.);
- анализ систем хранения и передачи данных;
- разработка методов аудита и подготовки исходных данных;
- разработка прототипа математической модели и алгоритма идентификации технического состояния протяженного объекта; тестирование и внедрение разработанной математической модели.



Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

Методы идентификации и прогнозирования характерных технологических ситуаций доменного процесса на основе интеллектуального анализа видеопотока данных с видеокамер на фурмах доменной печи в режиме реального времени.

Д.М. Дончан, И.И. Грачева



Моделирование процессов горячей прокатки полос для повышения пропускной способности листопрокатного и сокращения удельных переменных энерго- и ресурсозатрат





Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

Методы информационных систем для цифрового земледелия на базе информационных технологий и интеллектуальных прогнозирующих моделей

**Е.М. Максимов, Н.Е. Максимова, Д.М. Дончан, Д.С.Кузнецов,
Э.А. Захаров**

Системы помогают более рационально планировать использование земель, расходовать удобрения и горючее, что снижает себестоимость производимой продукции и повышает эффективность сельскохозяйственного производства.

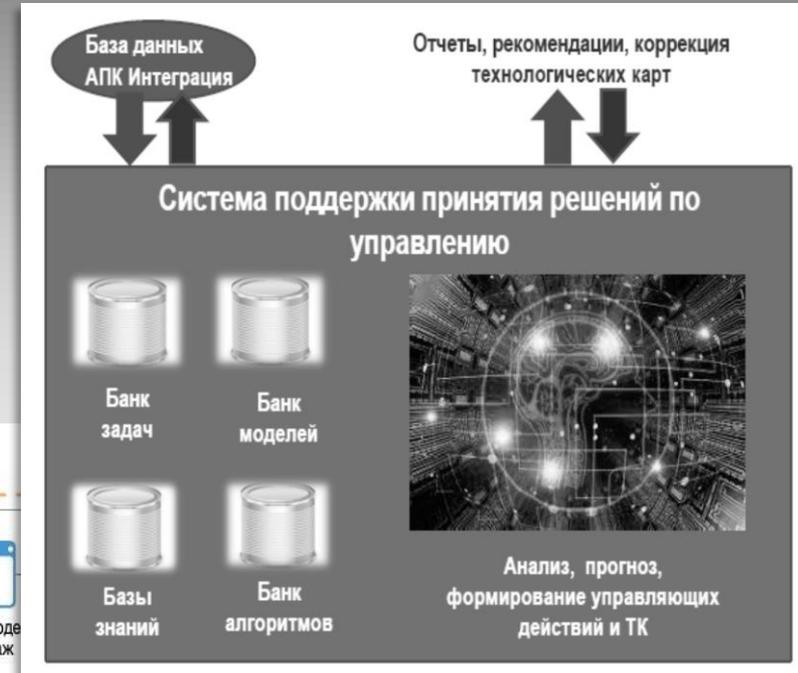
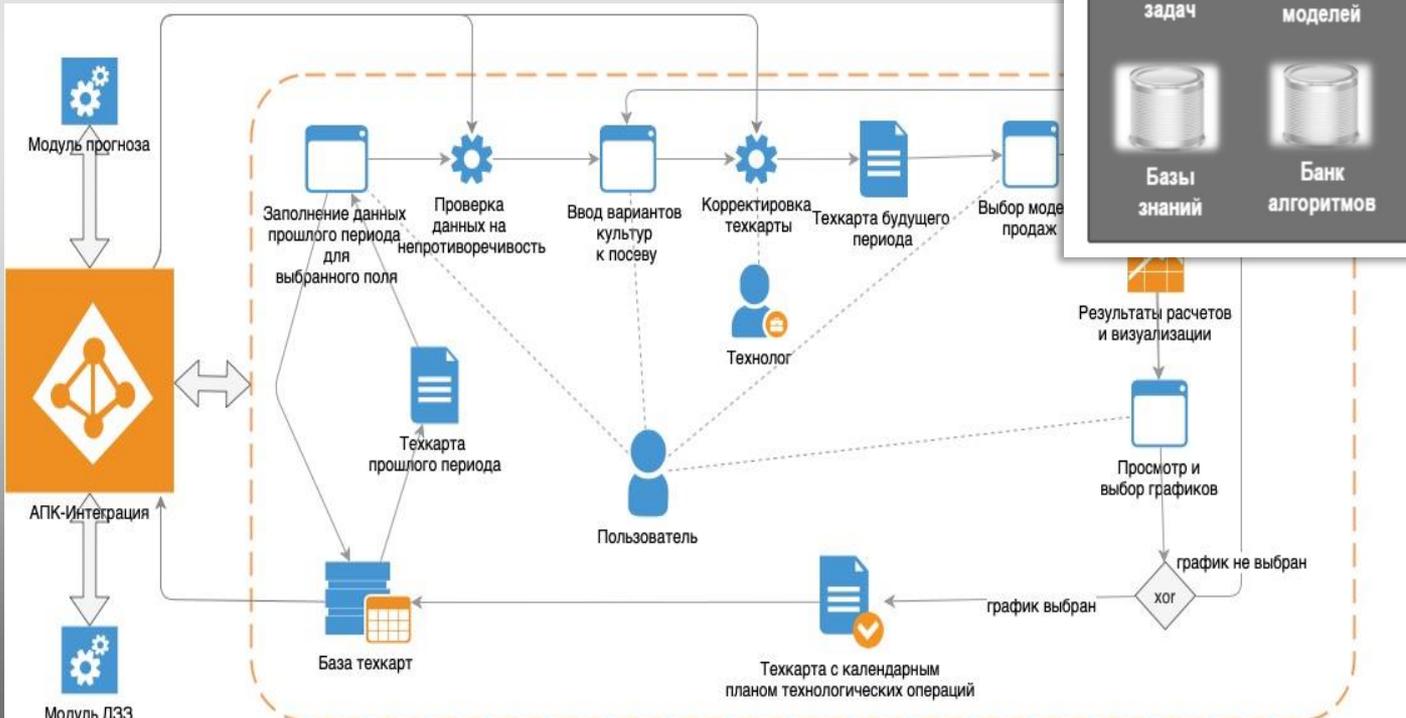
Долгосрочный агрономический и экологический эффект - за счет более бережной обработки почвы и уменьшения применения азотных удобрений.



Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

Архитектура Системы интеллектуального менеджмента для цифрового земледелия

Д.С.Кузнецов

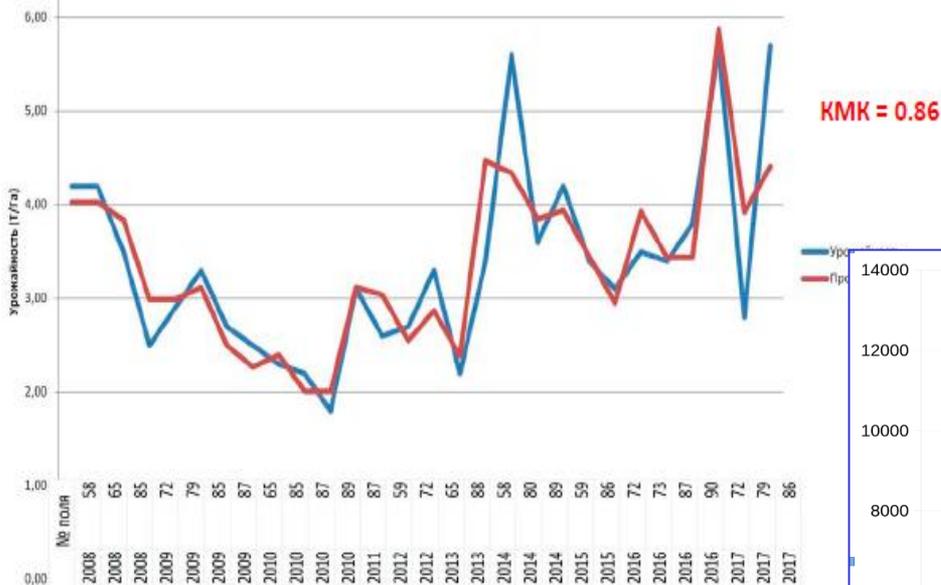




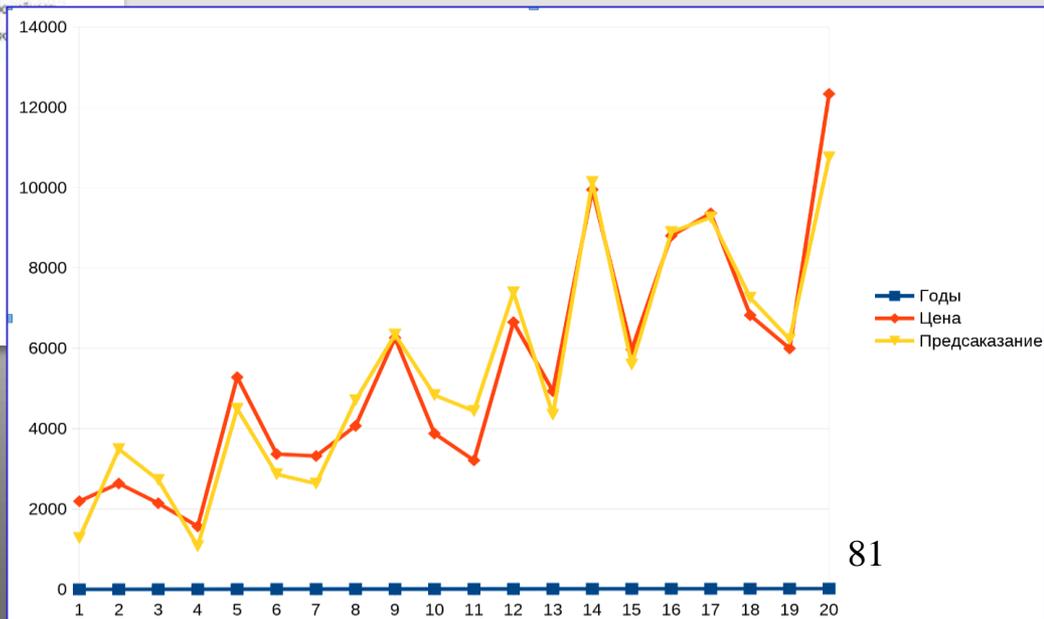
Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

Прогнозирующие модели влияния различных факторов на урожайность основных зерновых культур

Динамика точности прогноза урожайности пшеницы на опытных полях Адыгейского НИИСХ с 2008 по 2017 гг.



Прогнозирующие модели локальных цен на сельскохозяйственную продукцию

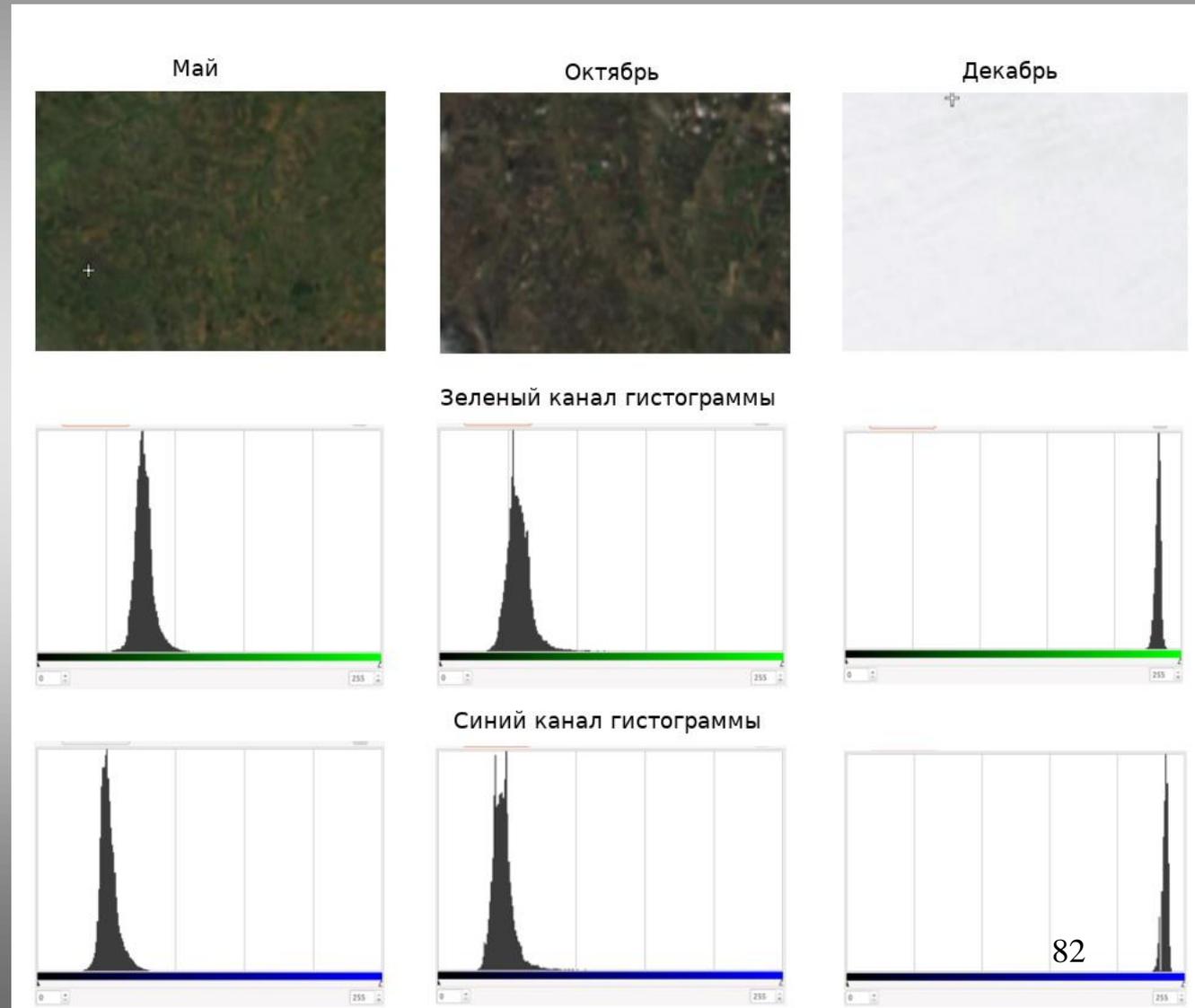




Интеллектуальные алгоритмы идентификации: приложения

Модели
определения
периода вегетации
по многолетним
хронологическим
данным
дистанционного
зондирования
Земли

Э.А. Захаров





- Ежегодная международная конференция «Системная идентификация и проблемы управления» - **SICPRO**, ставшая главным форумом исследователей в нашей стране и ближнем зарубежье.
- Всероссийская научно-практическая конференция & выставка «Современные методы и средства автоматизации и управления производством и перспективы их развития» Москва, **AITA' 2016**
- **ВСПУ'2014, ВСПУ'2018**. Секции: «Идентификация систем», «Управление технологическими процессами»



IFAC

13-й симпозиум **IFAC** по проблемам информационного управления на производстве - «**INCOM '09**» (Москва, 2009 г.)

MIM '2013 - Конференция IFAC по производственному моделированию, управлению и контролю (Санкт-Петербург, 2013)





- **SYSTEM IDENTIFICATION for MANUFACTURING CONTROL APPLICATIONS** – секции на конференциях и конгрессах **IFAC** – «Идентификация систем для управления в промышленности»



- **IDENTIFICATION 2.0 AND MODELING FOR INDUSTRY KES'2017, Марсель WoS**
24th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems



Лаборатория 41 – организатор научных мероприятий:

 **ifip**
APMS conference

Sun. September 5, 2021 - Thu. September 9, 2021
Nantes, France, Online

APMS 2021 CONFERENCE

Advances in Production Management Systems

APMS 2021 Conference

Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems

Nantes, France (Online) | Sun. September 5, 2021 - Thu. September 9, 2021

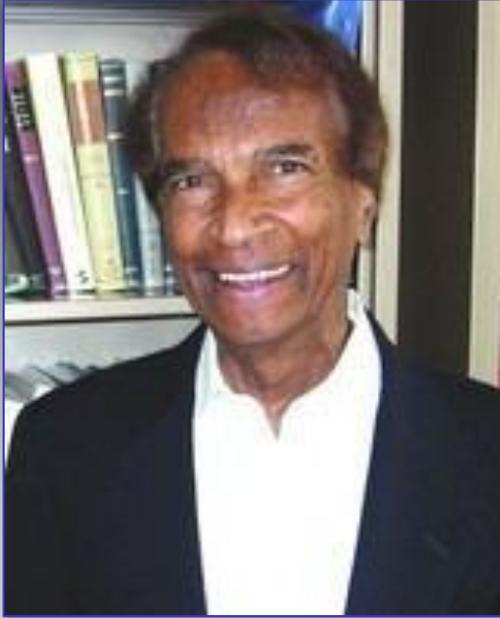
 **IMT Atlantique**
Bretagne - Pays de la Loire
Ecole Mines-Télécom

 **LS2N** LABORATOIRE
DES SCIENCES
DU NUMÉRIQUE
DE NANTES

 **VILLE DE
Nantes**

 **ifip**

 **Springer**



N. S. RAJBMAN: A MEMORIAL

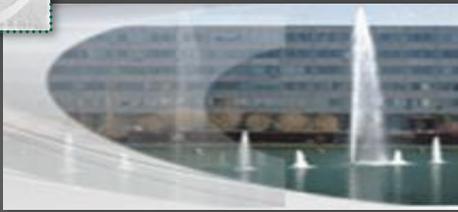
A. V. Balakrishnan

Department of System Science, School of Engineering, UCLA, Los Angeles, CA 90024, USA

I shall always cherish his memory, and feel rich for having known him. I can best sum up by paraphrasing Nabokov's words on Chekov's heroes: "the mere fact of such men, full of such fervor, fire of abnegation, pureness of spirit, moral elevation, this mere fact of such men having lived ... is a promise of better things to come for the world at large."



«Я всегда буду хранить память о нем и буду чувствовать себя обогащенным, узнав его. Лучше всего я могу подвести итог, перефразируя **слова Набокова о героях Чехова:**



«Сам факт наличия таких людей, полных такого рвения, огня отречения, чистоты духа, моральной возвышенности, этот простой факт - того, что такие люди жили, - обещание лучшего будущего для мира в целом».

Спасибо за внимание!

Спасибо за внимание!