

Краткий обзор и общий анализ отечественных и зарубежных публикаций по проблеме структурной идентификации

*К.С. Гинсберг,
с.н.с., к.т.н., доц., ginsberg@mail.ru,
ИПУ РАН, г. Москва*

Представлены обзор и общий анализ научных исследований по проблеме структурной идентификации реальных объектов.

The review and the general analysis of scientific researches on the problem of structure identification of real objects are presented.

Введение

В докладе приведена подробная библиография отечественных и зарубежных публикаций по проблеме структурной идентификации. Анализ содержания публикаций показывает, что они в основном представляют традиционное направление исследований по указанной проблеме. Исследования в этом направлении начинаются в конце 30-х годов XX века, особенно интенсивно ведутся в 70-80-е годы и продолжают до настоящего времени.

Как это следует из анализа публикаций, в традиционном направлении, в основном, обсуждаются проблемы разработки математических методов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур. Его концептуальным обоснованием является неявно принимаемое допущение о высоких идентификационных возможностях разработчиков новой техники. Согласно этому допущению, разработчики в состоянии самостоятельно и удовлетворительно решать трудные практические проблемы выбора типа математической модели, если в их распоряжении имеются математические методы выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур технического объекта. Почти полувековой опыт идентификации промышленных объектов свидетельствует в пользу гипотезы, что использование этих математических методов не уменьшает интеллектуальную трудность процесса структурной идентификации.

Традиционное направление сформировалось под влиянием общего подхода к проблеме структурной идентификации, который нацеливает исследователей на рассмотрение этой проблемы только в общем и целом. В результате в подавляющем числе исследований, на основе которых в настоящее время формируется дисциплинарный образ структурной идентификации, содержатся в основном только математические идеи и методы без анализа способов их практического применения и детального численного исследования. Несмотря на указанные недостатки, формирование традиционного направления является значимым событием в научном развитии представлений об идентификации систем. Впервые в истории развития экспериментальных методов возникает научное направление, которое полностью нацелено на решение проблемы поиска рационально обоснованного множества математических моделей, которому принадлежит приемлемая модель реального объекта.

Обсуждаются различные аспекты традиционного направления и условия возникновения нового направления исследований в начале XXI века.

1. Краткий обзор и общий анализ

Сейчас трудно установить конкретное время первой публикации по проблеме структурной идентификации реальных объектов. Известно только, что в период с 1937 по 1969 гг. опубликованы книги [1-4], которые содержат разделы, посвященные данной проблеме. В период с 1966 по 1968 гг. появляются обзоры [5-7], в которых имеются ссылки на работы по этой проблеме.

Однако широкое исследование указанной проблемы начинается только в рамках научной дисциплины «идентификация систем». В 70-х гг. XX века разделы, посвященные проблеме структурной идентификации, имеются уже в 10 книгах [8-17] и 8 обзорах [18-25].

Особенно активно разработка методов выбора ведется в 80-е годы XX века. Проведенные в этот период исследования изложены в 25 книгах [26-50] и 16 обзорах [51-66].

Начиная с 90-х гг. XX века, интенсивность публикаций по данной проблеме заметно снижается. Известно, что с 1990 по 2011 гг. опубликованы 5 книг [67-71] и 9 обзоров [72-80].

Анализ содержания этих публикаций, которые в основном представляют традиционное направление исследований, показывает, что в их составе практически полностью отсутствуют детальные численные исследования конкретных алгоритмов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур.

Данный факт может быть объяснен наличием существенных проблем, возникающих при постановке цели численного исследования, определении условий и требований решаемой вычислительной задачи, создании прикладной интерпретации результатов численного исследования. Представляется, что указанные проблемы возникают из-за того, что в традиционном содержании научных исследований по структурной идентификации практически полностью отсутствуют конкретные представления об условиях практического применения методов выбора, на основе которых можно разработать постановку задачи численного исследования и осуществить прикладную интерпретацию полученных численных результатов. Полагается, что включение указанных конкретных представлений в содержание научных работ позволит существенно уменьшить трудности процесса организации численных исследований.

В настоящее время в традиционном направлении имеется большое число обзоров, в которых приведено описание существующих подходов к созданию методов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры. На основе этих обзоров можно сделать вывод, что одним из направлений научных исследований является поиск теорети-

ческого показателя, наиболее полно характеризующего функциональное подобие между моделируемым техническим объектом и построенной математической моделью этого объекта.

Обзор предложенных теоретических показателей, на основе которых, в идеале, должен формироваться метод выбора наиболее предпочтительной модельной структуры при построении регрессионной модели технического объекта, приведен в работе [57].

Относительно предложенных теоретических показателей в этой работе отмечается: «Хотя критерии (показатели качества построенной математической модели.– К.Г.) типа (31) и (32) весьма привлекательны, в смысле полноты отражения качества конструируемого ОПВР (оператора прогнозирования выходной реакции объекта управления.– К.Г.), возможности их непосредственного применения ограничены тем, что для их вычисления требуется задание неизвестных характеристик объекта и характеристик ненаблюдаемых возмущений. Известен ряд подходов, направленных на обход указанных трудностей» [57, с. 17].

Все известные в настоящее время подходы, направленные на обход указанных И.И. Перельманом трудностей, по сути дела, предлагают одно и то же: заменить непосредственно не вычисляемый теоретический показатель функционального подобия его эмпирической оценкой. Эта оценка в настоящей работе интерпретируется как эмпирический показатель функционального подобия между моделируемым техническим объектом и построенной математической моделью этого объекта. Различие в подходах состоит только в том, как конструируется эмпирическая оценка.

Например, в методе Маллоуса [81] наиболее предпочтительная модельная структура находится на основе минимизации эмпирической оценки, которая является несмещенной оценкой определенного теоретического показателя. В методе Вапника [37] эта модельная структура определяется на основе минимизации эмпирической оценки, которая является правым концом доверительного интервала другого теоретического показателя.

Эмпирическая оценка теоретического показателя традиционно конструируется таким образом, чтобы каждое ее значение зависело от определенной модельной структуры, которая может быть используется при построении математической модели технического объекта. Поэтому наиболее предпочтительная модельная структура находится путем минимизации или максимизации эмпирической оценки как ее определенная точка экстремума.

На основе идеи перехода от непосредственно не вычисляемого теоретического показателя к его эмпирической оценке разработано большое число методов выбора. Если еще учесть методы, созданные на основе применения процедур проверки гипотез, идеи перепроверки, то можно представить, какое число методов выбора накоплено в научных исследованиях по структурной идентификации. К сожалению, относительно свойств разработанных методов в реальных и модельных ситуациях мало что известно из-за практически полного отсутствия аналитических и численных исследований, созданных на основе этих методов конкретных алгоритмов выбора.

Более того, в настоящее время отсутствует общепризнанный теоретический показатель, характеризующий качество конкретного алгоритма выбора в рамках текущей итерации рациональной структурной идентификации, с помощью которого можно сравнить разработанные алгоритмы и выбрать наилучший. Только сравнительно недавно была выдвинута идея, как можно определить данный теоретический показатель [82]. В работе [83] предложены оригинальные подходы и методы, которые могут быть положены в основу информационной поддержки деятельности коллектива разработчиков по построению и анализу модельных структур в составе рабочих гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта.

Нетрадиционное направление исследований по проблеме структурной идентификации возникает в начале XXI века. Его формирование связано, в первую очередь, с отказом от общего подхода к указанной проблеме и переходу к новому, более конкретному подходу. Его ключевые идеи:

- перейти от исследований структурной идентификации, в общем и целом, к исследованию различных видов этой идентификации, возникающих в современной инженерной практике;
- формировать содержание конкретного вида структурной идентификации на основе учета особенностей порождающей этот вид инженерной практики и применения научных конкретизаций и детализаций общих положений системного, функционального, статистического и когнитивного подходов;
- основывать разработку методов автоматизации функций структурной идентификации, в первую очередь, на использовании языка и математического аппарата статистического подхода.

Истоком нетрадиционного направления исследований в области структурной идентификации, несомненно, являются работы [10, 60, 67, 77, 84-86]. Однако эти работы в совокупности создают только интеллектуальные основания для начала междисциплинарных прикладных исследований проблемы рациональной организации структурных идентификаций в составе современной инженерной практики.

Проведенные к настоящему времени исследования в нетрадиционном направлении в основном посвящены изучению проблемы структурной идентификации в рамках современной инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности. Особенности этой инженерной практики предлагается учесть при организации структурной идентификации путем придания ей следующих свойств:

- 1) субъектом структурной идентификации должен быть коллектив разработчиков САУ, который осуществляет практическое познание технического объекта как объекта управления, нацелен на построение его адекватной модельной структуры и мотивирован на создание реальной САУ с требуемыми свойствами;
- 2) структурная идентификация должна являться обязательной компонентой инженерной практики создания реальной САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности;
- 3) структурную идентификацию нельзя вычленивать из инженерной практики создания реальной САУ с требуемыми свойствами и рассматривать независимо и автономно от других процессов этой практики, не потеряв при этом существенных для ее функционирования связей.

Под априорной структурной неопределенностью в знании коллектива разработчиков о техническом объекте понимается:

- 1) отсутствие у разработчиков в момент принятия решения о начале процесса автоматизации объекта достоверного знания об адекватной модельной структуре технического объекта;
- 2) наличие у разработчиков убеждения, что достоверное знание об адекватной модельной структуре технического объекта нельзя получить только на основе открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей.

Основные результаты в нетрадиционном направлении получены в работах [82, 87-91], в которых:

- проведено численное исследование и анализ двух традиционных алгоритмов выбора порядка полиномиального описания технического объекта [82];
- разработаны основные понятия и представления научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами [82, 87-91].

Приведём некоторые содержательные результаты численного исследования и анализа традиционных алгоритмов выбора порядка.

1) Из работы [82] следует, что традиционные алгоритмы выбора порядка не являются математически обоснованными с точки зрения среднего квадрата ошибки оценивания выходной переменной объекта управления.

Содержательно это означает, что автоматическое применение традиционных алгоритмов выбора порядка при наличии слабой модельной изученности объекта управления может привести к выбору математической модели, которая с точки зрения среднего квадрата ошибки оценивания будет хуже, чем имеющаяся до выбора математическая модель объекта.

Интуитивно это было ясно и до результатов работы [82]. Более того, подобные суждения делались и в других работах (например, в книге [27]), но эти суждения не имели математического или численного обоснования.

2) Из работы [82] следует, что традиционные алгоритмы выбора порядка не являются наилучшими в классе алгоритмов, который можно создать путем их параметризации.

В работе [82] параметризация традиционного алгоритма Маллоуса осуществляется путём введения в алгоритм нового параметра, значение которого задает непосредственно исследователь. Параметризация алгоритма Вапника осуществляется путём отказа от вероятностной интерпретации параметра η как уровня надежности минимизации риска по эмпирическим данным. Из численных экспериментов следует, что традиционные алгоритмы где-то выбирают порядок лучше, а где-то хуже, чем другие алгоритмы из созданного на их основе параметрического класса алгоритмов, если оценивать качество полученных математических моделей по критерию среднего квадрата ошибки оценивания.

Поэтому нельзя полагать, что только традиционные алгоритмы выбора порядка должны использоваться в инженерной практике.

3) В работе [82] предлагается итерационная процедура выбора пробного порядка, включающая для каждой итерации: а) семейство алгоритмов выбора порядка, параметризованное скалярным параметром; б) алгоритм оптимизации, позволяющий оперативно определять оптимальное значение скалярного параметра путем решения определенным образом сформулированной минимаксной задачи статистического синтеза оптимального алгоритма выбора порядка.

Итерационная процедура выбора пробного порядка рассматривается как неотъемлемую часть поиска адекватной (требованиям технического задания) процедуры решения проблемы проектирования САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности. Для того, чтобы указанную итерационную процедуру можно было использовать в инженерной практике необходимо в рамках теории структурной идентификации создать различные формулировки минимаксных задач статистического синтеза и разработать методы приближенного решения этих задач.

Для случая, когда априори задано семейство алгоритмов выбора порядка, параметризованное скалярным параметром, указанные минимаксные задачи могут быть использованы для отыскания наилучшего в заданном семействе алгоритма выбора порядка. Для этого случая необходимо разработать алгоритмы оптимизации, позволяющие оперативно определять оптимальное значение скалярного параметра.

Для вышеизложенного подхода, в первую очередь, важно правильно выбрать экстремизируемый показатель качества алгоритма выбора порядка.

4) В работе [82] впервые введен новый показатель качества алгоритма выбора порядка. Этот показатель назван эффективностью алгоритма выбора порядка. Он характеризует способность алгоритма осуществлять выбор порядка аналогично теоретически возможному, но физически нереализуемому алгоритму «идеального» выбора порядка, который способен оптимально выбрать порядок, но при условии наличия знания о коэффициентах адекватной математической модели объекта управления.

Заключение

Возникновение традиционного направления в основном вызвано необходимостью обеспечить исследования в науке методами и средствами определения типа математической модели реального объекта. Возникновение нетрадиционного направления вызвано необходимостью обеспечить современную инженерную практику проектирования САУ с требуемыми свойствами методами и средствами отыскания адекватной математической модели технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности. Представляется, что и в дальнейшем актуальные проблемы науки и инженерной практики будут стимулировать развитие научных исследований по проблеме структурной идентификации.

Литература

1. Snedecor G.W. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. Ames: Iowa State College Press, 1937.
2. Williams E.J. Regression Analysis. News York: John Wiley and Sons, 1959.
3. Plackett R.L. Principles of regression analysis. New York: Oxford University Press, 1960.
4. Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М.: Сельхозгиз, 1961. 503 с.
5. Маслов Е.П., Оссовский Л.М. Самонастраивающиеся системы управления с моделью // АиТ. 1966. № 6. С. 204-224.
6. Райбман Н.С., Ханш О.Ф. Дисперсионные методы идентификации многомерных нелинейных объектов управления // АиТ. 1967. № 5. С. 5-28.
7. Александров Н.М., Дейч А.М. Методы определения динамических характеристик нелинейных объектов // АиТ. 1968. № 1. С. 167-188.

8. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. думка, 1982. 296 с.
9. Бокс Дж., Дженкис Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М.: Мир, 1974. 408 с.
10. Райбман Н.С. и Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия, 1975. 336 с.
11. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 685 с.
12. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев: Техніка, 1975. 312 с.
13. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 757 с.
14. Кендалл М.Дж., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды М.: Наука, 1976. 736 с.
15. Хартман К., Лецкий Э.И., Шеффер В. Планирование эксперимента в исследовании процессов. М.: Мир, 1977. 552 с.
16. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979. 448 с.
17. Виленкин С.Я. Статистическая обработка результатов исследования случайных функций. М.: Энергия, 1979. 320 с.
18. Astrom K.J., Eykhoff P. System identification // Preprints of the 2nd Prague IFAC Symposium "Identification and Process Parameter Estimation". Prague, Czechoslovakia, 1970. Prague: Czechoslovak Academy of Sciences, 1970. Part 1. Survey paper. 01. P. 1-38.
19. Astrom K.J., Eykhoff P. System identification – A Survey // Automatica. 1971. Vol. 7. No. 2. P. 123-162.
20. Поулис М.П., Гудсон Р.Е. Идентификация параметров систем с распределенными параметрами // ТИИЭР. 1976. Т. 64. № 1. С. 56-80.
21. Box G.E.P. Science and Statistics // J. American Statistical Association. 1976. Vol. 71. No. 356. P. 791-799.
22. Hocking R.R. Developments in linear regression methodology: 1959-1982 // Technometrics. 1983. Vol. 25. No. 3. P. 219-230.
23. Райбман Н.С. Идентификация объектов управления (обзор) // АиТ. 1976. № 6. С. 60-93.
24. Малолеткин Г.Н., Мельников Н.Н., Ланин В.М. Об алгоритмах выбора наилучшего подмножества признаков в регрессионном анализе // Вопросы кибернетики. Теоретические проблемы планирования эксперимента (отсеивающие эксперименты). Вып. 35. М.: Советское радио, 1977. С. 110-144.
25. Налимов В.В., Голикова Т.И. Теория планирования эксперимента: достигнутое и ожидаемое // Заводская лаборатория. 1977. Т. 43. № 10. С. 1247-1253.
26. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. М.: Наука, 1980. 400 с.
27. Себер Д. Линейный регрессионный анализ. М.: Мир, 1980. 456 с.
28. Дисперсионная идентификация /Под ред. Н.С. Райбмана. М.: Наука, 1981. 336 с.
29. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.
30. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982, 488 с.
31. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. думка, 1982. 296 с.
32. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия: В 2-х вып. Вып. 1. М.: Финансы и статистика, 1982. 317 с.
33. Перельман И.И. Оперативная идентификация объектов управления. М.: Энергоиздат, 1982. 272 с.
34. Капустинский А., Немура А. Идентификация линейных случайных процессов. Вильнюс: Мокслас, 1983. 160 с.
35. Кашьяп Р.Л., Рао А.Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М.: Наука, 1983. 383 с.
36. Типовые линейные модели объектов управления / Под ред. Н.С. Райбмана. М.: Энергоатомиздат, 1983. 264 с.
37. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под ред. В.Н. Вапника. М.: Наука, 1984. 816 с.
38. Коненко И.В., Сиренко А.Н. Методы выбора структуры математической модели. Харьков: Харьк. политехн. ин-т, 1984. 64 с.
39. Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. История, теория, практика. Л.: Наука. 1984. 190 с.
40. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйкхоффа. М.: Мир, 1984. 400 с.
41. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.
42. Статистические методы для ЭВМ / Под ред. К. Энслейна, Э Рэлстона, Г.С. Уилфа. М.: Наука, 1986. 464 с.
43. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1987. 239 с.
44. Промысловая геофизика при ускоренной разведке газовых месторождений. М.: Недра, 1987. 246 с.
45. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 2. М.: Финансы статистика, 1988. 352 с.
46. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.
47. Мэйндроналд Дж. Вычислительные алгоритмы в прикладной статистике. М.: Финансы и статистика, 1988. 350 с.
48. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в эконометрическом моделировании. М.: Финансы и статистика, 1989. 175 с.
49. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
50. Хампель Ф., Рончетти Э., Рауссеу П., Штаэль В. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния. М.: Мир, 1989. 512 с.
51. Astrom K.J. Maximum Likelihood and Prediction Error Methods // Automatica. 1980. Vol. 16. No. 5. P. 551-574.
52. Fasel K.H., Jörgl H.P. Principles of Model Building and Identification // Automatica. 1980. Vol. 16. No. 5. P. 505-518.
53. Isermann R. Practical Aspects of Process Identification // Automatica. 1980. Vol. 16. No. 5. P. 575-587.
54. Ломов Б.Ф. Математика и психология в изучении процессов принятия решений // Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. М.: Наука, 1981. С. 5-21.
55. Козубовский С.Ф., Юрачковский Ю.П. Информационные критерии селекции моделей // Автоматика. 1981. № 4. С. 80-89.
56. Райбман Н.С., Богданов В.О., Кнеллер Д.В. Идентификация систем с распределенными параметрами // АиТ. 1982. № 6. С. 5-36.
57. Перельман И.И. Методология выбора структуры модели при идентификации объектов управления // АиТ. 1983. № 11. С. 5-29.
58. Hocking R.R. Developments in linear regression methodology: 1959-1982 // Technometrics. 1983. Vol. 25. No. 3. P. 219-230.

59. Бокс Дж.Е.П. Устойчивость в стратегии построения научных моделей // Устойчивые статистические методы оценки данных. М.: Машиностроение, 1984. С. 164-188.
60. Eykhoff P. Identification Theory: Practical Implications and Limitations // Proceeding of the 4th IMEKO Symposium on Measurement and Estimation. Bressanone (Brixen). Italy. May 8-12, 1984. P. VI-XVI.
61. Айвазян С.А. Устойчивые статистические выводы в регрессионном анализе // Statistics. 1985. Vol. 16. No.4. P. 607-620.
62. Степашко В.С., Кочерга Ю.А. Методы и критерии решения задач структурной идентификации // Автоматика. 1985. № 5. С. 29-37.
63. Степашко В.С., Юрачковский Ю.П. Современное состояние теории метода группового учета аргументов // Автоматика. 1986. № 4. С. 36-44.
64. Перельман И.И. Планирование эксперимента в задачах построения моделей объектов управления // АиТ. 1987. № 9. С. 3-25.
65. Эйкгофф П. Оценка параметров и структурная идентификация // Автоматика. 1987. № 6. С. 21-38.
66. Конева Е.С. Выбор модели для реальных временных рядов // АиТ. 1988. № 6. С. 3-18.
67. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. 432 с. (Ljung L. System Identification: Theory the User. – New Jersey: Prentice Hall, 1987. 519 p.).
68. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005, 320 с.
69. Канивец К.И., Михайлов А.А. Теория систем и системный анализ в экономике. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск.: ЮРГТУ, 2007. 137 с.
70. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация: Анализ информационных структур. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 176 с.
71. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация статических объектов: Поля, структуры, методы. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 152 с.
72. Haber R., Unbehaven H. Structure Identification of Nonlinear Dynamic System – A Survey on Input/Output Approaches // Automatica. 1990. Vol. 26. No. 4. P. 651-677.
73. Лотоцкий В.А. Идентификация структур и параметров систем управления // Измерение, контроль, автоматизация. 1991. № 3-4. С. 30-39.
74. Перельман И.И. Анализ современных методов адаптивного управления с позиций приложения и автоматизации технологических процессов // АиТ. 1991. № 7. С. 3-32.
75. Перельман И.И. Прогнозаторы выходной реакции объекта (ПВРО). II. Конструирование ПВРО при неполной априорной информации об объекте. // АиТ. 1995. № 12. С. 3-15.
76. Прангишвили И.В., Лотоцкий В.А., Гинсберг К.С. Международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO'2000) // Вестник РФФИ. 2001. №3. С. 44-57.
77. Прангишвили И.В., Лотоцкий В.А., Гинсберг К.С., Смолянинов В.В. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным методологиям // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 2-15.
78. Ljung L. Perspectives on System Identification // Plenary Papers, Milestone Reports & Selected Survey Papers of 17th IFAC World Congress. Seoul, Korea. July 2008. P. 47-59.
79. Гинсберг К.С. Идентификационный подход: понятия и основные результаты [Электронный ресурс] // Труды VIII Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'09. Москва, 26 - 30 января 2009 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2009. 1 CD-ROM. С. 191-225.
80. Гинсберг К.С. Идентификационный подход: трудные проблемы [Электронный ресурс] // Труды VIII Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'09. Москва 26 - 30 января 2009 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2009. 1 CD-ROM. С. 226-252.
81. Mallows C.L. Some comments of C_p // Technometrics. 1973. Vol. 15. No. 4. P. 661-675.
82. Гинсберг К.С. Проблема структурной идентификации для цели проектирования системы автоматического управления [Электронный ресурс] // Труды X Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '15. Москва 26-29 января 2015. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2015. 1 CD-ROM. С. 43-80.
83. Карабутов Н.Н. Структуры в задачах идентификации: Построение и анализ. М.: Ленанд, 2018. 312 с.
84. Основы управления технологическими процессами / под ред. Н.С. Райбмана. М.: Наука, 1978. 440 с.
85. Ginsberg K.S. System Laws and Identification Theory // Automation and Remote Control. 2002. Vol. 63. No. 5. P. 838-849.
86. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А.С. Клюев, С.И. Лейкин, В.К. Ярыгин. М.: Энергоатомиздат, 1984. 272 с.
87. Салихов З.Г., Гинсберг К.С. Исследование эволюции в области идентификации математических моделей металлургических процессов при создании реальных систем автоматического управления // Цветные металлы. 2016. № 11. С. 105-112. DOI: 10.17580/tsm.2016.11.11.
88. Гинсберг К.С. К проблеме разработки методологии структурной идентификации для проектирования систем автоматического управления // Информационные технологии и вычислительные системы. 2016. № 4. С. 44-52.
89. Генкин А.Л., Гинсберг К.С. К проблеме структурной идентификации для цели создания реальной системы автоматического управления с требуемыми свойствами // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. № 6 (81). С. 19-24. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-6-81-2.
90. Гинсберг К.С. Актуальные проблемы разработки научной методологии структурной идентификации и ее математического обеспечения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 4. С. 43-52.
91. Гинсберг К.С., Генкин А.Л. К основам научной методологии структурной идентификации для цели создания реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами // Вестник Череповецкого государственного университета. 2018. № 3 (84). С. 24-30. DOI: 10.23859/1994-0637-2018-3-84-3.