

ОТЗЫВ

официального оппонента Матвеева Михаила Григорьевича на диссертационную работу Щербакова Артема Петровича на тему «Разработка методов и алгоритмов рекуррентной идентификации иерархических окрестностных моделей», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертации.

Исследования в области моделирования технологических процессов с использованием окрестностных систем представляют большой интерес. Окрестностные модели позволяют осуществлять адекватную математическую формализацию сложных многоэтапных технологических схем с помощью орграфов с наборами переменных и операторов в вершинах или дугах. Актуальными являются как теоретические исследования в данной области, направленные на разработку новых классов окрестностных моделей и новых методов их идентификации, так и апробация полученных результатов на практике.

Диссертация А.П. Щербакова посвящена разработке и применению иерархических окрестностных моделей нового класса, отличающихся тем, что их окрестностная структура является ориентированным деревом с двусторонними или односторонними связями (дугами). Актуальность темы исследования достаточно подробно обоснована автором во введении. Отмечается, что уже в первых работах, посвященных окрестностным моделям, они применялись не только для математической формализации технологических процессов, но и рассматривались как средство интерпретации и анализа вычислительных алгоритмов и математических методов. В частности, известны работы, в которых с помощью окрестностных моделей описывались методы сеток и конечных элементов, нейронные сети, сети Петри и конечные автоматы. Данная работа в своей теоретической части посвящена дальнейшему применению теории окрестностных систем в рамках «алгоритмического» направления – разработке методов и алгоритмов рекуррентной идентификации иерархических окрестностных моделей, имеющих древовидную окрестностную структуру.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В первой главе автор дает обзор различных видов линейных и нелинейных окрестностных моделей, в том числе описанных в литературе классов окрестностных моделей иерархического типа. Подчеркивается наличие двух основных направления применения окрестностных систем – в качестве средства описания производственных процессов и в качестве интерпретации и анализа известных вычислительных моделей и алгоритмов. Ставится задача разработки нового класса иерархических окрестностных

моделей, имеющих древовидную окрестностную структуру, и алгоритмов иерархической идентификации таких окрестностных моделей.

Во второй главе автор определяет иерархические окрестностные модели с окрестностной структурой в виде ориентированного дерева с двусторонними (восходящими и нисходящими) дугами или дугами только одного типа. Описываются иерархические кластеризации и иерархические разбиения множества данных, определяются связанные с кластеризациями и разбиениями иерархические окрестностные структуры. Приводится интерпретация известного алгоритма решающих деревьев (CART) как процесса идентификации и последующего применения иерархической окрестностной модели с нисходящими связями.

В третьей главе описываются разработанные автором статический и динамический алгоритмы рекуррентной идентификации иерархических окрестностных моделей (R-алгоритм и L-алгоритм). Оба алгоритма представляют собой схему последовательного «разветвляющегося» уточнения некоторой начальной аналитической модели на основании анализа невязок моделей предыдущего уровня. При этом окончательный результат интерпретируется автором как иерархическая окрестностная модель с восходящими дугами. Окрестностная структура иерархической модели (дерево модели) в статическом R-алгоритме известна заранее и соответствует заданной иерархической кластеризации (или разбиению) множества обучающих данных. В динамическом L-алгоритме окрестностная структура заранее не известна и определяется в процессе идентификации одновременно с построением иерархического разбиения множества обучающих данных. Термины R-алгоритм и L-алгоритм указывают на сходство соответствующих конструкций с конструкциями интегралов Римана и Лебега. Особенно следует отметить L-алгоритм и его модификацию – L-алгоритм с трихотомией невязок. При этом, как следует из дальнейшего, L-алгоритм наиболее эффективен в рассматриваемых приложениях.

Предлагается метод контроля момента остановки рекуррентных алгоритмов при достижении соответствия точности и качества прогноза модели. Данный метод предполагает анализ коррелограмм АКФ остатков построенной иерархической модели для данного уровня иерархии. Упорядочивание остатков (необходимое для построения коррелограмм) на всех уровнях соответствует упорядочиванию по возрастанию (или убыванию) значений исходной выходной переменной. Близость АКФ таких остатков к АКФ белого шума является индикатором остановки алгоритма на данном уровне иерархии.

В четвёртой главе рассматриваются примеры построения иерархических моделей с помощью R- и L-алгоритмов, а также применение алгоритмов к задачам построения иерархических окрестностных моделей прогнозирования модульных характеристик клинкера после обжига и прогнозирования температурных режимов стадии диффузии производства сахара.

Научные положения и выводы диссертации считаю обоснованными,

так как автор квалифицированно использовал математический аппарат, качественно провел вычисления на множестве сгенерированных случайных данных и в реальных производственных задачах, представил результаты, подтверждающие обоснованность применения разработанных моделей, методов и алгоритмов.

Достоверность и научная новизна результатов.

В диссертации А.П. Щербакова представлены результаты, обладающие научной новизной, имеющие практическую значимость:

1. Введен класс окрестностных моделей, отличающийся иерархической структурой с двусторонними связями и возможностью добавления новых узлов, что позволяет расширить возможности применения окрестностных систем в задачах моделирования производственных процессов и задачах описания иерархических алгоритмов.

2. Разработан алгоритм рекуррентной идентификации иерархических окрестностных моделей на основе аппроксимации невязок промежуточных моделей, отличающийся использованием заданной иерархической кластеризации обучающих входных данных и позволяющий повысить точность моделей.

3. Разработан алгоритм и численный метод рекуррентной идентификации иерархических окрестностных моделей на основе трихотомии невязок промежуточных моделей, отличающийся построением в процессе идентификации иерархического разбиения обучающих входных данных и позволяющий улучшать точность моделей и качество прогноза.

4. Предложен метод анализа остаточных данных промежуточных моделей в алгоритмах рекуррентной идентификации, отличающийся введением порядка на множестве обучающих данных и позволяющий контролировать количество уровней иерархии, необходимое для достижения соответствия между точностью и качеством прогноза иерархической модели.

5. Разработан комплекс проблемно-ориентированных программ, реализующих алгоритмы рекуррентной идентификации иерархических моделей, отличающихся наличием модуля вычисления ближайшего обучающего кортежа и позволяющих оценивать длину дерева модели.

Достоверность полученных результатов обусловлена применением в исследовании математического аппарата, корректным и достаточно строгим использованием математических методов. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на конференциях различных уровней. Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях автора, в том числе в пяти публикациях в журналах, входящих в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Теоретическая значимость.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы как теоретическая база для дальнейших исследований рекуррентных алгоритмов идентификации на основе иерархических окрестностных

структур, контроля процесса обучения соответствующих прогностических моделей, а также в образовательном процессе при изложении математического моделирования, выполнении индивидуальных заданий, написании курсовых работ и проектов, выпускных квалификационных работ.

Ценность данной работы для практики.

Ценность работы для практики состоит в возможности применения разработанных моделей, методов и алгоритмов для решения прикладных задач, в частности в диссертации они применены для решения задач прогнозирования модульных характеристик клинкера после обжига и для прогнозирования температурных режимов стадии диффузии производства сахара. Разработанные алгоритмы идентификации и построенные иерархические окрестностные модели были рекомендованы к использованию при планировании, управлении и повышении эффективности технико-экономических и производственных показателей таких предприятий, как АО «Липецкцемент» и структурное подразделение «Хмелинецкий сахарный завод» АО «Агропромышленное объединение «Аврора». Также имеется справка об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Тематика и результаты исследования соответствуют пунктам 2, 5, 8 паспорта специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Замечания по работе.

1) Из того что все вершины орграфа окрестностной структуры (глава 1, страница 19) являются узлами с петлями еще не следует (как утверждается) полносвязность орграфа. Более того, полносвязность орграфа окрестностной структуры не запрещена определением, данным в тексте.

2) В пункте 2.2.1 главы 2, страница 45: «В этом случае любая вершина, начиная с вершин уровня $k > 2$ представляется последовательностью ...». Здесь должно быть $k \geq 2$.

3) В главе 2 на странице 46: «...если таких точек несколько, то выбирается первая по порядку на D , такой порядок S предполагается заранее заданным». Здесь видимо должно быть не « S » а «на D ». Кроме того, ранее был фиксирован порядок на множестве листьев S , следовало бы пояснить, связаны ли как-либо выбранные порядки на множествах S и D .

4) В главе 3 фраза на странице 61 «Как было показано в [45], иерархическая кластеризация является выпуклой, поэтому...» не совсем точна, в [45] утверждается «если иерархическое разбиение является выпуклой иерархической кластеризацией, то...». Из определения иерархической кластеризации, данного во второй главе, не следует, что любая иерархическая кластеризация является выпуклой.

5) Параграф 4.1 перегружен информацией, следовало бы либо разбить его на несколько параграфов, либо (самое простое) структурировать его с помощью озаглавленных подпунктов, облегчая тем самым чтение текста.

