

Научно-популярная аннотация результатов проекта 19-41-730009

Модели конвективно-диффузионного переноса являются незаменимым аппаратом для описания различных техногенных и природных процессов. Уравнения данных моделей содержат параметры, которые должны быть заданы для однозначного нахождения решения краевых задач, но на практике часто возникают ситуации, когда некоторые из этих параметров неизвестны либо заданы приближенно и их требуется определить или уточнить по результатам наблюдений. Например, при решении широкого круга задач экологии, геофизики, сейсмологии и в других областях часто возникает проблема определения (идентификации) скорости конвекции или поведения искомой функции на границе рассматриваемой области в условиях невозможности их прямого измерения. Подобные задачи относятся к классу так называемых обратных задач, а особую трудность их исследования вызывает тот факт, что по своим постановкам они относятся к нелинейным и, как правило, некорректным задачам математической физики. Это обстоятельство существенно осложняет проблемы построения вычислительных алгоритмов для приближенного решения таких задач и затрудняет полное и строгое обоснование их сходимости. Другой актуальной задачей является адаптивное оценивание моделей измерительных данных в условиях априорной неопределенности и зашумленных измерений с целью математического моделирования, и прогнозирования различных техногенных и природных процессов.

В ряде работ отечественных и зарубежных авторов для решения задач параметрической идентификации моделей, описываемых уравнениями в частных производных, предложено использовать рекуррентные методы, основанные на алгоритмах оптимальной дискретной фильтрации (в основном, калмановского типа).

Такой подход обладает рядом преимуществ, в частности, для систем, работающих в реальном времени, но применение упомянутых выше методов требует проведения исследований в части устойчивости, сходимости и оценки погрешностей получаемых результатов. Следует также заметить, что численная эффективность реализации рекуррентных методов параметрической идентификации в определенных случаях может существенно зависеть от эффективности программной реализации соответствующих методов оптимальной дискретной фильтрации, поскольку недостатки классического фильтра Калмана, в частности, неустойчивость к ошибкам машинного округления, широко известны и описаны в литературе.

В связи с этим **актуальными** являются задачи разработки алгоритмов параметрической идентификации на основе численно эффективных методов оптимальной дискретной фильтрации и программного обеспечения для математического и компьютерного моделирования процессов рекуррентной параметрической идентификации для уравнений в частных производных.

Цель проекта – разработка новых численно эффективных методов параметрической идентификации и адаптивного оценивания математических и компьютерных моделей конвективно-диффузионного переноса по данным измерений в условиях априорной неопределенности с целью математического моделирования различных природных и техногенных процессов.

В проекте используется подход, основанный на переходе от исходных моделей, представленных уравнениями в частных производных к дискретным линейным стохастическим моделям в пространстве состояний, построенным при помощи конечно-разностных схем. Такой переход позволит применить современные численно эффективные алгоритмы адаптивной фильтрации и получить новые методы параметрической идентификации моделей конвективно-диффузионного переноса по доступным измерительным данным.

Результаты, полученные за период реализации проекта

1. Разработаны алгоритмы идентификации скорости конвекции и коэффициента диффузии модели конвективно-диффузионного переноса по результатам зашумленных измерений на основе численной минимизации критерия идентификации параметров дискретной линейной стохастической модели в пространстве состояний с вычислением значений критерия идентификации и его градиента с помощью стандартного фильтра Калмана.
2. Разработан численно эффективный алгоритм идентификации скорости конвекции и коэффициента диффузии модели конвективно-диффузионного переноса по результатам зашумленных измерений на основе численной минимизации критерия идентификации параметров дискретной линейной стохастической модели в пространстве состояний с вычислением значений критерия идентификации с помощью SVD-модификации фильтра Калмана.
3. Разработаны алгоритмы численной идентификации граничных условий с одновременным оцениванием решения уравнения модели конвективно-диффузионного переноса по результатам зашумленных измерений на основе алгоритма Гиллейнса – Де-Мора одновременного

оценивания вектора состояния и вектора входных воздействий дискретной линейной стохастической системы в пространстве состояний.

4. Получена квадратно-корневая модификация алгоритма Гиллейнса – Де-Мора в ковариационной форме и разработаны алгоритмы численной идентификации граничных условий на ее основе.
5. Разработан программный комплекс для моделирования процессов параметрической идентификации математических моделей конвективно-диффузионного переноса с программной реализацией разработанных алгоритмов на языке MATLAB.

Все полученные результаты являются новыми и ранее не были описаны в научной литературе. По результатам выполнения проекта были опубликованы 5 статей в рецензируемых научных журналах, в том числе, входящих в перечень ВАК и международные системы цитирования Scopus и Web of Science, получены 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Подготовлена к защите кандидатская диссертация Кувшиновой А. Н. «Параметрическая идентификация моделей конвективно-диффузионного переноса на основе рекуррентных алгоритмов дискретной фильтрации» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (https://ulsu.ru/ru/page/page_4399/).

Результаты, полученные в ходе реализации проекта, прошли апробацию на следующих научных мероприятиях:

1. VI международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2020), 26–29 мая 2020 г., Самара, Россия.
2. XXVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов», 12–21 апреля 2021 г., Ульяновск, Россия, секция «Региональная площадка «Вернадский – Ульяновская область».
3. Научно-техническая конференция «Интегрированные системы управления» на базе ФНПЦ АО «НПО «Марс», 18–19 мая 2021 г., Ульяновск, Россия.
4. Международная научная конференция «Дифференциальные уравнения, математическое моделирование и вычислительные алгоритмы», 25–29 октября 2021 г., Белгород, Россия.