

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

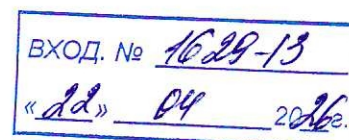
**на диссертационную работу Соколовой Александры Алексеевны  
«Математическое моделирование течений жидкости и электрохимического  
формообразования с использованием методов численной фильтрации»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ**

Диссертационная работа Соколовой А.А. посвящена повышению точности и надежности математических моделей на основе метода численной фильтрации. Исследуются задачи течения жидкости и электрохимического формообразования, для которых соискателем разработаны численно-аналитические методы, алгоритмы и комплексы программ реализации математических моделей, повышения точности и надежности получаемых на основании вычислительных экспериментов решений.

### **Актуальность темы исследования**

Совершенствование математических моделей процессов и систем на этапах их анализа, верификации и валидации, а также разработка методов, алгоритмов и комплексов программ для численной реализации моделей, повышения их точности и надежности, существенно влияющих на принятие управленческих решений – актуальные задачи в различных областях, в том числе в технике и промышленности.

Важные для развития России промышленные технологии, такие как электролиз, гальванопластика, гальваностегия, электрохимическое формообразование, связаны с расчетами электрических полей в электролитических ячейках с учетом динамики течения в них электролита, движения экранов и электрод-инструментов. Внедрение автоматизации и роботизации в процессы электрохимии диктует необходимость разработки математических и компьютерных моделей, которые требуют повышения точности расчетов, валидации, исследования динамики, выявления режимов безопасной/небезопасной эксплуатации.



Вышесказанное позволяет сделать вывод об актуальности диссертационного исследования.

### **Научная новизна основных результатов**

- В области математического моделирования: на этапах анализа и валидации математических моделей обосновано применение метода численной фильтрации для повышения точности и достоверности результатов решения (применительно к задачам о динамике солитона Стокса и электрохимического формообразования).
- В области численных методов разработаны: новые численно-аналитические методы решения задачи о солитоне Стокса с применением интеграла Шварца и краевых условий в дифференциальном виде; новые численно-аналитические методы решения плоских и осесимметричных задач электрохимического формообразования со сложными граничными условиями при немонотонной зависимости анодного потенциала от плотности тока; новые численно-аналитические методы решения нестационарных задач электрохимического формообразования для случая использования вращающегося электрод-инструмента.
- В области комплексов программ: разработаны оригинальные алгоритмы и авторские комплексы программ решения задачи о солитоне Стокса и задач нестационарного электрохимического формообразования со сложными граничными условиями, адаптированные под вычисления числами с 34-х разрядной мантисой; проведено комплексное исследование процессов электрохимического формообразования на основе результатов вычислительных экспериментов; оценена эффективность предложенных методов, алгоритмов и их численных реализаций; методом фильтрации показана возможность получения решений с увеличенной точностью без повышения разрядности вычислений.

## **Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов**

**Обоснованность** изложенных в работе результатов обеспечивается корректностью формулировок и математических постановок задач, корректным применением математического аппарата преобразований. Утверждения изложены четко и ясно.

**Достоверность** научных положений и результатов подтверждается их сравнением с результатами других авторов; согласованием вычисленных значений с экспериментальными данными; приведенными оценками погрешности на основе численной фильтрации; верификацией компьютерных моделей путем сравнения оценок, полученных разными методами.

Объективность и практическая значимость результатов подтверждена их внедрением на предприятиях ООО «СЕМАТ» (г. Москва) и ЗАО НПО «ПАРАЛЛЕЛЬ» (г. Уфа).

Результаты вычислительных экспериментов иллюстрируют и теоретические выводы, и эффективность разработанных алгоритмов. Полученные результаты диссертационного исследования апробированы на научных конференциях различного уровня и семинарах. Основные результаты опубликованы в 26 научных работах, из них 7 – в ведущих рецензируемых отечественных научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, в том числе 3 статьи – в рецензируемых изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science; получены 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

### **Общая оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа состоит из четырех глав, введения, заключения, списка литературы и приложений. Текст написан математически грамотным языком.

Во введении представлены актуальность и степень разработанности избранной темы, цели и задачи, основные положения, выносимые на защиту,

научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, степень достоверности и апробация результатов, краткая информация о публикациях, структуре и объеме работы.

В первой главе проведен обзор методов математического моделирования задач гидродинамики и электрохимического формообразования, сделан анализ численной фильтрации как инструмента исследования и валидации математических моделей.

Во второй главе содержатся результаты использования численной фильтрации для анализа моделей о солитоне Стокса. На основе двух разработанных методов решения задачи показано, что численная фильтрация на этапе постпроцессорной обработки данных вычислительного эксперимента позволяет получить достоверные оценки погрешности и повысить точность и эффективность численных алгоритмов.

В третьей главе представлены результаты моделирования и комплексного исследования процессов электрохимической обработки с помощью электрод-инструмента круглой формы. Предложены: численно-аналитический метод квазистационарной задачи, основанный на конформных отображениях и методе коллокаций; численно-аналитический метод начальной задачи в осесимметричной постановке, основанный на интегральных преобразованиях аналитической функции. Проведена оценка погрешности численного решения методом фильтрации.

В четвертой главе рассматривается нестационарная задача электрохимической обработки о прорезании пазов вращающимся электрод-инструментом, решаемая на основе метода интегральных представлений и граничных элементов. Методом фильтрации проведена валидация модели – оценена погрешности численного решения. Вычислительным экспериментом исследованы режимы использования эллипсоидального электрод-инструмента с различными соотношениями полуосей, различными значениями угловой скорости вращения, при импульсном включении напряжения на части периода вращения. Найдены ограничения для избегания короткого замыкания.

В заключении приведены результаты исследования.

Автореферат полно отражает содержание диссертации, структура автореферата соответствует требованиям.

По работе имеются **вопросы и замечания:**

1. Реализованный в работе алгоритм фильтрации использует формулу Ричардсона (1.2.2). Какое при этом выбирается значение параметра  $Q$  в этой формуле – не ясно.

2. На стр.46 диссертации сказано, численное интегрирование производится методом Гаусса. Какова степень точности использованного метода – не поясняется.

3. Для задания неравномерной системы узлов (стр. 52 диссертации)

использована формула 
$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{M + \alpha} \left[ (M - 1) \left( \frac{m}{n} \right)^{\alpha + 1} + (\alpha + 1) \frac{m}{n} \right].$$
 С чем связано использование для расчетов именно этой формулы?

4. Таблица 2.4.1 диссертации содержит сопоставление результатов вычислений и фильтраций параметров солитона Стокса – результатов работы [95] и работ соискателя. В работе [95] для фильтрации использована формула типа Эйткена с применением метода наименьших квадратов, а в работе соискателя – предложенная ей методика, на основе комбинации формул Эйткена и Ричардсона. Сравнение показывает повышение точности, достигнутое соискателем. Показательно было бы сравнить результаты, получаемые с использованием одинаковых формул фильтрации, чтобы определить отличие и степень эффективности предложенной соискателем методики.

5. На стр.58 диссертации говорится: «... фильтрация...дает возможность...существенно повысить точность и эффективность численных алгоритмов.». Использованный здесь термин «существенно» математически не корректен и нуждается в пояснении (в указании числовой границы его применимости).

6. В описании алгоритмов работы программ, не приводятся сведений об

их эффективности и ресурсозатратности.

7. Имеются некоторые синтаксические и стилистические неточности текста.

Однако указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационного исследования.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертация Соколовой А.А. является законченной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.


Полученные результаты соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: (п. 2) разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; (п. 3) реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента; (п. 7) качественные или аналитические методы исследования математических моделей; (п.8) комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента. Таким образом, содержание диссертации соответствует научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, количество публикаций удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждении научных степеней.

Учитывая вышесказанное, считаю, что диссертационная работа «Математическое моделирование течений жидкости и электрохимического формообразования с использованием методов численной фильтрации» отвечает требованиям пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а ее автор – Соколова Александра Алексеевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Д-р физ.-мат. наук, профессор,  
заведующий кафедрой цифрового моделирования  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет  
Императрицы Екатерины II»



07.04.2026

В.Н. Кризский

Кризский Владимир Николаевич  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения  
высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II»,

199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2 ,

тел: +7(812) 328-8244

e-mail: Krizskiy\_VN@pers.spmi.ru

Докторская диссертация защищена по специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ





Заведующий отделом управления делопроизводства  
и контроля документооборота



Е.Р. Яковлева

07 АПР 2026

