

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Никулина Иллариона Леонидовича «Математическое моделирование поведения металлических расплавов в электромагнитных полях и очистки их поверхности от неметаллических включений», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.2.2. - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Энергетическая и операционная эффективность технологических процессов в промышленной металлургии является одним из важнейших целевых показателей, определяющих конкурентоспособность отрасли в целом. В условиях высокой ресурсозатратности натурных экспериментов, нацеленных на разработку новых и оптимизацию существующих технологических процессов, всевозрастающую роль играет вычислительный эксперимент. С другой стороны, эффективная автоматизация технологических процессов не представляется возможной без соответствующей аналитической и программной поддержки.

Вышесказанное определяет несомненную актуальность и практическую ценность диссертационного исследования Никулина Иллариона Леонидовича «Математическое моделирование поведения металлических расплавов в электромагнитных полях и очистки их поверхности от неметаллических включений». В данной работе на примере двух технологических процессов — производства губчатого титана реакцией восстановления из тетрахлорида титана и индукционной плавки никеля детально рассматриваются вопросы тепло- и массопереноса в электропроводящих жидких средах, подвергаемых действию нестационарных магнитных полей. Помимо этого, существенное внимание уделено практически важному вопросу влияния неметаллической пленки, формирующейся на свободной поверхности расплава, на процессы тепломассопереноса, а также способам ее разрушения через управление течением в расплаве.

Автореферат диссертации дает достаточно полное представление о глубине проработки темы в плане постановки задач, построения аналитической модели происходящих процессов, ее численной реализации и полученных практических результатов.

Особо следует отметить тот факт, что в рамках проведенной работы заявленного количественного совпадения с **реальными** технологическими процессами удалось достичь сравнительно экономичными методами как на модельном уровне, так и на уровне численной реализации, что открывает возможности для продолжения работ по теме как в плане усложнения модели с учетом дополнительных эффектов, так и в плане оптимизации

существующей программной реализации с ее включением в контур автоматизированной системы управления соответствующими технологическими процессами.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. Имеющиеся положительные результаты работы в части научной новизны и практического применения представлены **в тексте автореферата** недостаточно четко.
2. Судя по представленным граничным условиям для температуры, в описании математической модели, используемой в обеих рассматриваемых задачах, на свободной поверхности учитывается только радиационный теплообмен, в то время как для задачи о восстановлении титана потенциально не стоит сбрасывать со щитов и диффузионно-конвективный теплообмен.
3. Описанная численная реализация использует разнесенную сетку и явное выделение полей компонент скорости, что представляется явно избыточным в силу использования в аналитической модели формулировки завихренность+функция тока.
4. В численной модели временные производные дискретизируются по схеме с первым порядком точности, что в перспективе может оказаться недостаточным.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Рассмотренная работа представляется цельным, законченным исследованием, содержащим обоснованные результаты с несомненной практической ценностью. Считаем, что диссертационное исследование Никулина Иллариона Леонидовича «Математическое моделирование поведения металлических расплавов в электромагнитных полях и очистки их поверхности от неметаллических включений» отвечает всем требованиям п. 14 «Положения о присуждении научных степеней» постановления Правительства Российской Федерации N 842 от 24.09.2013 и требованиям Положения о «Порядке присуждения ученых степеней в ПНИПУ», предъявляемым к докторским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.2.2. - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заведующий Лабораторией вычислительной гидродинамики  
Института механики сплошных сред УрО РАН,  
доктор физико-математических наук, профессор  
Любимова Татьяна Петровна



17.05.2023

Институт механики сплошных сред УрО РАН  
614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королёва, 1.  
8(342)2378331  
lyubimovat@mail.ru

Научный сотрудник Лаборатории вычислительной гидродинамики  
Института механики сплошных сред УрО РАН,  
кандидат физико-математических наук

Хлыбов Олег Анатольевич

*X*  
17.05.2023

Институт механики сплошных сред УрО РАН  
614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королёва, 1.  
8(342)2378331  
okhlybov@yandex.ru

Я, Любимова Татьяна Петровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Никулина Иллариона Леонидовича «Математическое моделирование поведения металлических расплавов в электромагнитных полях и очистки их поверхности от неметаллических включений», и их дальнейшую обработку.

Я, Хлыбов Олег Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Никулина Иллариона Леонидовича «Математическое моделирование поведения металлических расплавов в электромагнитных полях и очистки их поверхности от неметаллических включений», и их дальнейшую обработку.

*Подписи Любимовой Т.П.  
и Хлыбова О.А.  
Ученый секретарь  
к.ф.м.н. доцент*

*А.А.*

