

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 2.4.09.23
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

от «15» июня 2022 г. № 4

о присуждении Смольянову Ивану Александровичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Численное моделирование неустойчивых течений жидкости под воздействием магнитного поля» по специальности 2.4.4. Электротехнология и электрофизика принята к защите диссертационным советом УрФУ 2.4.09.23 «04» мая 2021 г. протокол № 2.

Соискатель, Смольянов Иван Александрович, 1993 года рождения, в 2018 г. окончил ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника;

обучается в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника (Электротехнология), предполагаемый срок окончания аспирантуры – 31.08.2022 г.;

работает в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в должностях инженера и ассистента (по совместительству) кафедры «Электротехника и электротехнологические системы»; а также в должности инженера-исследователя (по совместительству) кафедры «Электротехника».

Диссертация выполнена на кафедре электротехники Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, Сарапулов Сергей Федорович, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Уральский энергетический институт, директор института.

Официальные оппоненты:

Хацаюк Максим Юрьевич – доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, кафедра «Электротехника», профессор;

Федин Максим Андреевич – доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий и электротехнологий», профессор;

Скриган Илья Николаевич – кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, кафедра «Электротехнологическая и преобразовательная техника», ассистент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 19 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ и входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 5,987 п.л., авторский вклад – 3,14 п.л.

Основные публикации по теме диссертации

статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. **Smolianov, I.** Numerical analysis of liquid flows exposed to travelling magnetic field. 1. idealized numerical experiment / I. Smolianov, E.

Shmakov, J. Vencels // *Magnetohydrodynamics*. – 2021. – Vol. 57, no. 1. – P. 105–119. 0,75 п. л. / 0,55 п. л. (Scopus, WoS).

2. **Smolianov, I.** Numerical analysis of liquid flows exposed to travelling magnetic field. 2. mhd instabilities due to magnetic end effects / I. Smolianov, E. Shmakov, J. Vencels // *Magnetohydrodynamics*. – 2021. – Vol. 57, no. 1. – P. 121–132. 0,6 п. л. / 0,2 п. л. (Scopus, WoS).

3. Verification of the code to calculate duct flow affected by external magnetic field / **I.A. Smolyanov** [et al.] // *Computational Continuum Mechanics*. – 2021. – Vol. 14, no 3. – P. 322–332. 0,4375 п. л. / 0,2 п. л. (Scopus).

4. Shmakov, E. I. Calculation of Magnetic Field of Induction Pump Using Open Source Software / E. I. Shmakov, **I. A. Smolyanov**, N. V. Tarchutkin // *Proceedings of the 2020 EEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIconRus 2020*. – 2020. – P. 862–866. 0,165 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus).

5. **Smolyanov, I. A.** Comparison of Different Approaches to Calculate Magnetic Field of Moving Magnets for Liquid Metal Stirring / **I. A. Smolyanov** // *Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIconRus 2020*. – 2020. – P. 878–882. 0,2 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus).

6. Tarchutkin, N. V. Machine learning application for magnetohydrodynamic pump research / N. V. Tarchutkin, **I. A. Smolyanov** // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineer*. – 2020. – Vol. 950, no. 1. – P. 012019. 0,07 п.л. / 0,005 п.л. (Scopus)

7. **Smolyanov, I.** Calculation of linear induction motor features by detailed equivalent circuit method taking into account non-linear electromagnetic and thermal properties / **I. Smolyanov**, F. Sarapulov, F. Tarasov // *Computers and Mathematics with Applications*. – 2019. – Vol. 78, no. 9. – P. 3187–3199. 0,315 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus, WoS)

8. Mathematical Modeling of a Linear-Induction Motor Based on Detailed Equivalent Circuits / F.N. Sarapulov, **I. A. Smol'yanov** [et al.] // *Russian*

Electrical Engineering. – 2018. – Vol. 89, no. 4. –P. 270–274. 0,25 п. л. /0,135 п. л. (Scopus).

9. Sarapulov, F. Study of the linear induction motor with bimetallic secondary element / F. Sarapulov, I. A. Smolyanov, F. E. Tarasov // ACTA TECHNICA CSAV. – 2018. – Vol. 63, no. 2. – P. 205–220. 0,7 п. л. / 0,4 п. л. (Scopus).

10. Numerical study of the possibility of using cerment inserts in electromagnetic stirring application / K. E. Bolotin [et al.] // ACTA TECHNICA CSAV. – 2018. – Vol. 63, no. 5. – P. 709–720. 0,517 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus).

11. **Smolyanov, I. A.** Optimal design of MHD pump / I. A. Smolyanov, P. Karban // 12th International Conference ELEKTRO 2018, 2018 ELEKTRO Conference Proceedings. – 2018. – P. 1–4. 0,4 п. л. / 0,2 п. л. (Scopus, WoS).

12. Shape optimization of laboratory induction pump / **I. A. Smolyanov** [et al.] // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018. 2018–Janua. – 2018. – P. 793–798. 0,465 п. л. / 0,3 п. л. (Scopus, WoS).

13. **Smolyanov, I.** The problem of determining the position of the metal in levitation melting / **I. Smolyanov**, E. Shmakov, N. Tarchutkin // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – 2018. – C. 799–802. 0,125 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus, WoS).

14. Numerical modeling of the travelling magnetic field stirrer for liquid lithium / **I. Smolyanov** [et al.] // Magnetohydrodynamics. – 2017. – Vol. 53, no. 4. – P. 707–713. 0,45 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus, WoS).

15. Numerical simulation of double side linear induction pump for liquid magnesium / **I. Smolyanov** [et al.] // Magnetohydrodynamics. – 2017. – Vol. 53, no. 4. – P. 603–609. 0,45 п. л. / 0,3 п. л. (Scopus, WoS).

16. Numerical simulation of the electromagnetic stirrer adapted by using magnetodielectric composite / **I. Smolyanov** [et al.] // Magnetohydrodynamics. – 2017. – Vol. 53, no. 4. – P. 723–730. 0,45 п. л. / 0,05 п. л. (Scopus, WoS).

17. Numerical simulation of electromagnetic processes of the modernized MHD-pump for dispensing molten aluminium from the stationary induction furnace / **I. Smolyanov** [et al.] // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017. – 2017. – P. 1488–1490. 0,1875 п. л. / 0,05 п. л. (Scopus, WoS).

18. Research electromechanical characteristics of magnetohydrodynamic pump / **I. A. Smolyanov** [et al.] // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017. – 2017. – P. 1590–1593. 0,1625 п. л. / 0,1 п. л. (Scopus, WoS).

19. Simulation of continuous casting process with electromagnetic influence to the ingot liquid phase / **I. Smolyanov** [et al.] // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRusNW 2016. – 2016. – P. 685–688. 0,18 п. л. / 0,05 п. л. (Scopus, WoS).

На автореферат и диссертацию поступили отзывы:

1. Фрика Петра Готлобовича, доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией физической гидродинамики, и **Колесниченко Ильи Владимировича**, кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией технологической гидродинамики «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь. Содержит вопросы и замечания, связанные с верификацией модели потока жидкости в прямоугольном канале под воздействием магнитного поля, и грамматическими ошибками.

2. Беляева Ивана Александровича, кандидата технических наук, заведующего лабораторией № 5 – инженерной теплофизики ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук», г. Москва. Содержит вопросы о характерном размере для уравнений Навье-

Стокса; экспериментах, используемых для верификации и зависимости физических свойств от температурного поля.

3. Листратова Ярослава Игоревича, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва. Содержит вопросы и замечания, связанные с особенностью верификации разрабатываемого программного обеспечения; флуктуацией скорости потока жидкости в области перехода от неактивной зоны в активную и влиянием проводимости стенок на формирование профиля скорости.

4. Казакова Юрия Борисовича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры электромеханики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново. Содержит замечания, связанные особенностью выводов диссертационной работы о полученных результатах влияния ширины канала на ослабление электромагнитных эффектов, и описанием моделей турбулентности.

5. Соломина Владимира Александровича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электрические машины и аппараты» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону. Содержит вопросы о допустимых диапазонах температур потока жидкости; лицензионном соглашении используемого программного обеспечения; а также замечания, связанные с оформлением автореферата.

6. Бикеева Романа Александровича, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры автоматизированных электротехнологических установок ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск. Содержит замечания, связанные с применяемыми турбулентными моделями в работе, и практическим применением разработанного программного кода.

7. Овсянникова Бориса Владимировича, кандидата технических наук, учёного секретаря ОАО «Каменск-Уральский металлургический

завод», г. Каменск-Уральский, Свердловская обл. Содержит замечания, связанные с проверкой результатов на практике; ограничениями использования результатов из-за их публикации только в иностранных журналах.

8. Никулина Иллариона Леонидовича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Общая физика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. Содержит вопросы об адекватности использования чисел подобия в представленном в диссертации диапазоне значений; корректности записи уравнения магнитной напряженности; практическом применении полученных результатов для других температурных режимов. Также содержит ряд замечаний, связанных с использованием иностранных терминов, широтой описания постановки задачи и адекватностью использования ряда источников литературы.

9. Фаткуллина Салавата Мирдасовича, кандидата технических наук, директора научно-технического центра ООО Научно-производственное предприятие «РЭЛТЕК», г. Екатеринбург. Содержит замечания об учете в разработанной модели фазового перехода и возможных значениях мощности насоса для $3 \text{ м}^3/\text{час}$ при разности давлений 8 бар.

10. Тимофеева Виктора Николаевича, доктора технических наук, директора центра, и **Винтера Эдуарда Робертовича**, инженера-исследователя отдела математического моделирования ООО «Научно-производственный центр магнитной гидродинамики», г. Красноярск. Содержит замечания о верификации и корректности использования скорости жидкого металла для анализа степени влияния градиента температур на характер движения жидкости.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями и исследованиями в области прикладной магнитной гидродинамики, электротехнологии и электрофизики, а также наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по численному анализу неустойчивых течений жидкости под воздействием внешнего магнитного поля с учетом температурных режимов, имеющей существенное значение для развития магнитогидродинамики.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработаны численные модели электромагнитных и гидродинамических процессов на основе метода конечных элементов и объемов для расчета связанных задач магнитной гидродинамики и анализа неустойчивых состояний потока жидкости в магнитогидродинамических (МГД) установках.

2. Предложены алгоритмы для решения дифференциальных уравнений магнитной гидродинамики в частных производных с использованием численных программ с открытой лицензией.

3. Выполнена оценка воздействия магнитных эффектов на устойчивость потока жидкости в канале МГД-насоса.

4. Определены критерии оценки возникновения турбулентных течений, учитывающие аспектное соотношение ширины и высоты канала МГД-насоса.

5. Выполнена оценка влияния неустойчивости течений электропроводной жидкости в канале на расходно-напорную характеристику МГД-насоса.

6. Проведена количественная оценка влияния термогравитационных эффектов (естественной конвекции) на поведение потока жидкости в прямоугольном канале под воздействием бегущего магнитного поля.

Диссертационная работа Смольянова И.А. посвящена разработке и изучению механизмов возникновения турбулентных течений в проводящей немагнитной жидкости под воздействием внешнего магнитного поля с учетом температурных особенностей электротехнологических процессов и анализу влияния неустойчивости течений на основные характеристики МГД-насосов. Разработанные алгоритмы и модели для решения МГД задач позволяют проводить расчеты широкого спектра технических и научных задач. Разработанная библиотека программных модулей с использованием языка Python позволяет существенно сократить время на разработку компьютерных моделей МГД-установок в программных продуктах с открытой лицензией для численного решения дифференциальных уравнений в частных производных при моделировании связанных электромагнитных и гидродинамических процессов. Предложен безразмерный критерий учета неустойчивых потоков жидкости, который точнее описывает влияние ширины канала на неустойчивость течений по сравнению с используемыми в настоящее время критериями физического подобия. Проведенный анализ влияния термогравитационных эффектов на поведение потоков в МГД-насосах дал предварительное понимание об их особенностях в таких системах.

Разработанные алгоритмы, модели и программные модули могут быть использованы в технических проектах, научных исследованиях и для организации учебного процесса по тематике «Прикладная магнитная гидродинамика».

На заседании 15 июня 2022 г. диссертационный совет УрФУ 2.4.09.23 принял решение присудить Смольянову И.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 2.4.09.23 в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек,

входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

УрФУ 2.4.09.23



[Handwritten signature]

Зюзев Анатолий Михайлович

Ученый секретарь

диссертационного совета

УрФУ 2.4.09.23

[Handwritten signature]

Хальясмаа Александра Ильмаровна

15.06.2022 г.