

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д212.217.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 4 октября 2022 г. № 11

О присуждении Навасардяну Ашоту Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Электромагнитный кристаллизатор кремния для получения слитков цилиндрической формы» по специальности 05.09.10 – «Электротехнология» – принята к защите 26 июля 2022 г., протокол №10, диссертационным советом Д212.217.04, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки России, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, приказ №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Навасардян Ашот Александрович 1993 года рождения.

В 2015 г. окончил государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по направлению «Электроэнергетика и электротехника», в 2017 г. окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

С 2018 г. по 2022 г. обучался в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

В настоящее время работает в должности генерального директора ООО «Зонная плавка», г.Самара.

Диссертация выполнена на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – д.т.н., доц. Базаров Александр Александрович, проф. кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Официальные оппоненты:

1. Кувалдин Александр Борисович – д.т.н., проф., проф. кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий и электротехнологий», ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва.

2. Хлюпин Павел Александрович – к.т.н., доц. кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа,

далиположительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов в своем положительном отзыве, подписанном д.т.н., доц., зав. кафедрой «Электроэнергетика и электротехника» Калгановой Светланой Геннадьевной и утвержденном проректором по науке и инновациям Остроумовым Игорем Геннадьевичем, указала, что диссертация является законченным научным трудом, соответствующим специальности 05.09.10. – «Электротехнология». Она удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Навасардян Ашот Александрович, заслуживает присуждения указанной ученой степени.

Соискатель имеет 9 опубликованных по теме диссертации научных работ, в том числе 3 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также 1 статью, индексируемую в базе Scopus. Объем научных изданий - 2,72 п.л., авторский вклад - 1,81 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Базаров А.А., Навасардян А.А. Система индукционного нагрева в производстве технического кремния / Вестник СамГТУ. Технические науки №1, 2016. с.87-95.

2. Базаров А.А., Навасардян А.А. Моделирование электромагнитных и тепловых процессов в индукционном кристаллизаторе кремния / Вестник СамГТУ. «Технические науки». Выпуск №3(55), 2019. с. 105-119.

3. Базаров А.А., Навасардян А.А., Бондарева Н.В. Конструкция электромагнитного кристаллизатора алюминия периодического действия / Вестник СамГТУ. «Технические науки». Выпуск 29, №3, 2021. с.100-116.

4. Bazarov, A.A., Navasardian, A.A., Bondareva, N.V. Processes Modeling in a Silicon Induction Crystallizer /Lecture Notes in Mechanical Engineering 2022 vol 2 с. 657-667.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ведущей организации - ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов. Наиболее существенными замечаниями являются: «В системе уравнений тепловой задачи не учтено движение расплавленного кремния; не учитываются потери мощности в электропроводном материале, хотя в отдельных случаях они могут быть значительными. Их неучет при поставленной цели повышения энергоэффективности процесса, требует пояснения;

2. официального оппонента д.т.н., проф. Кувалдина А.Б. Наиболее существенное замечание: «Уравнение теплопроводности для процессов, протекающих в системе «кремний - теплоизоляция», записано без учета изменения плотности, которое довольно значительно при изменении агрегатного состояния. Обоснования такому упрощению не приведено»;

3. официального оппонента к.т.н., доц. Хлюпина П.А. Наиболее существенное замечание: «Неясно, учитывается ли при расчете тепловых потоков зависимость температуры от координат»;

4. д.т.н, с.н.с., зав. кафедрой «Электроснабжение» А.В. Кузнецова, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г.Ульяновск. Замечание: «В тексте автореферата нет сведений о количественной оценке повышения эффективности предложенных решений»;

5. к.т.н., доц., зав. кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Доманова В.И., ФГБОУ ВО Ульяновский государственный технический университет», г.Ульяновск. Наиболее существенное замечание: «Указывается, что частота рабочего напряжения 500 Гц, но отсутствует обоснование этой величины»;

6. д.т.н., доц., проф. отделения электроэнергетики и электротехники Глазырина А.С., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г.Томск. Наиболее существенное замечание: «Автор в первом положении защищает математическую электротепловую модель процесса электромагнитной кристаллизации расплава кремния, учитывающую изменение параметров при переходе через точку затвердевания. Однако в автореферате не приведен перечень допущений, принятых автором при составлении этой модели»;

7. к.т.н., начальника цеха по эксплуатации и ремонту электрооборудования Животягина Д.А., АО «Аркионик СМЗ», г. Самара. Наиболее существенное замечание:

«Как отражается резкое изменение параметров индуктора на функционировании преобразователя частоты, способен ли он обеспечить требуемое быстродействие?»

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность, новизна исследований и практическая значимость работы, а также то, что Навасардян Ашот Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.10 «Электротехнология».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной компетентностью и опытом работы в области электротехнологии, что подтверждается научными публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- численная математическая модель нестационарного теплового процесса кристаллизации кремния, отличающаяся учетом изменения мощности внутренних источников тепла и физических свойств расплава;

- разработана численная модель электромагнитных процессов в системе «индуктор – расплав кремния», ориентированная на определение распределения внутренних источников тепловыделения и расчет электромагнитных сил в поверхностном слое в условиях резкого изменения электропроводности при кристаллизации;

предложены:

- алгоритм управления изменением мощности тепловыделения и электромагнитных сил в электромагнитном кристаллизаторе для обеспечения качественной кристаллизации кремния и получения слитков цилиндрической формы;

- алгоритм поиска области параметров расплава и индуктора, в которой возможно функционирование электромагнитного кристаллизатора кремния в условиях взаимных ограничений на электромагнитные силы и мощность тепловыделения;

- схема системы управления процессом кристаллизации кремния, обеспечивающей поддержание электромагнитных сил в расплаве для получения слитка цилиндрической формы при изменяющемся агрегатном состоянии;

доказаны:

- перспективность применения электромагнитных кристаллизаторов кремния с целью повышения эффективности производства и качества слитков;

введены: новых понятий не вводилось.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

доказана:

– адекватность математических моделей процессов кристаллизации кремния в электромагнитном кристаллизаторе периодического и методического действия в условиях значительного изменения параметров загрузки;

– корректность методики расчета распределения электромагнитных сил в загрузке, содержащей кремний в жидком и твердом состоянии;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе численных методов, имеющих программную реализацию в Comsol и Elcut, для математического и компьютерного моделирования электромагнитных, тепловых и гидродинамических процессов в электромагнитном кристаллизаторе кремния;

изложены условия достижения эффективности процесса кристаллизации и предотвращения значительных термонапряжений в слитке;

раскрыты противоречия между требованиями минимального тепловыделения в расплаве и обеспечением необходимых электромагнитных сил, зависящих от тока;

изучены связи между тепловыми потоками охлаждения и подогрева через поверхности области расплава и условиями формирования требуемого фронта кристаллизации;

проведена модернизация существующих математических и компьютерных моделей электромагнитных и тепловых процессов в электромагнитном кристаллизаторе кремния периодического и методического действия, обеспечивающая повышение функциональных возможностей и снижение погрешности расчетов, что способствовало получению новых результатов по теме исследования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана инженерная методика расчета кристаллизатора кремния, отдельные компоненты которой внедрены в качестве методики расчета индукционных систем для технологического подогрева и ООО «ПриволжскНИПИнефть» в качестве методики расчета тепловых процессов в установках локального индукционного подогрева участков трубы во время сварки, используемых при ремонте трубопроводов, в учебном процессе ФГБОУ ВО «Самарского государственного технического университета»;

определены перспективы практического использования теоретических результатов исследования при разработке энергоэффективных электромагнитных

кристаллизаторов для производства кремния, пригодного для изготовления солнечных панелей;

создан комплекс усовершенствованных расчетных моделей электромагнитных, тепловых и гидродинамических процессов для задачуправляемой электромагнитной кристаллизации периодического и методического действия;

представлены рекомендации по дальнейшему использованию результатов работы и совершенствованию систем управления электромагнитным кристаллизатором кремния.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных теоретических данных и согласуется сопубликованными экспериментальными данными. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и полученных результатов определяется корректным использованием соответствующего математического аппарата, подробной оценкой и научным обоснованием принятых допущений;

идея базируется на обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых, работающих в области электротехнологии, и на анализе практики применения нагрева в машиностроительной и металлургической промышленности;

использовано сравнение авторских результатов с данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике, полученными ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов с данными, представленными в независимых источниках по рассматриваемой тематике;

использованы современные методы математического и компьютерного моделирования электромагнитных, тепловых процессов и процессов упругой деформации в индукционных системах, а также методы численного анализа и синтеза. Вычисления проведены с использованием пакетов прикладных программ.

Личный вклад состоит в разработке математических моделей электромагнитных и тепловых процессов в системе «индуктор – расплав кремния»; разработке алгоритмов управления процессом для кристаллизаторов периодического и методического действия; разработке методики проектирования электромагнитного кристаллизатора.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

Зубков Ю.В. - о разбросе чистоты кремния, которая допускается для производства солнечных панелей. Макаричев Ю.А.- о снижении энергозатрат в электромагнитном кристаллизаторе, за счет чего достигается экономия электроэнергии, в каких типах установки и какие это величины?

Соискатель Навасардян А.А. дал полные и исчерпывающие ответы на эти и

другие вопросы, задаваемые ему в ходе заседания.

На заседании 04 октября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Навасардяну Ашоту Александровичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.09.10 - «Электротехнология» за решение научной задачи минимизации энергозатрат электромагнитного кристаллизатора и отклонения формы кремниевого слитка от цилиндрической, имеющей важное значение для развития электротехнологии.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени - 16, против присуждения учёной степени - нет.

Председатель

диссертационного совета 21.2.2.21.04

Стариков Александр Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета 21.2.2.21.04

Стрижакова Елена Владимировна

4 октября 2022 г.

