

НАУЧНАЯ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ УНИВЕРСИТЕТОВ В РАМКАХ ЕВРОПЕЙСКИХ ПРОГРАММ АКАДЕМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА*

Б. Наке¹, Ю.Э. Плешивцева², Е.А. Якубович²

¹ Институт электротехнологий Университета им. Лейбница
30167, г. Ганновер, ул. Вильгельма Буша, 4

² Самарский государственный технический университет
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

В статье представлены основные направления, формы и результаты стратегического сотрудничества Института электротехнологий Университета им. Лейбница (г. Ганновер, Германия) и Самарского государственного технического университета в области моделирования и оптимизации электротехнологических процессов и образовательной деятельности. Показана органическая связь между развитием совместных научных исследований и совершенствованием и модернизацией высшего профессионального образования на современном этапе его реформирования в России.

Ключевые слова: международное сотрудничество, научные исследования, образовательные программы, моделирование, численные модели, оптимальное управление, алгоритм, электротехнологические процессы, индукционный нагрев.

Процессы глобализации, стремительное развитие информационных и компьютерных технологий, формирование ряда новых направлений инженерной деятельности, а также преобразования социального и экономического характера, благодаря которым общество индустриального производства превратилось и развивается как общество науки и информации, предъявляют новые требования к компетенциям и квалификации выпускников профессиональной высшей школы. На фоне этих изменений профессиональное техническое образование становится залогом и основой успешной самореализации человека в динамично развивающемся современном обществе.

Вступление России в Болонский процесс является примером взаимодействия и сближения с Европейским союзом, свидетельством готовности к международному сотрудничеству в научных исследованиях и образовании. Объединение усилий ученых немецких и российских университетов демонстрирует прагматичный подход сторон в поисках объективно обусловленного пути развития академической интеграции, взаимообогащающего сотрудничества. Для многих стран Германия с ее традициями профессионального образования, умением готовить высококвалифицированные кадры является ориентиром и примером для подражания. Не подлежит сомнению, что сложившаяся в течение десятилетий российская национальная система высшей школы и научных исследований продемонстрировала выдающиеся резуль-

* Работа выполнена при поддержке грантов германской службы академических обменов DAAD.

Бернгард Наке – директор Института электротехнологий Университета им. Лейбница, г. Ганновер.

Юлия Эдгаровна Плешивцева – д.т.н., проф. каф. «Управление и системный анализ в теплоэнергетике».

Ефим Абрамович Якубович – к.т.н., начальник управления по международным связям.

таты во всех областях знаний. Эти обстоятельства обуславливают очевидный интерес к координации и кооперации европейских и российских коллег в поисках путей реализации академического сотрудничества. Примером может служить опыт, накопленный Институтом электротехнологий Университета им. Лейбница (г. Ганновер) и СамГТУ в сфере моделирования, оптимизации и промышленного использования современных энергоэффективных электротехнологий.

Институт электротехнологий Университета им. Лейбница (г. Ганновер) является научно-образовательным учреждением, в котором наиболее полно представлен весь спектр научных исследований и образовательных программ в области электротехнологий [1]. Большинство научных проектов, выполняемых в институте, имеют практическую направленность и завершаются реализацией на промышленных предприятиях. Институт электротехнологий является одним из ведущих мировых научно-исследовательских центров по исследованию и разработке традиционных и инновационных технологий индукционного нагрева и плавления металлов. На протяжении более чем 15 лет он связан долгосрочными соглашениями о сотрудничестве со многими европейскими и российскими университетами.

Сформированная на базе СамГТУ международно признанная научная школа уже более 40 лет успешно решает задачи в области математического моделирования и оптимального управления взаимосвязанными электромагнитными и тепловыми полями в электротехнологических процессах и установках. В течение этого периода была создана теоретическая основа методов оптимизации технологических процессов и производственных комплексов по различным технико-экономическим и эксплуатационным критериям качества. Для решения задач параметрической оптимизации разработан специальный альтернативный метод, базирующийся на фундаментальных свойствах температурных полей в конце оптимального процесса нагрева [2]. Разработаны теоретические основы построения проблемно-ориентированных математических моделей, методов расчета алгоритмов и синтеза систем оптимального управления промышленными объектами с распределенными параметрами.

История и формы сотрудничества. Успешное и плодотворное сотрудничество между Институтом электротехнологий и СамГТУ длится уже более 12 лет, в течение которых осуществлены многие научные и образовательные проекты [3]. Содержание этого сотрудничества определено программой совместных работ в рамках действующего межуниверситетского договора и отвечает концептуальным принципам и программам развития международных связей СамГТУ [4]. В основе взаимодействия университетов лежит единство предметной области научных интересов немецких и российских ученых, общность фундаментальных принципов функционирования национальных образовательных систем, а также осознание необходимости объединения творческих и интеллектуальных ресурсов для достижения значимых научных результатов и наиболее эффективных технологических решений. Современное промышленное производство ориентировано на применение инновационных энерго- и ресурсосберегающих технологий, создание и функционирование которых возможно только при системном применении моделирования и оптимизации процессов управления. В этой связи сотрудничество немецких и российских специалистов имеет целью объединить наиболее совершенные проблемно-ориентированные математические модели изучаемых процессов индукционного нагрева и пластической деформации и передовые стратегии оптимального проектирования и управления этими процессами для создания эффективных процедур оптимизации современных технологических комплексов обработки металлов давлением. Участие в совместных научно-

исследовательских работах молодых ученых, магистров и аспирантов позволяет формировать актуальную тематику диссертационных работ и повышать их инженерный и научный уровень как в российских, так и в европейских университетах-партнерах в соответствии с принципами Болонского процесса.

Формы академического международного сотрудничества Института электротехнологий и СамГТУ достаточно разнообразны и направлены на содействие реализации Болонского процесса и формирование европейского пространства высшего образования, превращение университетов в центры развития человеческих ресурсов для общества, основанного на знаниях. Совместное участие в проектах, поддержанных европрограммой TEMPUS, укрепляет межвузовские контакты, содействует развитию академической мобильности, стимулирует разработку и внедрение двухступенчатой системы высшего профессионального образования (бакалавриата и магистратуры) на теплоэнергетическом и электротехническом факультетах, а также на факультете автоматики и информационных технологий. Немаловажное значение имеет укрепление материальной базы СамГТУ за счет участия в проектах. Благодаря финансовой и организационной помощи Германской службы академических обменов (DAAD) российские студенты, аспиранты, преподаватели и ученые в последние годы получили ценный опыт работы с зарубежными партнерами. Совместная стипендиальная программа DAAD и Министерства образования и науки РФ «Михаил Ломоносов» предоставляет российским аспирантам и преподавателям технических и естественных наук возможность работы над диссертацией и проведения научных исследований в университетах и внеуниверситетских научных центрах Германии, что способствует расширению контактов с немецкими коллегами. К настоящему моменту более 20 студентов и аспирантов СамГТУ получили важную финансовую поддержку в России и уникальную возможность пройти научную стажировку в Ганновере в рамках программы «Леонард Эйлер».

Совместные исследования и разработки. Основной целью реализуемых совместно научно-исследовательских проектов является развитие теоретических основ, методов и инженерных методик математического моделирования, оптимизации и автоматического управления высокоэффективными промышленными электротехнологиями. Такой подход служит базой для создания проблемно-ориентированных моделей, оптимизационных процедур, систем автоматического управления, обеспечивающих оптимальные энергосберегающие режимы электротехнологических процессов, повышающих гибкость и эффективность промышленных технологических линий, обеспечивающих высокое качество конечной продукции. В результате объединения усилий и научных достижений партнеров были реализованы следующие научно-исследовательские проекты.

Оптимальное проектирование и управление проходными индукционными установками в стационарных и переходных режимах работы. Проходные индукционные нагревательные установки с непрерывной выдачей заготовок все более широко применяются на практике в связи с возрастающим использованием печей для индукционного нагрева металлов перед последующей обработкой давлением, обладающих рядом технико-экономических преимуществ по сравнению с конкурентоспособными технологиями. Особенно актуальными становятся задачи оптимального проектирования и управления такими установками в стационарных и переходных режимах их работы, решению которых посвящен ряд совместных научно-исследовательских проектов СамГТУ и Института электротехнологий.

Для многосекционных индукционных нагревательных установок различного конструктивного исполнения и производительности с заранее фиксированным числом N и размерами отдельных секций решались задачи выбора неизменных во времени в стационарных режимах работы нагревателя напряжений (токов) источников питания U_1, U_2, \dots, U_N секционных индукторов, обеспечивающих максимальную точность нагрева заготовок. В качестве объектов оптимизации рассматривались промышленные нагреватели, включающие 1, 3, 4 и 10 индукторов [5, 6] с различными вариантами компоновки индукторов в секции. Было доказано, что двух автономно управляемых секций достаточно для обеспечения в стационарных режимах работы точности нагрева на уровне 8-10 °С, что в подавляющем большинстве случаев удовлетворяет предъявляемым технологическим требованиям.

Задачи оптимального управления решались также и для переходных режимов работы нагревателей, соответствующих режимам первоначального запуска, запуска после технологических перерывов различной длительности, смене номенклатуры заготовок и производительности индукционной установки и т. п. [5, 6].

В рамках данного проекта решались задачи оптимального проектирования, в том числе типичная задача проектирования индукционного нагревателя непрерывного действия с постоянной скоростью перемещения заготовок, которая сводится к обеспечению в стационарном режиме работы ИНУ заданной абсолютной точности приближения к требуемой температуре на выходе из индуктора минимально возможной длины в условиях принятых ограничений.

Анализ результатов позволяет сделать выводы о существенном выигрыше по выбранным функционалам качества оптимизируемых процессов по сравнению с типовыми технологиями во всех рассмотренных задачах оптимизации одно- и многосекционных нагревателей как в стационарных, так и в переходных режимах работы, а также в задачах оптимального проектирования. Кроме того, применение разработанного алгоритма численной параметрической оптимизации позволяет значительно сократить число итераций в оптимизационных процедурах по сравнению с известными численными методами прямого поиска, что позволяет использовать значительно более сложные и точные математические модели.

Оптимизация процесса нагрева алюминиевых заготовок, вращающихся в магнитном поле постоянного тока. Индукционный нагрев алюминия, обладающего высокой удельной проводимостью, является одним из самых крупномасштабных электротехнологических процессов, применяющихся в цветной металлургии, особенно в технологиях горячей обработки цветных металлов давлением (прессование, прокат, штамповка). Именно этот вид нагрева алюминия в большинстве случаев является наиболее распространенным несмотря на довольно низкий КПД, составляющий 55-60%.

При традиционном способе индукционного нагрева металлических заготовок в переменном электромагнитном поле КПД процесса зависит от величины потерь в индукторе. Даже при оптимальном дизайне индуктора (разбиение индуктора на оптимальное число секций с целью снижения плотности тока) КПД установки обычно не превышает 60% .

Для повышения энергетической эффективности процесса индукционного нагрева в последние годы была разработана принципиально новая технология, которая заключается в использовании сверхпроводящих материалов для возбуждения постоянного магнитного поля высокой интенсивности. Данная технология основана на способности сверхпроводников проводить постоянный ток практически без потерь.

Нагрев в таких установках осуществляется за счет токов, индуцируемых в заготовке, при ее вращении в постоянном магнитном поле. Коэффициент полезного действия при таком методе нагрева теоретически может достигать 90%.

СамГТУ в сотрудничестве с Институтом электротехнологий в 2006-2009 гг. реализовал научно-исследовательский проект по оптимизации инновационной технологии нагрева алюминиевых заготовок, вращающихся в магнитном поле постоянного тока, с использованием двумерных цифровых моделей электротепловых полей и полей термонапряжений и деформаций в нагреваемых изделиях. Были рассчитаны алгоритмы оптимального по быстродействию управления температурными полями и полями термонапряжений в оптимальных по быстродействию процессах нагрева с учетом ограничений как на максимально допустимую температуру, так и на максимально допустимое в процессе нагрева термонапряжение, введение которых позволяет обеспечивать требуемое качество нагрева при максимальной производительности технологического комплекса. Была разработана специальная процедура оптимизации, позволяющая осуществлять поиск оптимальных значений параметров алгоритмов управления [7]. Полученные оптимальные алгоритмы управления приводят к повышению эффективности индукционных нагревателей за счет сокращения общего времени нагрева и отсутствия брака благодаря учету технологических ограничений.

Оптимальное проектирование и управление электротехнологическими комплексами обработки металла давлением. Одним из основных направлений совместных научных исследований партнеров является решение задач управления и проектирования производственных систем, образованных нагревательными установками и оборудованием для пластической деформации металла, представляющих собой единый технологический комплекс для изготовления полуфабрикатов путем обработки давлением предварительно нагреваемых металлических заготовок (прессование, прокатка, штамповка и др.).

С точки зрения системного подхода обоснованный выбор критериев оптимальности для нагревательной установки и деформирующего оборудования должен производиться путем декомпозиции общей задачи достижения экстремальной величины совокупного технико-экономического показателя эффективности работы комплекса в целом на отдельные задачи оптимизации процессов нагрева и пластического деформирования.

Качественно более широкие возможности появляются здесь при решении общей задачи оптимизации совместного технико-экономического критерия работы всего комплекса в целом.

Если такая задача решается в условиях максимального числа степеней свободы для выбора различных процессов нагрева и обработки давлением, то их оптимальные по рассматриваемому критерию характеристики могут быть найдены в процессе отыскания оптимальных управляющих воздействий. В частности, при свободе выбора конечного температурного состояния нагреваемых заготовок здесь удается:

- выявить путем обоснованной декомпозиции локальные критерии оптимальности отдельно для индукционной нагревательной установки и деформирующего оборудования;
- найти оптимальные по комплексному критерию эффективности конечные температурные состояния нагреваемых заготовок;
- определить в итоге отвечающие этим условиям управляющие воздействия для обоих участков комплекса, которые обеспечивают в совокупности достижение экстремального значения выбранного показателя качества.

Описанный подход выводит возможности управляющих алгоритмов за рамки традиционных задач «обслуживания» технологии. Он обеспечивает активное участие в ее формировании путем попутного решения принципиально важных проблем разработки оптимальных технологических инструкций и оптимального проектирования производственного участка с позиций его последующего функционирования в оптимальном режиме.

Основные результаты, демонстрирующие высокую эффективность применения описанной стратегии, получены партнерами при решении задач оптимизации установившихся режимов работы технологического комплекса для обработки металла давлением на примере производственной системы, предназначенной для предварительного нагрева в индукционной нагревательной установке и последующего горячего прессования цилиндрических заготовок на горизонтальных гидравлических прессах [8].

Образовательные проекты. За время сотрудничества между Институтом электротехнологий и СамГТУ сложился интенсивный обмен студентами, аспирантами, молодыми учеными и профессорами обоих вузов. Германская служба академических обменов (DAAD) в рамках программ «Михаил Ломоносов» и «Леонард Эйлер» активно поддерживает стажировки российских студентов, аспирантов, а также молодых научных работников и преподавателей в Германии. При этом более 10 студентов и аспирантов СамГТУ получили существенную материальную поддержку и уникальную возможность жить в Ганновере и работать в Институте электротехнологий. Результаты стажировок российских студентов и аспирантов свидетельствуют, что в ходе общения с зарубежными коллегами возникает активный творческий диалог, достигается лучшее взаимопонимание, налаживается взаимодействие на пути к образовательным и научным целям в обеих странах.

Отмечая заслуги немецких коллег в расширении образовательного и научного сотрудничества между университетами, содействие в подготовке высококвалифицированных научных кадров, их вклад в развитие теории и методов математического моделирования и оптимизации технологических процессов и промышленных комплексов, Ученый совет СамГТУ в июне 2010 г. присвоил директору Института электротехнологий проф. Б. Наке и академическому директору проф. Э. Бааке звание почетных профессоров СамГТУ (см. фото).

Опыт успешного сотрудничества Института электротехнологий и СамГТУ в сфере разработки основных элементов учебного процесса впервые был получен в результате совместного участия в образовательном проекте TEMPUS / TACIS CP_20021-98 «Распространение знаний о современных энергосберегающих электротехнологиях» в 1998-2001 гг. Сложившийся в ходе активной совместной работы консорциум преподавателей, ученых, исследователей позволил вовлечь в творческий процесс сотрудников трех факультетов СамГТУ: электротехнического, теплоэнергетического и автоматики и информационных технологий. Самым значимым и весомым результатом завершения работ по проекту стало издание учебного пособия для студентов российских технических вузов энергетического и электротехнического профиля [9].

В настоящее время Институт электротехнологий и СамГТУ начали работу над новым проектом Tempus «Подготовка специалистов PhD-уровня в области энергоэффективных электротехнологий». Основной целью этого проекта является создание и внедрение в российских вузах учебных планов и программ третьего (аспирантского) образовательного уровня, эквивалентного европейскому PhD. Разработка сопос-

тавимых и сравнимых с европейскими программ высшего образования – одна из самых важных и сложных задач, стоящих перед российскими вузами [10]. В особенности это касается аспирантского этапа формирования ученого – научного работника и педагога. Здесь различия требований и условий завершения и оценки результатов обучения по российским и европейским стандартам до сих пор достаточно велики. Тем более актуальным и важным представляется стремление партнеров начать движение в направлении сближения позиций, согласования методик и возможностей модернизации обучающих программ, а также определения результатов обучения. Именно результаты обучения выступают основным критерием академической роли и значимости программы для внешних потребителей – работодателей и студентов.



Вручение дипломов «Почетный профессор СамГТУ» проф. Э. Баке (слева) и проф. Б. Наке

Несмотря на то, что в ряде российских вузов ведется подготовка аспирантов в области электротехнологий, некоторые наиболее актуальные курсы по этому направлению пока недоступны. Планируемые к созданию в ходе проекта учебные курсы будут читаться на английском языке, они базируются на использовании современных теоретических подходов и методов численного моделирования, управления и оптимизации, что позволит аспирантам приобрести глубокое понимание сути и возможностей изучаемых электротехнологий, овладеть искусством прикладных исследований и умением применять теоретические результаты для решения практических задач реального производства. Методология интерактивного и проблемного обучения формирует у студентов умение эффективно использовать приобретенные знания в практических ситуациях. Для участников проекта предусмотрены длительные (один-два месяца) интенсивные семинары в университетах-партнерах.

Выводы. Большинство рассмотренных конкретных исследовательских проектов находятся в постоянном развитии. Их теоретическая и методологическая база может быть использована для решения широкого круга технологических проблем, выходящих за рамки перечисленных выше.

Представленные результаты иллюстрируют большой потенциал развиваемых в ходе партнерства Института электротехнологий и СамГТУ оптимизационных стратегий, что позволяет применять их для увеличения производительности и качества конечной продукции, снижения времени простоя оборудования, увеличения технологической гибкости производственных процессов. В конечном итоге это ведет к росту экономической эффективности и энергосбережению; последнее особенно важно в экологическом аспекте.

Благодаря совместным усилиям в образовательной сфере и научным достижениям участников международных проектов в области математического моделирования и оптимального управления создаются высокоэффективные технологии в различных сферах промышленного производства. Пример стратегического взаимодействия Института электротехнологий и СамГТУ показывает, что на современном этапе *международное сотрудничество* вузов характеризуется переходом к *международной интеграции* в сфере науки и образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Muhlbauer A.* History of Induction Heating and Melting. Vulkan-Verlag GmbH, Essen (Germany), 2008, p. 202.
2. *Rapoport E., Pleshivtseva Yu.* Optimal Control of Induction Heating Processes. *DK6039*, CRC Press/Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway, NW Suite, 300. Boca Raton, FL 33487 (USA), 2007, 349 p.
3. *Nacke B., Pleshivtseva Yu.* The review of common activity of ETP and SamSTU in the field of simulation and optimization of electrotechnogiccal processes. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XII Междунар. конф. – Самара: СНЦ РАН, 21-23 июня, 2010. – С. 74-80.
4. *Быков Д.Е., Якубович Е.А.* Международная образовательная интеграция университета в рамках участия в проектах европрограммы Tempus. Материалы XVII Междунар. научно-метод. конф. «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, т.1, с. 23-25.
5. *Pleshivtseva Yu., Nacke B.* Optimal control of induction heaters for forging. Heat Processing (7) Issue 1, 2009, pp. 57-62, ISSN 1611-616X, Vulkan-Verlag GmbH, Essen (Germany).
6. *Pleshivtseva Yu., Rapoport E., Efimov A., Nacke B., Nikanorov A.* Optimal design and control of induction heaters for forging industry. Proc.: International Seminar «Heating by Electromagnetic Sources» HES-07, Padua, Italy, June 19-22, 2007. – pp. 251-258.
7. *Pleshivtseva Yu., Zaikina N., Nacke B., Nikanorov A.* Time-optimal control of energy-efficient heating of aluminum billets rotating in DC magnetic field. Przegrad Electrotechniczny (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 84 NR 11/2008, pp. 120-123.
8. *Pleshivtseva Yu., Rapoport E., Afinogentov A., Shemyakin Yu., Nacke B., Nikanorov A.* Application of optimal control theory for optimisation of metal hot forming lines with induction pre-heating, Proc.: International Seminar «Heating by Electromagnetic Sources» HES-10, Padua, Italy, May 19-21, 2010.
9. Современные энергосберегающие электротехнологии: Учеб. пособие для вузов / Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никаноров и др. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2000. – 564 с.
10. *Муравьева А.А.* Совместные программы высшего образования // Alma Mater. Вестник высшей школы. – 2010. – №9. – С. 11-14.

Статья поступила в редакцию 4 мая 2011 г.

UDC 378(06)

**SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL INTEGRATION OF
THE UNIVERSITIES UNDER EUROPEAN PROGRAMS
OF ACADEMIC COOPERATION**

B. Nacke¹, Yu.E. Pleshivtseva², E.A. Yakubovich²

¹ Institute of Electrotechnology, Leibniz University of Hannover,
4, Wilhelm-Busch St., Hannover, Germany, 301167

² Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskay st., Samara, 443100

The article presents the main directions, forms and results of strategic cooperation between the Institute of Electrotechnology of the Leibniz University of Hannover, Germany and Samara State Technical University in the field of modeling and optimization of the electrotechnological processes and educational activities. The organic relationship between the development of joint scientific research and improvement and modernization of higher education at the present stage of its reform in Russia is shown.

Keywords: *international cooperation, research, educational programs, modeling, numerical model, the optimal control, algorithm, electrotechnological processes, induction heating.*

*B. Nacke – Director of the Institute of Electrotechnology, Leibniz University of Hannover.
Yu.E. Pleshivtseva – Professor of the Department «Management and Systems Analysis in Heat-power».
E.A. Yakubovich – Head of International Relations.*