

# ХРОНИКА

УДК 622.331(092)(470.331)

## РАЗВИТИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ КАФЕДРЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РОССИИ (К 100-ЛЕТИЮ ТВГТУ)

О.О. НОВИКОВА, канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,  
наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: onvk@mail.ru

© Новикова О.О., 2022

В статье описывается история трибологической школы кафедры прикладной физики Тверского государственного технического университета в контексте развития технического потенциала России. Приведены сведения о направлениях научной школы, созданных в разное время, и выдающихся ученых, работающих на кафедре.

*Ключевые слова:* кафедра, трибологическая школа, научная деятельность, трение, образование.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2022-1-97-105**

### Введение

В 2022 году исполняется 100 лет Тверскому государственному техническому университету. Основанный как Московский торфяной институт, вуз готовил инженеров, владеющих глубокими теоретическими знаниями фундаментальных явлений и законов природы, для чего в первые годы была образована кафедра прикладной физики. За время ее существования в коллективе работали уникальные специалисты и была создана научная трибологическая школа. Формирование и развитие в течение почти 100 лет различных научных направлений данной школы определяются необходимостью решения конкретных технических задач, диктуемых приоритетными направлениями развития техники и технологии.

### Научное направление физики и трения торфа

В 30-е годы XX века процесс становления промышленности СССР привел к необходимости поиска новых источников энергии. Огромные запасы торфяных месторождений, открытые на территории нашей страны, в частности Калининской области, давали возможность обеспечивать топливом котельные фабрик и заводов. Остро встал вопрос о развитии механизированных способов добычи, сушки, транспортировки торфа, а также снижении изнашивания узлов трения торфяных машин.

Проблемы трения, изнашивания трибоузлов торфяного оборудования составляли область научных интересов д.т.н., проф. Михаила Павловича Воляровича – заведующего кафедрой физики Московского (а впоследствии Калининского) торфяного института. Им лично и его учениками была создана уникальная научная школа в области физики торфа и был сделан значительный теоретический и экспериментальный

вклад в развитие физики торфа как науки, связанной с углубленным изучением тепломассопереноса, высокодисперсной части торфа, структуры и состава его отдельных компонентов с помощью рентгенографических, спектральных, геофизических и других новых видов физико-химических методов исследований [1, 2].

Под руководством М.П. Воляровича подготовлено 27 докторов и 125 кандидатов наук. Кроме того, он опубликовал более 450 статей и 9 монографий. Среди его учеников можно выделить таких известных ученых, как академик Национальной академии наук Беларуси И.И. Лиштван; д.т.н., проф. А.Е. Афанасьев; д.т.н., проф. И.И. Беркович; д.т.н., проф. Н.И. Гамаюнов; д.т.н., проф. Н.В. Чураев и др.

Исследования процессов трения торфа успешно продолжил ученик М.П. Воляровича – И.И. Беркович (впоследствии д.т.н., проф., один из ведущих сотрудников кафедры). Им и его учениками В.Е. Никишиным, М.И. Гузманом, Ю.И. Морозовой был решен ряд теоретических и прикладных задач по расчету параметров технологических процессов переработки дисперсных материалов и получения изделий методом прессования. Результаты их работы необходимы при проектировании энергоресурсосберегающего оборудования и технологии для прессования изделий из дисперсных материалов [3].

### **Научное направление механики и физики контактного взаимодействия, трения и изнашивания деталей машин**

В послевоенное время необходимость восстановления разрушенных промышленных предприятий и повышения их конкурентоспособности определила значительный интерес во всем мире к изучению процессов трения и изнашивания. Одновременно развитие новых, более точных методов исследований способствовало прогрессу в понимании физико-химических процессов, происходящих в зоне контакта взаимодействующих при трении поверхностей. За рубежом получила распространение адгезионно-деформационная теория трения, развивавшаяся кембриджской школой трибологов, возглавляемой Ф.Ф. Боуденом и Д. Тейбором. В то же время в нашей стране получила развитие молекулярно-механическая теория Игоря Викторовича Крагельского. Одним из учеников И.В. Крагельского был Николай Борисович Демкин, д.т.н., проф., зав. кафедрой физики Калининского политехнического института с 1965 года.

Н.Б. Демкин создал научную школу по контактному взаимодействию деталей машин, трению и изнашиванию, которая также получила всемирное признание. Разработанная теория контактирования реальных технических поверхностей оказалась очень эффективна при создании инженерных методик и компьютерных моделей для определения основных характеристик фрикционного контакта, необходимых в трибологических расчетах, в частности в расчетах энергетических потерь в узлах трения, в прогнозировании срока службы таких узлов и для повышения их надежности и долговечности. Под руководством Николая Борисовича подготовлено 4 доктора наук и 38 кандидатов наук, им опубликовано свыше 300 печатных работ и 6 монографий [4, 5].

### **Научное направление триботехники магнитопассивных и магнитожидкостных узлов трения**

Конец XX века ознаменовался бурным развитием высокотехнологичного станко- и приборостроения, аэрокосмического и транспортного машиностроения. Рынок диктовал необходимость в инновационном оборудовании для добывающей и нефтегазовой промышленности. Узлы трения машин и оборудования должны были успешно функционировать в нестандартных внешних условиях: в вакууме,

агрессивных и газовых средах, достаточно широком диапазоне давлений и температур, (при отсутствии регулярного технического обслуживания). Одним из наиболее оптимальных путей создания трибоузлов, отвечающих этим требованиям, является разработка конструкций и материалов для магнитопассивных и магнитожидкостных трибосопряжений.



Участники научного трибологического семинара на кафедре прикладной физики в 1996 году.

Стоят: д.т.н., проф. В.Г. Павлов, д.т.н., проф. И.И. Беркович, д.т.н., проф. А.Н. Болотов, д.т.н., проф. А.А. Ланков.

Сидят: д.т.н., проф. Н.Б. Демкин, к.т.н., доцент О.О. Новикова, д.т.н., проф. В.В. Измайлов, д.ф.-м.н., проф., академик РАН И.Г. Горячева, аспирант Н.А. Горячева

Исследование трибомагнитных эффектов и разработка перспективных магнитных узлов трения являются одними из основных научных интересов д.т.н., профессора Александра Николаевича Болотова. Начав преподавательскую и научно-исследовательскую деятельность в 1977 году в ТвГТУ, А.Н. Болотов защитил докторскую диссертацию в 1993 году в Институте машиноведения Российской академии наук (ИМАШ РАН) по теме «Триботехника магнитопассивных и магнитожидкостных подшипниковых опор скольжения» и с 1995 года является заведующим кафедрой прикладной физики. Под руководством А.Н. Болотова сформирована новая научная школа триботехники магнитопассивных и магнитожидкостных узлов трения, в основе которой лежит несколько научных направлений: создание магнитожидкостных смазочных материалов с заданными свойствами; разработка конструкций саморазгружающихся магнитопассивных подшипников и направляющих скольжения левитирующего типа, магнитожидкостных уплотнений; разработка испытательного оборудования и методик исследования новых магнитных смазочных материалов. Научные результаты, полученные А.Н. Болотовым и его учениками (К.К. Созонтовым, Г.С. Елисеевой, Н.В. Лочагиным, В.Л. Хреновым, В.В. Новиковым, О.О. Новиковой, И.В. Горловым, М.В. Васильевым, Д.А. Зоренко, А.А. Рачишкиным, Ю.А. Стрельниковым), позволяют конструировать различные типы магнитных трибоузлов, в которых с помощью магнитосиловых взаимодействий практически полностью устраняются трение и износ [6]. Конструкции магнитожидкостных подшипников скольжения, уплотнений, муфт, систем магнитной разгрузки опор скольжения нашли применение на

предприятиях химической, алмазобрабатывающей, оборонной промышленности, точного станкостроения и вычислительной техники, геофизического оборудования (г. Смоленск – ПО «Кристалл», г. Иваново – СКТБ «Полюс», г. Дзержинск – ПО «Синтез», ВНИИГИС и др.). Разработанные магнитные трибоузлы способны работать в широком диапазоне нагрузок, скоростей скольжения и температур.

Технологический прогресс, достигнутый в начале XXI века, открывает широкие перспективы для создания и внедрения принципиально новых материалов – магнитных смазочных наномасел и наножидкостей [7, 8]. Учеными научной школы под руководством А.Н. Болотова детально изучен механизм антифрикционного действия таких наномасел, что позволило оптимизировать их состав для различных условий эксплуатации на этапе проектирования магнитного узла трения. Создаваемые на их основе трибоузлы нового поколения будут интегрированы в узлы аэрокосмической техники в качестве компонентов летательных аппаратов, поскольку отвечают таким основным требованиям, как низкое трение, высокая несущая способность, износостойкость, надежность, компактность, длительная автономная эксплуатация в широком температурном диапазоне, минимальное электропотребление.

В настоящее время, опираясь на достижения научных школ и учитывая потребности современного машиностроительного производства, ученые кафедры прикладной физики развивают несколько новых научных направлений. Одним из наиболее актуальных является успешно развиваемая А.Н. Болотовым совместно с В.В. Новиковым, О.О. Новиковой, Д.А. Зоренко технология получения новых триботехнических материалов с помощью метода микродугового оксидирования. Варьируя наполнители керамической оксидной матрицы, можно получать материалы различного назначения: упрочняющие для поверхностей трения магнитожидкостных узлов или композиционные твердосмазочные для трибоузлов сухого трения. Разработана технология получения композиционных материалов с матрицей из оксида алюминия и наполнителей из микродисперсного дисульфида молибдена, графита и нанодисперсного магнетита. Полученные покрытия можно использовать в узлах трения, эксплуатирующихся длительное время в условиях отсутствия технического обслуживания, в частности в отраслях космического машиностроения, точного приборостроения.

Наибольший интерес представляет разработка технологии получения многофункционального алмазосодержащего материала, изготовленного методом порошковой металлургии из алмазно-алюминиевой смеси, с последующим формированием на его поверхности керамического алмазосодержащего покрытия методом микродугового оксидирования [9, 10]. Оригинальная технология позволяет получать материалы двух типов: антифрикционные конструкционные материалы для узлов трения скольжения и инструментальные материалы для абразивной обработки.

### **Научное направление надежности и эффективности электроконтактных и электрофрикционных соединений**

Проблема повышенного износа электроконтактных соединений становится особенно актуальной в последние годы в связи с современной тенденцией к миниатюризации и микроминиатюризации технических устройств, а также в связи с сохранением и даже увеличением электрической мощности, передаваемой через электрофрикционное соединение. Под руководством д.т.н., проф. Владимира Васильевича Измайлова получило развитие направление научных исследований по повышению надежности и эффективности электроконтактных и электрофрикционных соединений.

Разработанные В.В. Измайловым и его учениками математические и компьютерные модели позволяют прогнозировать механические, физические и эксплуатационные характеристики различных по конструкции и назначению электроконтактных соединений, являющихся неотъемлемой частью практически любого современного технического устройства. Совместно с А.Ф. Гусевым, К.Б. Корнеевым, М.С. Куровой, И.Н. Нестеровой, А.А. Митюрёвым, М.В. Новоселовой, Т.И. Узиковой исследовано влияние топографии, состояния поверхности и свойств контактирующих материалов на контактную жесткость, электрическую и термическую проводимость контакта, коэффициент трения и интенсивность изнашивания, что позволило разработать уточненные инженерные методики расчета электротехнических и электромеханических устройств. Разработано множество перспективных композиционных электроконтактных и электрофрикционных материалов, в том числе жидкометаллических. Такие материалы с заданными свойствами позволяют повысить надежность электроконтактных устройств, на несколько порядков сократить потери энергии в электроконтактных соединениях, снизить пожароопасность электрооборудования, уменьшить расходы на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования, а также сократить расход дефицитных и дорогостоящих цветных и благородных металлов в электрокоммутирующих устройствах. Данные материалы нашли применение в электросварочном оборудовании, в электродвигателях различного назначения, на электрическом железнодорожном и городском транспорте. Разработана методика прогнозирования остаточного ресурса электроконтактных соединений на основе мониторинга их текущего состояния, которая позволяет повысить надежность и безопасность ответственных энергетических систем [11–15].

### **Преимущества и направления развития кафедры прикладной физики**

На кафедре прикладной физики ТвГТУ подготовка научно-педагогических кадров ведется со студенческой скамьи. Для аспирантов разработан научно-исследовательский курс «Трибология». Он позволяет им научиться оценивать надежность и эффективность машин и механизмов на основе анализа физико-механических процессов в зоне трения, грамотно выбирать функциональные материалы, покрытия и смазочные материалы, изучать современные методы управления качеством поверхности деталей и способы повышения ресурса оборудования.

На основе научной школы кафедры много лет ведется подготовка кадров в аспирантуре. В числе успешно окончивших аспирантуру при кафедре физики и защитивших диссертацию есть не только сотрудники кафедры (в разные годы это были В.М. Алексеев, А.Н. Болотов, А.Ф. Гусев, В.В. Измайлов, Ю.И. Морозова, В.Е. Никишин, В.В. Новиков, О.О. Новикова), но и многие бывшие и нынешние сотрудники других кафедр Тверского государственного технического университета: И.В. Горлов, Д.А. Зоренко, Н.Н. Киршин, К.Б. Корнеев, М.А. Коротков, А.А. Митюрёв, И.Н. Нестерова, А.А. Рачишкин, А.И. Тогоев, Т.И. Узикова, В.Л. Хренов, А.С. Шевченко. Успешно работают на предприятиях Тверской области после защиты диссертации бывшие аспиранты кафедры прикладной физики – Р.С. Вареца, Э.А. Деменков, Ю.А. Стрельников, С.В. Удалов.

На базе кафедры функционирует диссертационный совет по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата технических наук. Первоначально (до 1975 года) правом принимать к защите диссертации по специальности «Трение и износ в машинах» был наделен ученый совет института. С 1976 года в стране стали создаваться специализированные советы по защите кандидатских и докторских диссертаций. В Калининском политехническом институте также был создан

специализированный совет К-43/2 (позднее К 063.22.02), в котором принимались к защите диссертации по специальностям «Трение и износ в машинах» и «Механика деформируемого твердого тела». Преемником данных советов стал диссертационный совет Д 212.262.02, который функционировал до 2016 года и принимал к защите докторские и кандидатские диссертации по этим же специальностям. С 1977 года по специальности 05.02.04 Трение и износ в машинах в указанных советах защитили диссертации свыше 150 человек.

Потребность в дальнейшем развитии научно-технического потенциала России диктовала новую концепцию развития диссертационного совета. Огромную работу по созданию нового совета провели ректор ТвГТУ, д.ф.-м.н., проф. А.В. Твардовский, д.т.н., проф. А.Н. Болотов, д.т.н., проф. И.И. Измайлов, д.т.н., проф. В.И. Гультяев. В соответствии с приказом Минобрнауки России от 16 декабря 2020 года в ТвГТУ начал функционировать совет Д 212.262.07 по защите кандидатских и докторских диссертаций по научным специальностям 05.02.04 Трение и износ в машинах и 05.05.06 Горные машины (технические науки). Состав нового диссертационного совета включает 11 ведущих ученых университета, что подтверждает общероссийский авторитет тверской научной школы в областях трибологии и горного дела. Появление совета позволит расширить прием на бюджетные места аспирантуры наиболее талантливых выпускников ТвГТУ и укрепить кадровый потенциал вуза техническими специалистами высшей квалификации. 22 октября 2021 года прошло первое заседание нового диссертационного совета под председательством профессора А.Н. Болотова. Совет принял решение присудить Герману Раткевичу (ТвГТУ) ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.04 Трение и износ в машинах.



Заседание диссертационного совета по научным специальностям «Трение и износ в машинах» и «Горные машины» (22.10.2021)

На кафедре прикладной физики Тверского государственного технического университета с 1974 года ежегодно издается межвузовский сборник научных трудов «Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования» (ответственный редактор – д.т.н., проф. В.В. Измайлов). Журнал является одним из пяти сериальных изданий, учрежденных в ТвГТУ. Материалы сборника публикуются в информационных базах научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU и входят в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Сборник посвящен наиболее актуальным вопросам, касающимся



физических, химических, механических процессов на поверхности и в контакте твердых тел, а также различных деталей машиностроительных и энергетических машин и оборудования, например подшипников, в том числе магнитных, электрических коммутирующих устройств, узлов и деталей штампов и др. В числе авторов сборника не только ученые г. Твери, но и специалисты ведущих научных и учебных заведений других городов России, а также ближнего и дальнего зарубежья.

В последние три года еще одно издание, учрежденное ТвГТУ, – журнал «Вестник Тверского государственного технического университета. Серия “Технические науки”» – вышло на новую ступень развития благодаря трибологической школе кафедры. С приходом на должность главного редактора д.т.н., профессора А.Н. Болотова началась огромная работа по выведению журнала на новый научный уровень. В 2021 году научное издание «Вестник Тверского государственного технического университета. Серия “Технические науки”» стал единственным в Тверской области техническим журналом, включенным Министерством образования и науки Российской Федерации на основании рекомендации Высшей аттестационной комиссии в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и ученой степени доктора наук по ряду научных специальностей, в том числе по специальности «Трение и износ в машинах».

Неоценимая безвозмездная работа по продвижению журнала была проделана членами редколлегии, отделом научных изданий, отделом разработки и сопровождения информационных систем, редакционно-издательским центром под руководством ректора ТвГТУ, д.ф.-м.н., проф. А.В. Твардовского, проректора по НИИД, д.э.н. А.А. Артемьева, ответственного секретаря журнала, к.ф.-м.н., доцента Л.Е. Афанасьевой.

Большая часть членов редакционной коллегии журнала являются ведущими трибологами России и Белорусии и принимают активное участие в работе научного издания.

На базе кафедры «Прикладная физика» регулярно проводятся научно-технические семинары, в которых принимают участие главные трибологи нашей страны.



Профессорско-преподавательский состав кафедры прикладной физики в 2022 году.

Стоят: зав. лабораториями В.С. Калашников;  
доцент А.Ф. Гусев; методист А.В. Шарловская;  
доценты М.В. Новоселова, А.В. Мишина, О.О. Новикова, В.В. Новиков.  
Сидят: зав. кафедрой проф. А.Н. Болотов, проф. В.В. Измайлов

*Вестник Тверского государственного технического университета.  
Серия «Технические науки». № 1 (13), 2022*

Опыт научных школ и имеющиеся академические и производственные связи позволяют ученым кафедры прикладной физики принимать активное участие в подготовке Всероссийской научно-технической конференции «Инновационное развитие машиностроения и энергетики России», которая проводится в ТвГТУ на базе машиностроительного факультета. Очередная конференция, которая состоится в 2022 году и будет посвящена 100-летию университета, даст возможность обобщить результаты последних достижений в области современного машиностроения, трибологии и энергетики и наметить новые направления научных исследований.

Окидывая взглядом прошедшие годы (потери, свершения и достижения), тверские трибологи, ученые и преподаватели кафедры прикладной физики с надеждой смотрят в будущее. Опираясь на многолетний научный опыт и учитывая реалии современности, исследователи трибологической школы ТвГТУ в XXI веке внесут значимый вклад в развитие науки о трении и изнашивании, а также поспособствуют укреплению технического потенциала нашей страны.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Воларович М.П., Пухляк А.Е. Исследование внешнего трения и прилипания торфа // *Коллоидный журнал*. 1935. Т. 5. Вып. 1-2. С. 89–94.
2. Воларович М.П., Тропин В.П. Электронно-микроскопические исследования саморазогревающегося фрезерного торфа // *Торфяная промышленность*. 1964. № 2. С. 26–30.
3. Berkovich I.I. Friction of powder materials with solids. Part 1. Calculation of contact characteristics and tribological tests // *Journal of Friction and Wear*. 1995. Т. 16. № 6. P. 1079–1097.
4. Демкин Н.Б. Контактное трение шероховатых поверхностей. М.: Наука. 1970. 228 с.
5. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение. 1981. 244 с.
6. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Расчет и оптимизация постоянных магнитов для специальных подшипниковых опор: монография. Тверь: ТвГТУ. 2013. 123 с.
7. Болотов А.Н., Новикова О.О. Смазочные свойства магнитных наножидкостей на основе эфиров карбоновых кислот // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2019. № 11. С. 555–563.
8. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. О зависимости коллоидной устойчивости магнитных жидкостей от диэлектрической проницаемости стабилизатора и дисперсионной среды // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2017. Т. 60. № 4. С. 75–81.
9. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Минералокерамический композиционный материал: синтез и фрикционные свойства // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2020. Т. 22. № 3. С. 59–68.
10. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Синтез абразивных инструментов с алмазным керамическим покрытием для прецизионной микрообработки сверхтвердых материалов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2020. № 4. С. 30–37.
11. Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. Применение статистических методов для прогнозирования остаточного ресурса электроконтактных соединений // *Электротехника*. 2008. № 1. С. 51–56.



12. Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. Прогнозирование остаточного ресурса электроконтактных соединений на основе статистического анализа данных тепловизионного мониторинга // *Электротехника*. 2009. № 5. С. 59–63.

13. Измайлов В.В., Новоселова М.В. Математическая модель для прогнозирования технического состояния электроконтактных соединений // *Контроль. Диагностика*. 2012. № 2. С. 38–43.

14. Измайлов В.В., Новоселова М.В. Влияние нанотопографии поверхностей на электрическое сопротивление дискретного контакта твердых тел // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2017. № 9. С. 210–216.

15. Измайлов В.В., Новоселова М.В. Электроконтактные свойства композиционного алмазосодержащего медного материала // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2020. № 5. С. 25–29.

**Для цитирования:** Новикова О.О. Развитие трибологической школы кафедры прикладной физики как отражение технического потенциала России (к 100-летию ТвГТУ) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 1 (13). С. 97–105.

**DEVELOPMENT OF THE TRIBOLOGICAL SCHOOLS OF THOUGHT  
OF THE APPLIED PHYSICS DEPARTMENT AS A REFLECTION  
OF THE TECHNICAL POTENTIAL OF RUSSIA  
(ON THE OCCASION OF THE CENTENARY OF THE TVSTU)**

O.O. NOVIKOVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,  
Russian Federation, e-mail: onvk@mail.ru

The article describes the history of the tribological school of the Department of Applied Physics of Tver State Technical University in the context of the development of the technical potential of Russia. The information about the directions of the scientific school created at different times and outstanding scientists working at the department is given.

*Keywords:* department, tribological school, scientific activity, friction, education.

Поступила в редакцию/received: 09.12.2021; после рецензирования/revised: 12.01.2022;  
принята/accepted: 14.01.2022