

# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

634050, г. Томск,  
пр. Ленина, 30, ТПУ  
Россия



Tomsk Polytechnic University  
30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Тел. (382-2) 70-17-79 Факс: (382-2) 56-38-65. УФК по Томской области  
р/с 40501810500002000002 в ГРКЦ ГУ Банка России по Томской области г.Томск БИК 046902001  
ИНН 7018007264 ТПУ л/с 20656У20990 ОКПО 02069303; E-mail: tpu@tpu.ru

## ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ

**Сети центров коллективного пользования Томского  
политехнического университета на 2021-2023 годы**

Томск 2021

Настоящая программа определяет перечень мероприятий, направленных на развитие функциональности и доступности центра коллективного пользования исследовательским и лабораторным технологическим оборудованием, и услугами Научно-образовательного инновационного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» Томского политехнического университета на 2021-2023 годы и направлена на решение следующих задач:

- a. Преобразование системы коллективного доступа и использования оборудования ЦКП;
- b. Формирование приборной базы мирового уровня;
- c. Повышение загрузки научного оборудования;
- d. Развитие системы обеспечения единства измерений;
- e. Развитие кадрового обеспечения;
- f. Повышение уровня и интенсивности взаимодействия ЦКП со сторонними организациями.

## **1. Введение**

Система коллективного пользования Томского политехнического университета зародилась при поддержке гранта CRDF в 2000 году, когда на его средства был оборудован и начал свою работу «Центр исследований свойств материалов» при НИИ ядерной физики. Большая потребность в современном аналитическом оборудовании при недостатке средств у большинства подразделений показала перспективность эксплуатации сложного научного оборудования в режиме коллективного пользования. Руководством ТПУ было принято решение развивать систему ЦКП и 27.10.2004г. на основании решения Ученого Совета Университета № 11 от 22 октября 2004 г. приказом ректора ТПУ №149/од был создан ЦКП.

Научно-аналитический центр как отдельное подразделение в структуре Научного управления, основным направлением деятельности которого, как наиболее востребованного в то время, было определено исследование химического состава веществ и материалов и их физико-химических свойств. В дальнейшем материальная база научных исследований Томского политехнического университета получила существенное развитие благодаря победе ТПУ в конкурсе инновационных образовательных программ вузов на 2007-2008 в рамках приоритетного национального проекта «Образование» и ее осуществлению. В рамках этой программы в ТПУ была создана сеть центров коллективного пользования.

Центр коллективного пользования НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» (ЦКП НМНТ ТПУ) был создан и первично укомплектован в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии Российской Федерации 2008-2010 г» как центр реализации разрабатываемых сотрудниками НМНТ современных аналитических и экспериментальных методик комплексных исследований свойств и методов создания керамических материалов с наноразмерными структурными элементами (зёрнами и порами) на основе ультрадисперсных порошков. Последующее развитие материально-

технической и методологической базы ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ базировалось на разработках сотрудников ТПУ и определялось на основе всё возрастающих потребностей различных исследовательских коллективов ТПУ, использующих его возможности для своих исследований в различных направлениях науки и техники: рациональные и энергоэффективные технологии консолидации керамических и композиционных порошковых материалов в изделия конструкционного, функционального и медицинского назначения с заданными физическими и механическими характеристиками, импульсные, плазмохимические и пучковоплазменные технологии получения наноструктурных порошковых материалов, функциональных и биосовместимых покрытий.

Дальнейшим шагом в развитии материальной базы ЦКП НОИЦ НМНТ стала победа ТПУ в конкурсном отборе программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «Национальный исследовательский университет» и победам в конкурсах, направленных на поддержку ведущих вузов по Постановлениям Правительства РФ №№ 218, 219, 220. В рамках этих программ в течение 2009-2011 годов ЦКП был дооснащен новым научным, технологическим и учебно- лабораторным оборудованием.

В настоящее время НОИЦ НМНТ является центром коллективного пользования с широким парком современного оборудования, которое доступно для всех исследовательских коллективов и подразделений как Томского политехнического университета, так и сторонних организаций.

## **2 Оценка уровня развития методической и экспериментальной приборной базы ЦКП.**

В настоящее время в ЦКП НОИЦ НМНТ достаточно полно представлено оборудование для выполнения следующих видов работ:

- Исследование фазового состава веществ и материалов (дифрактометр).
- Измерения физико-химических и механических свойств материалов (дилатометры, микро- и нанотвердомеры, ультразвуковые дефектоскопы, пирометры, тепловизоры, разрывные машины и др.).
- Микроскопия, измерение геометрических характеристик поверхности (электронные и оптические микроскопы, анализаторы площади поверхности и пористости, профилометры, измерители толщины пленки покрытий и пр.).
- Коррозионные испытания измерения (потенциостаты, ).
- Синтез порошковых материалов (установки для химического синтеза материалов, мельницы, магнитные гомогенизаторы и др.).
- Компактирование и консолидация объемных материалов (электроимпульсное плазменное спекание, горячее прессование, вакуумное и атмосферное спекание, традиционные методы прессования).
- Высокопроизводительные вычисления (моделирование процессов компактирования и консолидации материалов).

С использованием всего комплекса аналитического оборудования ЦКП НМНТ, а также усовершенствованных, разработанных и реализуемых на лабораторном технологическом оборудовании ЦКП НМНТ методик консолидации (электроимпульсное плазменное спекание - SPS, ультразвуковое, коллекторное, квазиизостатическое прессование) на протяжении его функционирования сотрудниками обеспечивались разработки перспективных керамических и композиционных материалов и оптимизации технологий производства на их основе оптических, люминесцентных, бронезащитных, радиационнозащитных, ударопрочных, износостойких и биосовместимых компонентов и изделий. В ходе исследований разработана методика построения и аппроксимации поверхности SPS-уплотнения порошковых материалов с оптимизацией режимов компрессионного и термического воздействия, отысканием наиболее благоприятного сочетания температуры и давления подпрессовки для достижения требуемой плотности. Разработана методика морфологической оптимизации состава многокомпонентных порошковых смесей, основанная на экспериментальных данных характеристики исходных порошков и построении дискретно-элементных моделей упаковки их частиц по критериям лучшего сочетания плотности и значения парциальных координационных чисел. С применением лабораторного технологического оборудования ЦКП НМНТ разработана новая экспериментальная методика изучения процессов консолидации порошковых материалов, позволившая выявить и использовать для оптимизации качественно новые закономерности и связи между

количественными режимами уплотнения порошков и физическими свойствами изделий; предложен принципиально новый подход к модельному описанию процессов уплотнения порошков в закрытых жёстких пресс-формах, позволяющий проводить количественную классификацию любых порошковых материалов и способов их прессования по характеристикам прессуемости, выявлять границы однозначно определяемых этапов и стадий процессов уплотнения любых порошков, на которых преобладают различные механизмы межчастичного взаимодействия. С применением испытательного оборудования доказана количественная связь между условиями внешнего энергетического воздействия на кристаллическую структуру уплотняемых порошковых материалов с упруго-пластическими характеристиками спечённых материалов, которая выражается в активационном и релаксационном влиянии ультразвуковых колебаний, степень преобладания которого определяется коэффициентом связности частиц. Способы ультразвукового (для кольцевых керамических изоляторов) и коллекторного (для бронезащитных элементов на основе оксида алюминия) прессования разработаны и внедрены в действующее серийное производство (ХК ОАО «НЭВЗ-Союз»).

В качестве обобщающего и наиболее показательного (по достигнутым результатам, востребованному количеству и качеству методик ЦКП и их дальнейшему развитию) примера можно привести результаты гранта РФФИ 17-13-01233 «Разработка люминесцентных наноструктурированных керамик на основе алюмомагниевого шпинели и кубического диоксида циркония с регулируемыми оптическими характеристиками», полученного и успешно выполненного исполнителями проекта с использованием ресурсов ЦКП НМНТ. В ходе проведённых исследований из исходных порошковых материалов на основе оксидных соединений и редкоземельных элементов с применением различных технологий консолидации были получены новые керамические люминесцентные материалы с заданными характеристиками. В процессе исследований их свойств были обнаружены следующие выходящие за рамки намеченных результатов эффекты.

- С использованием методов рентгеновской дифракции (на базе ЦКП НОИЦ НМНТ) и спектрофотометрии (на стороннем оборудовании) была обнаружена и успешно использована для оптимизации условий и режимов переработки материала устойчивая корреляция между параметрами кристаллической структуры оптической керамики, концентрацией кислородных вакансий в ней, положением спектра пропускания и интегральной интенсивностью люминесценции. Дополнительные (кроме XRD) структурные исследования полученных образцов могут существенно повысить достоверность этого результата и обобщить выявленную закономерность. Таковыми могут быть прямые измерения пористости высокоплотного оптического керамического материала методами гелиевой пикнометрии и ртутной порометрии, а также методы просвечивающей электронной микроскопии прямого (атомарного) разрешения.

- Также намечена на уровне проведенного по методике ЦКП НМНТ дискретно-элементного моделирования и получила частичное (на одном материале) экспериментальное подтверждение закономерная связь между найденными методом лазерной дифракции параметрами функций распределения различных классов частиц исходных порошковых материалов по размерам и макроструктурой (зёрненной и пористой) консолидированной из них керамики. Для исследуемого материала такая связь обнаружила значимую чувствительность к точности и повторяемости результатов лазерной дифракции.
- Наряду с этим, в образцах керамики, изготовленной методом электроимпульсного плазменного спекания (SPS) была отмечена достойная углублённого изучения тенденция закономерной связи оптических характеристик со степенью преимущественной ориентации зёрен, формируемой направленным энергетическим воздействием при SPS. Наряду с использованным методом косвенной количественной оценки такой ориентации на основе нарушения соотношения интенсивностей рефлексов рентгеновских дифрактограмм и наблюдаемой на СЭМ-изображениях полированной поверхности образцов в режиме фазового контраста (в электронах обратного рассеяния) чётко выраженной зёрненной структуры, представляется обоснованным использовать методики прецизионной высокотемпературной дилатометрии образцов в двух ортогональных направлениях и методы картирования дифракции электронов обратного рассеяния (EBSD).

Полученные результаты открывают перспективы успешного переноса методик оптимизационных исследований и применения полученных знаний в разработках других перспективных керамических материалов различного назначения, разрабатываемых и применяемых в различных направлениях науки и техники. Однако дальнейшее развитие данного задела не может быть эффективно проведено без расширения материальной базы, улучшения разрешающей способности имеющегося оборудования, повышения достоверности и производительности ряда методик, реализуемых в ЦКП НОИЦ НМНТ. В связи с этим предусмотреть приобретение нового оборудования и расширение возможностей имеющихся комплексов:

- Разрешающая способность гониометра, интенсивность и стабильность излучения рентгеновской трубки и достоверность детектирования отражённого пучка имеющегося в ЦКП НМНТ рентгеновского дифрактометра (Shimadzu XRD-7000F), достаточная для большинства рядовых измерений, со временем эксплуатации оказалась недостаточной для получения результатов, пригодных для высокоточного определения параметров искажённой кислородными вакансиями кристаллической структуры керамических материалов. Кроме того, необходимая для получения результатов с таким качеством прецизионная XRD-съёмка с обычным сцинтилляционным детектором

потребовала бы продолжительной экспозиции на каждый исследуемый образец статистически представительной партии и многодневной занятости одной из самых востребованных в режиме ЦКП установок. **Оптимальным решением указанной проблемы, кроме заказа мероприятий сервисного обслуживания, юстировки дифрактометра и замены выработавшей ресурс трубки, является его оснащение линейным кремниевым мультиполосным детектором (типа Shimadzu OneSight), который без снижения достоверности измерений увеличивает их быстродействие, минимум, в 10 раз.**

- **Снижение со временем эксплуатации достоверности (повторяемости) результатов исследований гранулометрического состава порошковых материалов методом лазерной дифракции на имеющейся в ЦКП НМНТ установке (Shimadzu SALD-7101), остающаяся в пределах допустимых пределов для стандартных испытаний, оказывается недостаточной для верификации дискретно-элементных моделей упаковки частиц полидисперсных составов и смесей материалов и их свойств, чувствительных к малым изменениям морфологии исходного сырья. Необходимы мероприятия по диагностике, сервисному обслуживанию и юстировке лазерного дифрактометра. Целесообразно также обновление соответствующего аппаратного (сервер) и программного обеспечения, реализующего метод дискретно-элементного моделирования в режиме многопользовательской среды удалённого пользования.**
- **Углублённое прямое изучение пористой структуры (остаточной пористости) высокоплотных материалов возможно только совместным применением методов гелиевой пикнометрии и ртутной порометрии на имеющихся в ЦКП НМНТ установках (Quantachrome Ultrapycnometer-1000 и PoreMaster-33), текущее состояние которых для обеспечения прецизионных измерений также требует диагностики, сервисного обслуживания и юстировки силами сертифицированных специалистов, дооснащение комплектами прецизионных измерительных ячеек и пенетрометров.**
- **Альтернативная оценка степени анизотропии (преимущественной ориентации) зёрненной структуры консолидированных высокоплотных материалов возможна методом прецизионной высокотемпературной дилатометрии образцов в нескольких ортогональных направлениях. Для реализации этой методики необходима диагностика, сервисное обслуживание и юстировка силами сертифицированных специалистов имеющейся в ЦКП НМНТ установки (NETZSCH DIL 402 E/7/G-Py) и её дооснащение удлинённой высокотемпературной термопарой и специализированными держателями и толкателем.**
- **Целесообразно приобретение дополнительных установок, востребованных в большинстве научных направлений**

материаловедения и расширяющих возможности ЦКП НМНТ, а также повышающих достоверность и дополняющих результаты исследований на имеющихся в ЦКП НМНТ установках: широкополосный (видимый и ближний инфракрасный диапазон) спектрофотометр (типа [Perkin Elmer Lambda 1050](#) или аналогов), позволяющий по разработанной методике в комплексе с имеющимися в ЦКП НМНТ методиками оценивать содержание кислородных вакансий в керамических материалах; систему картирования методом EBSD (типа [EDAX Pegasus Analysis System](#) или аналогов), позволяющей получать контрастную карту ориентационного кристаллографического положения различных зёрен в единой зёрненной поликристаллической структуре.

- Для расширения возможностей ЦКП НМНТ повышения достоверности и производительности исследований необходимо дооснащение имеющихся электронных микроскопов: сканирующего (JSM-7500FA) – безазотной (не требующей охлаждения жидким азотом) системой энергодисперсионного элементного анализа (типа EDS EX-35170EDES); просвечивающего (JEM-2100F) – комплекта специализированных держателей образцов для ПЭМ-анализа (типа Single Tilt Liquid Nitrogen Cooling Holder, Model 613). Кроме того, для ПЭМ JEM-2100F необходимо запланировать замену источника электронов, ресурс которого подходит к завершению в ближайшие два года.

Состав планируемого к закупке оборудования для дальнейшего развития центра коллективного пользования представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование оборудования	Фирма изготовитель, страна	Год приобретения
Комплект аналитических приставок типа EDS и EBSD для растрового электронного микроскопа JEOL JSM-7500FA	Bruker GmbH., Германия	2021
Комплект специализированных держателей образцов для просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-2100F	JEOL corp., Япония	2022
Замена электронной пушки просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-2100F	JEOL corp., Япония	2022
Комплект прецизионных измерительных ячеек и пенетрометров имеющегося аналитического оборудования Quantachrome (гелиевого пикнометра Ultracycrometer 1000 и ртутного	Quantachrome, США	2022

поромера PoreMaster 33		
Широкополосный спектрофотометр (Shimadzu UV-3600Plus с приставками или аналог)	Shimadzu, Япония	2022
УФ-спектрофотометр (METTLER TOLEDO UV7 или аналог)	METTLER TOLEDO UV7 или аналог	2022
Комплект высокотемпературной оснастки (держатели и толкатели, датчики) для проведения прецизионных высокотемпературных исследований материалов на дилатометре NETZSCH DIL 402 E/7/G-Py	NETZSCH, Германия	2023
Кремниевый мультиполосный детектор Shimadzu OneSight и рентгеновская трубка для имеющегося рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000	Shimadzu, Япония	2023
Ремонт и юстировка имеющегося лазерного дифракционного анализатора размеров частиц Shimadzu SALD-7101	Shimadzu, Япония	2023

В области методического и организационного обеспечения проводимых работ и в целях дальнейшего комплексного развития и повышения эффективности использования оборудования ЦКП необходимо проведение следующих мероприятий:

- Разработать, внедрить и обеспечить широкое использование упрощенной системы доступа и использования научного оборудования ЦКП НОИЦ НМНТ.

- Сформировать перспективные планы по обновлению, расширению и модернизации оборудования.

- Разработать и утвердить положения комплексной процедуры приобретения нового оборудования, включающей обоснование необходимости приобретения и учитывающей материально-техническое и кадровое обеспечение ЦКП.

### **3. Научно-методический потенциал.**

Наличие современной приборной базы и квалификация сотрудников в настоящее время позволяет на высоком уровне обеспечивать выполнение следующих работ:

- Разработку и аттестацию новых и имеющихся методик проведения экспериментов на базе приборов и оборудования ЦКП;
- Создание базы данных аттестованных методик;
- Обучение персонала ЦКП и представителей организаций-пользователей работе;
- Формирование планов экспериментальных научно-исследовательских работ, выполняемых на оборудовании ЦКП для

подразделений ТПУ, других вузов, научных центров и предприятий;

- Приоритетное обеспечение проведения фундаментальных научных исследований с использованием уникальных приборов и оборудования ЦКП;
- Поддержку развития отечественных научных школ на научно-методической и материально-технической базе ЦКП;
- Использование научно-исследовательской базы ЦКП для освоения новых образовательных технологий;
- Разработка образовательных блоков совместно с Управлением магистратуры, аспирантуры и докторантуры (УМАД);
- Поддержку учебного процесса – проведение занятий и лабораторных практикумов с привлечением современного аналитического оборудования ЦКП, привлечение широкого круга студентов и аспирантов к освоению современных методов исследований;
- Организацию консультаций, стажировок, практикумов и семинаров на базе ЦКП по тематикам, соответствующим направлениям деятельности ЦКП;
- Обеспечение подготовки и переподготовки специалистов, повышения квалификации научно-педагогических кадров, подготовки научных кадров - кандидатов и докторов наук;
- Развитие межвузовских, в том числе международных связей ЦКП, взаимодействие с научно-исследовательскими и производственными организациями по проведению совместных исследований и разработок.

#### **4. Развитие кадрового потенциала.**

Томский политехнический университет, как высшее учебное заведение высшего профессионального образования имеет особенности в использовании оборудования, обусловленные выполнением своей главной задачи – обеспечением высокого уровня учебного процесса. При этом имеются объективные препятствия для увеличения загрузки оборудования, используемого в учебном процессе и повышения эффективности эксплуатации оборудования, эксплуатируемого профессорско-преподавательским составом:

- работа в одну смену, что обусловлено высокой учебной нагрузкой профессорско-преподавательского состава;
- вовлеченность существенной доли оборудования в учебный процесс («периодическая» - семестровая или курсовая загрузка);
- затрудненность физического доступа к оборудованию других подразделений университета;
- отсутствие в достаточном количестве хорошо подготовленных специалистов-операторов и, как следствие, низкая достоверность полученных результатов, высокая вероятность выхода из строя оборудования;
- нет стабильных и заранее определенных руководителями

подразделений источников финансирования расходов на содержание оборудования: ремонт, приобретение расходных материалов, повышение квалификации персонала и др., особенно при выполнении заявок других подразделений и сторонних организаций.

В настоящее время к самостоятельной работе на оборудовании ЦКП допущены более 100 человек из подразделений ТПУ и организаций сотрудничающих с ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ.

В целях организации постоянного контроля за эксплуатацией оборудования к каждой единице оборудования прикреплен оператор ответственный за эксплуатацию оборудования.

Перспективным планом развития кадрового обеспечения ЦКП необходимо предусмотреть:

- подготовку специалистов на постоянной основе для работы и обслуживания приборов преимущественно из числа учебно-вспомогательного персонала подразделений, магистрантов и аспирантов, организации систематически действующих курсов по их обучению и повышению квалификации с целью обеспечения каждой единицы сложного оборудования не менее, чем двумя операторами;

- Создание, развитие и постоянное функционирование «Института операторов», с целью ежегодной подготовки и повышения квалификации не менее 50 операторов оборудования с привлечением ведущих специалистов ТПУ, других ВУЗов, представителей организаций-пользователей ЦКП.

## **5. Повышение уровня взаимодействия ЦКП со сторонними организациями.**

Взаимодействие со сторонними заказчиками осуществляется на договорной основе на основании утвержденного Положения о порядке оказания услуг (<http://portal.tpu.ru/departments/centre/nac/documents>). Калькуляция стоимости проведения работ в интересах сторонних заказчиков осуществляется в соответствии с методическими рекомендациями Департамента развития перспективных направления науки и технологий РФ Минобразования для центров коллективного пользования.

Для повышения уровня и интенсивности взаимодействия с государственными, образовательными, научными, производственными и коммерческими организациям региона и расширения перечня оказываемых услуг необходимо регулярное проведение следующих мероприятий:

1. Проведение маркетинговых исследований с целью определения потребностей рынка, предприятий региона в предоставлении сертифицированных услуг (сертификация продукции, услуг и др.).

2. Увеличение количества оказываемых сертифицированных услуг, расширение области аккредитации в направлениях, востребованных потенциальными заказчиками.

3. Развитие рекламной деятельности, осуществление электронных и почтовых рассылок по предприятиям региона с информацией о предоставляемых услугах ЦКП НОИЦ НМНТ.

4. Проведение презентационных семинаров об аналитических возможностях ЦКП НОИЦ НМНТ и предоставляемых им услугах для руководителей промышленных и коммерческих предприятий региона с целью увеличения доли выполняемых НИР, платных анализов (измерений) в интересах сторонних организаций.

5. Создание образовательного центра с целью организации курсов обучения и стажировок персонала сторонних организаций основам методов, работе на современном оборудовании, метрологическому обеспечению исследований; разработка, внедрение, материальное и методическое обеспечение курсов повышения квалификации.

6. Разработка, аттестация и продажа новых методик выполнения измерений с использованием современного аналитического и измерительного оборудования, проведение аттестации методик, разработанных в других организациях.

## **6. Заключение**

Выполнение поставленных в Программе развития ЦКП НОИЦ НМНТ Томского политехнического университета на 2021-2023 годы задач позволит:

- Сформировать легкодоступную систему коллективного пользования оборудованием НОИЦ НМНТ с единой экспериментальной и методической базой проведения поисковых исследований, комплексных разработок, реализации крупных инновационных проектов в рамках выполнения государственного заказа на научно-техническую продукцию на федеральном и региональном уровнях;
- Сформировать приборную базу мирового уровня для выполнения исследований по приоритетным направлениям развития науки и технологий;
- Повысить загрузку научного оборудования;
- Внедрить постоянно действующую систему обеспечения единства измерений;
- Достичь высококвалифицированного кадрового обеспечения проводимых научных исследований на современном оборудовании;
- Повысить уровень и интенсивность взаимодействия ЦКП со сторонними организациями.