

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ НОВОЙ МАГИСТЕРСКОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «НАНОБИОТЕХНОЛОГИИ»

Кустова Т.П., Фёдоров М.С.

Ивановский государственный университет

DOI 10.55959/MSU012444-6-2026-22-149-164

В рамках стартовавшего в 2025 году национального проекта «Молодежь и дети» реализуется направление «Университеты для поколения лидеров», целью которого государство видит создание условий для воспитания нового поколения учёных, способных совершать прорывные открытия. К 2030 году запланировано сформировать пул минимум из 100 вузов-лидеров, которые активно сотрудничают с академическими исследовательскими центрами и крупными предприятиями. На базе ведущих университетов создаются Передовые инженерные школы, открываются молодёжные лаборатории с самым современным оборудованием. Ключевой особенностью таких лабораторий является высокая численность молодых сотрудников в возрасте до 39 лет – не менее 2/3 коллектива [1].

Для успешной реализации нацпроекта очень важна консолидация ресурсов научных и образовательных организаций. В данной работе будет проанализирован опыт проектирования и реализации новой образовательной программы «Нанобиотехнологии» по направлению подготовки 04.04.01 Химия, которая стартовала в 2024/2025 учебном году в Ивановском государственном университете в партнёрстве с Институтом химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (ИХР РАН).

Следует отметить, что ИвГУ имеет большой опыт реализации магистерских образовательных программ (ОП), профиль которых

с 2010 года менялся в зависимости от запросов работодателей и направлений научных исследований преподавателей университета: «Теоретическая и экспериментальная химия» (2010–2015), «Физическая химия наноматериалов» (2017–2021), «Органическая и биологическая химия» (2017–2022), «Инноватика в химии и химическом образовании» (2021–2025), «Нанобиотехнологии» (с 2024 года по настоящее время).

Новый профиль магистерской ОП был выбран неслучайно. Нанобиотехнологии на современном этапе развития общества относятся к числу новых междисциплинарных направлений науки и технологий и играют ключевую роль в изучении живых систем на молекулярном уровне. Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН в качестве основных направлений своей научной деятельности рассматривает предметные области, непосредственно связанные с нанобиотехнологиями: синтез, химическое строение и реакционную способность макрогетероциклических соединений и супрамолекулярных систем на их основе, а также разработку новых фармацевтических форм лекарственных соединений и материалов биомедицинского назначения [2–8]. В институте работают известные специалисты в области нанобиотехнологий, функционирует Центр коллективного пользования, а научные лаборатории оснащены самым современным оборудованием.

Безусловно, важную роль в налаживании сотрудничества в рамках проектирования новой образовательной программы сыграли давние партнёрские отношения ИвГУ и ИХР РАН, закреплённые действующими договорами о практической подготовке обучающихся, а также тот факт, что более 30 выпускников ИвГУ в настоящее время активно работают в этом академическом институте, в том числе и на ключевых позициях руководителей научных подразделений.

При проектировании новой образовательной программы «Нанобиотехнологии» было решено сохранить два вида профессиональной деятельности, к которой будут готовиться выпускники – научно-исследовательскую и педагогическую. В связи с этим «педагогиче-

ский блок» учебных дисциплин и практик был перенесён из предыдущей ОП «Инноватика в химии и химическом образовании», а «научный блок» существенно пересмотрен и расширен. В учебную дисциплину «Приоритетные направления развития химии в XXI веке» были добавлены новые модули по сверхкритическим флюидным технологиям, химии люминесцентных соединений, плазмохимии, молекулярному дизайну лекарственных соединений. Разработкой рабочей программы этой дисциплины, планированием лекционных и практических занятий занялись ведущие ученые Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН. Тематическое планирование занятий представлено в табл. 1.

Таблица 1

Тематическое содержание основных разделов учебной дисциплины «Приоритетные направления развития химии в XXI веке»

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
1	Прогнозы, перспективы и этапы развития химии в XXI веке	Фундаментальные понятия современной химии. Глоссарий терминов. Тенденции развития современной химии: органической, физической, аналитической и др. Современная химическая термодинамика и кинетика	6
2	Новые явления и материалы в химии	Сверхкритические флюидные технологии инновационных материалов. Супрамолекулярная химия и наноматериалы. Люминесцентные соединения и материалы на их основе. Современные подходы к изучению фармакологически значимых свойств лекарственных средств. Системы доставки лекарственных средств: дизайн и принципы функционирования	20

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
3	Новые методы и технологии в химии	<p>Сокристаллизация как метод модификации фармацевтически-значимых физико-химических свойств лекарственных соединений.</p> <p>Современные физико-химические методы исследований модельных биологических мембран</p>	8
4	Современная функциональная химия	<p>Фотохимия. Законы фотохимии. Кинетические особенности фотохимических реакций. Супрамолекулярная фотохимия. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха.</p> <p>Радиационная химия. Источники излучения. Первичные и вторичные процессы. Кинетические особенности. Радиоллиз водных растворов. Радикальные реакции в химии, технологии и живом организме: радиационная стойкость материалов; перспективы химии радиационных процессов; радиационно-химические технологии; радиация и клетка.</p> <p>Криохимия. Низкотемпературные процессы в химии и химической технологии. Кинетические особенности и механизм.</p> <p>Звукохимия. Сонолиз. Типы звукохимических процессов. Влияние различных факторов на протекание сонолиза. Химия и ультразвук. Технологии и звукохимия.</p> <p>Плазмохимия. Виды газовых разрядов. Генераторы плазмы. Типы</p>	18

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		плазмохимических реакций. Низкотемпературная плазма – инструмент модификации поверхности полимерных материалов. Механохимия. Использование механохимии в технологических процессах. Фемтохимия. Основные задачи, перспективы использования. Когерентная химия. «Фотография» химической реакции. Технологии и фемтохимия	

В учебном плане подготовки магистров появилась новая учебная дисциплина «Физические методы исследования био- и наносистем», которая полностью реализуется на базе академического института и включает лекционные и практические занятия по ЯМР-, ИК, КР-спектроскопии, РСА, ХМС (табл. 2). Очевидно, что региональный вуз не имеет материальных возможностей для приобретения новейшего научного оборудования, стоимость которого исчисляется миллионами рублей, поэтому сотрудничество с научным институтом РАН эту проблему решает.

Таблица 2

Тематическое содержание основных разделов учебной дисциплины «Физические методы исследования био- и наносистем»

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
1	Масс-спектрометрия	Методы ионизации: электронный удар, фотоионизация, электрическое неоднородное поле, химическая ионизация. Ионный ток и сечение ионизации. Вертикальные и адиабатические переходы. Диссоциативная ионизация. Типы ионов в масс-спектрах. Прин-	6

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		<p>ципиальные схемы масс-спектрометров. Магнитный масс-спектрометр. Динамические масс-спектрометры. Спектрометр ион-циклотронного резонанса. Применение масс-спектрометрии. Идентификация и установление строения веществ. Расшифровка масс-спектров. Определение потенциалов ионизации и энергии разрыва связей. Термодинамические исследования. Определение парциальных давлений компонентов газовых смесей. Условия испарения вещества. Эффузионная ячейка Кнудсена. Определение теплоты сублимации, теплоты реакции и константы равновесия</p>	
2	Спектроскопия ЯМР	<p>Физические основы методов. Магнитные моменты ядер и электронов. Поведение магнитоактивных частиц во внешнем магнитном поле. Зеемановское расщепление уровней, Больцмановское распределение спинов ядер и электронов. Принципиальная блок-схема ЯМР-спектрометра стационарного типа и импульсного Фурье-спектрометра ЯМР. Техника и методика эксперимента. Общий вид спектра ЯМР и его</p>	6

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		обзорный анализ. Число сигналов, их форма, положение в спектре, интенсивность. Химический сдвиг, спин-спиновое расщепление, времена продольной и поперечной релаксации. Применение в химии спектроскопии ЯМР ^1H . Структурный анализ индивидуальных соединений, донорно-акцепторных и H-комплексов, хиральных молекул. Количественный анализ смеси. Изучение быстро протекающих процессов (химический обмен ядер, внутреннее вращение). Обнаружение и характеристика структуры интермедиатов в химических реакциях (карбокатионы, ионные пары и т. п.). Определение термодинамических характеристик химических реакций. Применение в структурно-аналитических целях спектроскопии магнитного резонанса на ядрах ^{13}C , ^{31}P , ^{19}F , ^{77}Se и др. Сравнение метода ЯМР с другими методами, его достоинства и ограничения	
3	Практический рентгеноструктурный анализ	Общие особенности дифракционных методов. Получение рентгеновских лучей. Характеристическое излучение. Общие особенности дифракции рентгеновских лучей.	6

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		Уравнение Брегга. Метод порошка Дебая-Шерера. Метод монокристалла Брегга. Определение параметров кристаллической структуры. Инструментальные методы рентгеноструктурного анализа. Методы расшифровки и уточнения кристаллических структур по рентгеновским дифракционным данным от монокристаллов и поликристаллов (порошков). Методы исследования реальной структуры монокристаллов по диффузному рассеянию рентгеновских лучей. Рентгеновские дифракционные методы исследования структуры наноматериалов	
4	Введение в молекулярную спектроскопию. Методы флуоресцентной спектроскопии	Явление флуоресценции. Спектры возбуждения и испускания флуоресценции. Флуоресцентные молекулы и материалы. Метод флуоресцентной спектроскопии для обнаружения, определения концентрации, изучения структуры, стабильности и взаимодействия биологических объектов – от молекул и их комплексов до клеток и тканей. Эффект внутреннего фильтра. Спектральные флуориметры – устройство, принцип действия. Анализ спектров излучения флуоресценции; анализ спектров возбуж-	6

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		дения флуоресценции. Построение трёхмерной матрицы зависимости спектров флуоресценции от длины волны возбуждения – «отпечатки пальцев» исследуемых молекул. Исследование кинетики флуоресценции. Получение спектров или исследование кинетики поглощения и пропускания. Флуоресцентная спектроскопия для исследования коллоидных квантовых точек	
5	Методы колебательной спектроскопии	Теоретические основы колебательной спектроскопии. Симметрия молекул и нормальных колебаний. Интенсивность колебаний. Форма полосы. Правила отбора. Резонанс Ферми. Эффекты кристалличности. Характеристические частоты. Концепция групповых колебаний, её достоинства и недостатки. Важнейшие области колебательных спектров (обзорный анализ). Принципы устройства и действия ИК-спектрометров. Фурье-спектроскопия. Характер и подготовка образцов. Применение ИК- и КРС-спектроскопии в химии. Структурно-групповой анализ на основе данных каждого метода, выводы из сопоставления ИК- и КР-спектров отно-	10

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		<p>сительно симметрии и тонких аспектов строения молекул. Идентификация структуры (область «отпечатков пальцев», колебания функциональных групп и отдельных структурных фрагментов, качественный и количественный анализ многокомпонентных смесей, характер и степень координации лигандов в устойчивых комплексах и т. п.). Исследование пространственной структуры молекул (форма, симметрия, геометрическая изомерия, конформационный анализ). Анализ внутримолекулярных электронных взаимодействий (эффект поля, эффекты сопряжения и т. д.), характеристика дипольных моментов и поляризуемостей отдельных связей, фрагментов и т. д. Нахождение силовых полей молекулы, корреляции, силовых постоянных с другими параметрами и свойствами молекул. Исследование межмолекулярных взаимодействий (комплексы с водородной связью, комплексы с переносом заряда, сольватационные эффекты, координационный катализ и т. п.). Исследования равновесий. Кинетические исследования. Рас-</p>	

№	Название раздела	Развернутое описание содержания раздела	Трудоёмкость, часы
		шифровка структуры на основании данных метода ИК- спектроскопии	
6	Рентгеновская фото-электронная спектроскопия и Оже-спектроскопия	Физические основы метода РФЭС. Фотоионизация остовного уровня рентгеновским излучением. Оже-процесс в РФЭС. Фотоэлектронный спектр. Тонкая структура спектров РФЭС. Химический сдвиг фотоэлектронных и оже-линий. Спектры валентной зоны. Спектральное разрешение в методе РФЭС. Оборудование для метода РФЭС. Методика анализа спектров в методе РФЭС. Математическая обработка спектров. Методы расчёта концентрации элементов. Послойный анализ в методе РФЭС. Ионное распыление. Разрешение по глубине при послойном анализе	4
7	Вращательная (микроволновая) спектроскопия	Вращательные переходы молекул. Вращательный спектр двухатомной молекулы. Микроволновый спектрометр, устройство, принцип действия. Измерение дипольных моментов молекул. Изучение строения неустойчивых частиц (радикалов, ионов, промежуточных продуктов, образующихся в результате пиролиза или при действии электрического разряда)	4

Следует отметить, что работа студентов в современных научно-исследовательских лабораториях мотивирует их к выполнению курсовых и дипломных работ на базе академического института, а также к дальнейшему обучению в аспирантуре. В настоящее время более 70 % студентов – химиков ИВГУ выбирают тематику выпускных квалификационных работ в рамках научных направлений ИХР им. Г.А. Крестова РАН, а на защитах демонстрируют высокий уровень сформированности компетенций химика-исследователя.

В современных исследованиях в области нанобиотехнологий важную роль играют теоретические методы компьютерной химии, позволяющие моделировать изучаемые объекты и предсказывать их характеристики и свойства. Это критически важный инструмент, который позволяет перейти от наблюдения за экспериментальными результатами к их глубокому пониманию и предсказанию на атомно-молекулярном уровне. Например, с помощью методов молекулярной динамики и квантово-химических расчётов можно прогнозировать структуру и свойства новых наноматериалов для доставки лекарств, изучать механизмы связывания биомолекул, целенаправленно проводить молекулярный дизайн биосенсоров и многое другое. Это существенно ускоряет исследовательский цикл, снижая затраты на ресурсоёмкие экспериментальные исследования.

Практический опыт работы со специализированным программным обеспечением формирует у выпускника цифровые компетенции, необходимые для решения комплексных задач на стыке химии, биологии и физики. При этом крайне важно не только научить студента провести расчёт, но и верифицировать результаты моделирования, проанализировать и обобщить полученные данные.

В новом учебном плане эти задачи решает дисциплина «Структурная химия и компьютерное моделирование био- и наносистем», которая в течение трёх семестров позволяет студентам получить теоретические знания и практический опыт компьютерного моделирования молекулярных систем. При проектировании рабочей программы данной дисциплины учитывался большой опыт и многочисленные

наработки сотрудников кафедры фундаментальной и прикладной химии ИвГУ в области квантово-химических расчетов, направленных на изучение структуры и свойств органических молекул [9, 10]. Значительная часть практических работ, связанных с расчётами в программах Gaussian и HyperChem, построена на основе методических разработок профессора Ивановского государственного университета, доктора химических наук Нины Ивановны Гиричевой и её студентов и аспирантов разных лет [11, 12].

В содержание дисциплины включены разделы, посвящённые современным методам квантовой химии и методикам проведения квантово-химических расчетов, вопросам симметрии молекул и их структурной нежесткости; студентами изучаются методы исследования геометрического и электронного строения молекул и молекулярных систем, подходы к изучению конформационных свойств органических молекул и др. В рамках практической части дисциплины студенты получают навыки и опыт работы с компьютерными программами для квантово-химических расчётов, а также для визуализации их результатов, учатся работать с различными специализированными базами данных. При этом компьютерное моделирование выполняется как с проведением квантово-химических расчетов, так и без таковых. В качестве одного из заданий при промежуточной аттестации в каждом семестре студентам предлагается распланировать и реализовать научно-исследовательскую работу, выполняемую по индивидуальному заданию. В результате к моменту окончания изучения дисциплины «Структурная химия и компьютерное моделирование био- и наносистем» каждый из обучающихся формирует и защищает научно-исследовательский проект. В текущем учебном году некоторые студенты планируют включить полученные результаты в выпускные квалификационные работы и использовать их для интерпретации или дополнения экспериментально полученных данных.

Ещё одним важным вектором развития профессиональных компетенций студентов, осваивающих образовательную программу «Нанобиотехнологии», стало участие в реализации программы инду-

стриального партнера ИвГУ – АО «ГЕНЕРИУМ». Это российская инновационная биотехнологическая компания, которая объединяет научно-исследовательский институт мирового уровня, центр управления доклиническими и клиническими исследованиями и высокотехнологичное производство. Сотрудничество ИвГУ с этим флагманским предприятием фармацевтической отрасли РФ началось в 2019 году и в настоящее время реализуется в нескольких формах. Во-первых, ежегодно студенты-химики и биологи старших курсов приглашаются на экскурсию в АО «ГЕНЕРИУМ», где знакомятся с полным производственным циклом выпускаемых предприятием лекарственных препаратов. Во-вторых, во время экскурсии и после неё проводятся собеседования студентов с работодателями, по результатам которых лучшие ребята получают приглашение на стажировку на предприятии. Так, летом 2025 года краткосрочные стажировки прошли три студента бакалавриата по направлению «Биология» и специалитета «Фундаментальная и прикладная химия». В настоящее время в этой биотехнологической компании проходят стажировку два студента магистратуры в лаборатории физико-химических методов контроля департамента контроля качества. В-третьих, на базе ИвГУ создана и активно функционирует партнёрская химическая лаборатория АО «ГЕНЕРИУМ», в которой проводятся работы лабораторного практикума по биохимии и научные исследования обучающихся ИвГУ. Всё это способствует развитию интереса к новому научному направлению – медицинской биотехнологии, а также профессиональному самоопределению студентов, осознанному выбору будущей работы по специальности.

Современная химия активно развивается в области новых технологий, направленных на снижение экологического следа производств, создания биоразлагаемых материалов и энергоэффективных процессов, не менее важны нанотехнологии, разработка функциональных материалов для электроники и медицины, синтез биосовместимых соединений и таргетных лекарств. Студенты, освоившие эти направления на этапе обучения, быстрее адаптируются к требованиям

рынка труда, способны участвовать в прорывных исследованиях и решать глобальные задачи: от разработки новых энергетических технологий до персонализированной медицины. Интеграция приоритетных тем в образовательные программы обеспечивает получение студентами фундаментальных знаний и практических навыков, позволяет готовить химиков-исследователей, способных формировать технологическое будущее страны.

Резюмируя изложенное выше, хочется сказать, что на современном этапе развития общества наука стала сферой, где талантливая молодежь может найти себя и успешно развиваться. В связи с этим одна из важных задач высшей школы – расширение научного кругозора студента, создание условий для его знакомства с приоритетными направлениями современной науки, а также с лучшими практиками работы творческих научных коллективов, увлечённых своим делом и нацеленных на конкретный результат, привитие «вкуса» к научной работе.

Безусловно важными для выстраивания жизненной траектории выпускника являются связи вуза с индустриальными партнёрами, особенно с теми, кто активно занимается научными изысканиями в своих исследовательских лабораториях и готов активно привлекать к этому студентов.

Оценив опыт реализации образовательной программы «Нанобиотехнологии» в магистратуре как успешный, мы приняли решение масштабировать его в 2026/2027 учебном году на образовательную программу специалитета «Фундаментальная и прикладная химия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальные проекты России. – URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/>.

2. *Sobornova V.V., Mulloyarova V.V., Belov K.V., Dyshin A.A., Tolstoy P.M., Kiselev M.G., Khodov I.A.* Structural and Sorption Characteristics of Nanocellulose Aerogel-Based Composite Materials Doped with Mefenamic and Flufenamic Acids: Insights from Magic Angle Spinning and High-Pressure NMR Spectroscopy. *J. Phys. Chem. Lett.*, 2025, 16 (26), pp. 6817–6824.

3. Dyshin A.A., Eliseeva O.V., Bondarenko G.V., Kolker A.M., Kiselev M.G. Dispersion of single-walled carbon nanotubes in dimethylacetamide and a dimethylacetamide–cholic acid mixture. *Russ. J. Phys. Chem. A*, 2016, 90, pp.2434–2439.
4. Oparin R.D., Krestyaninov M.A., Ivlev D.V., Dyshin A.A., Kuz'mikov M.S., Kiselev M.G. Reaction mechanism between carbon dioxide and mefenamic acid in saturated solution and within the confinement of a nanocrystalline cellulose aerogel. *J. Mol. Liq.*, 2025, 435, 128146.
5. Agafonov M., Nikitina M., Terekhova I. Preparation and study of thermosensitive hydrogels based on Pluronic F127, F68 and L64 as an injectable leflunomide delivery system. *J. Mol. Liq.* 2025, 437, Part B, 128491.
6. Agafonov A.V., Sirotkin N.A., Titov V.A., Khlyustova A.V. Low-temperature underwater plasma as an instrument to manufacture inorganic nanomaterials. *Russ. J. Inorg. Chem.*, 2022, 67 (3), pp. 253–261.
7. Bumagina N.A., Antina E.V., Ksenofontov A.A., et al. Basic structural modifications for improving the practical properties of BODIPY. *Coordination Chemistry Reviews*, 2022, 469: 214684.
8. Kaigorodova E.Yu., Mamardashvili G.M., Mamardashvili N.Zh. Solubilization of carboxyl derivatives of porphyrin molecules by micelles of cationic surfactants: Solubilization capacity and localization sites. *J. Mol. Liq.*, 2025, 424, 127124.
9. Fedorov M.S., Filippov A.A., Ivanov S.N., Giricheva N.I., Lapykina E.A. Influence of the structure and gas-phase acidity of aromatic disulfonic acids on proton transfer and the formation of hydrogen-bonded complexes with pyridine derivatives. *Comput. Theor. Chem.*, 2024, 1238, 114693.
10. Giricheva N.I., Fedorov M.S., Bubnova K.E., Zhabanov Y.A., Girichev G.V. Structural and dynamic non-rigidity of hydrogen-bonded complexes of A···A and A···B···A types and odd–even effect. *J. Mol. Liq.*, 2022, 350, 118521.
11. Гиричева Н.И., Фёдоров М.С. Избранные главы квантовой химии: учеб. пособие. – Иваново: ИВГУ, 2021. – 108 с.
12. Гиричева Н.И. Прикладная компьютерная химия: учебное пособие для студентов 5 курса биолого-химического факультета. – Иваново: ИВГУ, 2016. – 117 с.