

ПРОТОКОЛ
Заседания диссертационного совета 24.1.116.01 (Д 002.085.01)
На базе ФГБУН Института синтетических полимерных материалов
им. Н. С. Ениколопова
Российской академии наук

от 25 июня 2026 года № 5

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВУЮЩИЙ,
ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ – д.х.н., член-корр. РАН, А.Н. Озерин
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ – д.х.н. О.В. Борщев

ПОВЕСТКА ДНЯ

Приём к защите диссертации Е.Д. Благодарной на тему: «Синтез и свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения, химические науки.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

На основании явочного листа очно на заседании присутствует 15 членов диссовета из 18.

ФИО	Уч. степень, шифр специальности
Озерин А.Н.	д.х.н., чл.-корр. РАН 02.00.06
Борщев О.В.	д.х.н. 1.4.7
Акопова Т.А.	д.х.н. 02.00.06
Агина Е.В.	д.х.н. 02.00.06
Бойко Н.И.	д.х.н. 02.00.06
Евтушенко Ю.М.	д.х.н. 02.00.06
Зезин А.А.	д.х.н. 02.00.06
Кузнецов А.А.	д.х.н. 02.00.06
Куличихин В.Г.	д.х.н., чл.-корр. РАН 02.00.06
Лупоносов Ю.Н.	д.х.н. 1.4.7
Музафаров А.М.	д.х.н., академик РАН 02.00.06
Серенко О.А.	д.х.н. 02.00.06
Фельдман В.И.	д.х.н. 02.00.06
Чвалун С.Н.	д.х.н., чл.-корр. РАН 02.00.06
Шевченко В.Г.	д.х.н. 02.00.06
Необходимый кворум есть.	

Экспертная комиссия в составе д.х.н. Борщева Олега Валентиновича, д.х.н. Агиной Елены Валериевны, д.х.н., чл.-корр. РАН Чвалуна Сергея Николаевича, утвержденная решением Диссертационного совета 24.1.116.01 (Д 002.085.01) № 3 от 17 июня 2026 г., ознакомилась с диссертацией Благодарной Елизаветы Денисовны на тему «Синтез и

свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей».

По результатам рассмотрения диссертации «Синтез и свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей» принято следующее заключение:

Диссертационная работа Благодарной Елизаветы Денисовны посвящена синтезу новых сопряжённых нефуллереновых акцепторных материалов на основе аннелированных и неаннелированных донорно-акцепторных олигомеров и полимеров, изучению и установлению взаимосвязей между физико-химическими свойствами полученных соединений и их строением, а также оценке их возможного применения в бинарных и трехкомпонентных органических солнечных батареях. Главным результатом работы являются разработанные автором эффективные схемы синтеза и полученные новые нефуллереновые акцепторные материалы аннелированной (ВТРТ-серия) и неаннелированной структуры (ВТВ-, ВСВ-, ТВТ-серии) как олигомерного, так и полимерного строения, обладающие пониженной синтетической сложностью по сравнению с одним из лучших коммерческих материалов аналогов Y6. Синтезирован ряд нефуллереновых акцепторных материалов (НФА) посредством варьирования центрального фрагмента, π -спейсеров и концевых электронно-акцепторных групп (ЭАГ), проведен сравнительный анализ физико-химических свойств полученных НФА. Установлено, что полученные соединения характеризуются эффективным поглощением солнечного света в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах, подходящими уровнями ВЗМО и НСМО, высокой термической стабильностью и отсутствием фазовых переходов в диапазоне температур эксплуатации органических солнечных батарей (ОСБ), что делает их подходящими кандидатами для использования в качестве акцепторных материалов в ОСБ. Показано, что из полученного ряда НФА региорегулярные полимеры (Р1, Р2) превосходят статистические аналоги по значениям молекулярно-массовых характеристик, температуре деструкции и эффективности в ОСБ. Тестирование неаннелированных нефуллереновых акцепторных материалов (ННФА) на основе ВТВ-ряда в бинарных ОСБ показало, что наибольшая эффективность среди исследованных систем достигнута для полностью полимерной смеси РМ6:ВТВ-Т с КПД = 14.1 %, что в 14 раз превышает эффективность устройств на основе низкомолекулярного аналога ВТВ-1. Существенное улучшение фотовольтаических характеристик ОСБ на основе РМ6:ВТВ-Т обусловлено широким и интенсивным спектром поглощения материалов, а также формированием более оптимальной морфологии объёмного гетероперехода. Исследованы трёхкомпонентные ОСБ на основе референсной системы РМ6:Y6 с добавлением синтезированных ННФА в качестве третьего компонента. Получены эффективности ОСБ близкие к рекордным значениям для подобных смесей, содержащих ННФА. Для систем РМ6:Y6:ВСВ-2 и РМ6:Y6:ТВТ-1, КПД достигает 17.7 %, что существенно превышает эффективность бинарной системы (15.5 %). Улучшение характеристик обусловлено каскадным выравниванием энергетических уровней, расширением спектрального диапазона

поглощения, снижением потерь энергии ($E_{\text{loss}} = 0.53$ эВ) и формированием оптимальной морфологии фотоактивного слоя благодаря высокой совместимости компонентов.

Актуальность работы

Органические солнечные батареи (ОСБ) являются перспективным направлением развития органической фотовольтаики ввиду потенциала производства лёгких, гибких, полупрозрачных и экономически выгодных солнечных элементов для применения в областях, где кремниевые или перовскитные солнечные элементы не используются, таких как: интеграция в фасады и крыши зданий, стеклянные конструкции, сельскохозяйственные теплицы, транспортные средства, текстильные изделия и носимую электронику. Также, крупномасштабное производство ОСБ не требует сложных и дорогостоящих технологических процессов, таких как фотолитография или термическое осаждение в глубоком вакууме, а может осуществляться с помощью более доступных методов современной рулонной печати. В течение последнего десятилетия применение аннелированных нефуллереновых акцепторов (АНФА) и оптимизация устройств объёмного гетероперехода на их основе позволило увеличить эффективность преобразования энергии (КПД) ОСБ с 10 % до 20 %. Но коммерциализация данной технологии ограничена из-за высокой сложности и трудоемкости синтеза аннелированных НФА, а также из-за необходимости многоступенчатой очистки и низкого выхода конечного продукта. Для получения альтернативного решения в последние годы активно развивается концепция неаннелированных НФА (ННФА) с пониженной синтетической сложностью. ННФА способны принимать планарную конформацию, аналогичную АНФА, благодаря нековалентным внутримолекулярным взаимодействиям ($O \cdots S$, $F \cdots H$, $N \cdots N$ и т.п.) между соседними сопряжёнными звеньями и/или благодаря наличию стерически объёмных заместителей в структуре. На сегодняшний день эффективность таких ОСБ на основе ННФА превысила 17 %, но нерешенным остался ряд фундаментальных и прикладных проблем, в т.ч.: 1) необходимость разработки НФА, обладающих комплексом определенных оптоэлектронных и структурных свойств, в то же время отвечающих требованиям к стабильности материалов и высоким фотовольтаическим характеристикам; 2) синтез эффективных НФА трудоёмок и является многостадийным, что препятствует масштабированию и широкой коммерциализации ОСБ; 3) необходимость проведения систематических исследований для установления корреляции между молекулярной структурой НФА (тип центрального фрагмента, природа электронно-акцепторных групп, тип π -спейсеров, форма молекулярной организации (олигомерная или полимерная), регулярность цепи полимеров и т.д.) и их оптоэлектронными, термическими, морфологическими и фотовольтаическими свойствами; 4) необходимость изучения результатов применения НФА, особенно неаннелированного строения, в составе многокомпонентных ОСБ.

Таким образом, исследование Благодарной Е.Д., направленное на создание синтетически доступных НФА с улучшенными характеристиками, разработку технологичных подходов к их синтезу, изучение фундаментальных взаимосвязей «структура–свойство» и применение данных соединений в бинарных и трехкомпонентных системах для получения высокоэффективных ОСБ, является актуальным.

Цель диссертационной работы Благодарной Е.Д. заключается в проведении синтеза новых сопряжённых нефуллереновых акцепторных материалов на основе аннелированных и неаннелированных донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью, установлении взаимосвязи между химическим строением и физико-химическими свойствами и оценке перспективности применения в бинарных и трёхкомпонентных органических солнечных батареях.

Научная новизна полученных результатов. Разработаны эффективные схемы синтеза серии новых НФА как аннелированного, так и неаннелированного строения на основе сопряжённых донорно-акцепторных олигомеров и полимеров, с использованием новых комбинаций химических блоков. Получено и охарактеризовано комплексом современных физико-химических методов анализа 16 новых НФА, отличающихся пониженной синтетической сложностью по сравнению с большинством известных и распространённых НФА. Для ряда полимерных и олигомерных АНФА на основе ВТРТ и ННФА ВТВ- и ВСВ-серий, впервые полученных и изученных в работе, установлены зависимости между их молекулярным строением, оптоэлектронными и термическими свойствами. Полученные корреляции создают основы для проведения направленного структурного дизайна новых НФА с заданными физико-химическими свойствами для высокоэффективных ОСБ. Проведено исследование применимости ННФА в трёхкомпонентных смесях для повышения эффективности ОСБ. Установлено, что введение ННФА в качестве третьего компонента в фотоактивный слой приводит к улучшению характеристик ОСБ. Выявлены ключевые факторы, определяющие этот эффект.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке молекулярного дизайна и эффективных схем синтеза сопряжённых НФА олигомерного и полимерного строения с пониженной синтетической сложностью, в выявлении основных фундаментальных взаимосвязей между различными структурными элементами молекул и их физико-химическими свойствами, а также в возможности применения выявленных знаний для прогнозирования и тонкой настройки свойств подобных полупроводниковых соединений.

Практическая значимость работы заключается в изготовлении и детальном изучении бинарных и трёхкомпонентных ОСБ на основе полученных НФА. Полученные результаты объясняют особенности функционирования подобных систем в ОСБ и дают практические ориентиры для выбора компонентов при разработке высокоэффективных устройств с использованием АНФА и ННФА. Исследование, проведенное в рамках данной диссертационной работы, позволило пройти путь «от молекулы к устройству» и значительно продвинуться на пути к коммерциализации ОСБ. Разработка принципов молекулярного дизайна и сами полученные материалы, могут быть востребованы не только в области ОСБ, но также и в смежных областях, таких как гибридная фотовольтаика, органические полевые транзисторы, фототранзисторы, фотодетекторы и т.п.

Диссертация Благодарной Е.Д. соответствует пунктам 2 и 9 паспорта научной специальности 1.4.7 – «Высокомолекулярные соединения» и отрасли науки – химические. Результаты работы были опубликованы в виде 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Материалы работы также были представлены в виде 20 докладов (устных и стендовых) на всероссийских и международных конференциях.

В публикациях и докладах диссертанта подробно изложены основные положения и содержание проведенных теоретических и экспериментальных исследований. Это полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. (в актуальной редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Заключение

В представленном виде диссертация Благодарной Е.Д. соответствует требованиям ВАК и может быть принята к защите Диссертационным советом 24.1.116.01 (Д 002.085.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова» Российской академии наук (ИСПМ РАН).

Постановили:

1. Принять к защите диссертационную работу Благодарной Е.Д. на тему: «Синтез и свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

2. Утвердить в качестве официальных оппонентов:

Якиманского Александра Вадимовича, доктора химических наук, научного руководителя филиала ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт» - Института высокомолекулярных соединений (филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ - ИВС), руководитель Лаборатории полимерных наноматериалов и композиций для оптических сред, г. Санкт-Петербург;

Князеву Екатерину Александровну, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника Лаборатории полисераазотистых гетероциклов №31 Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (ИОХ РАН), г. Москва.

3. Утвердить в качестве ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН), г. Москва.

4. Назначить срок защиты – 10 сентября 2026 года.

5. Утвердить список рассылки автореферата.

6. Разрешить печать автореферата в количестве 120 экземпляров.

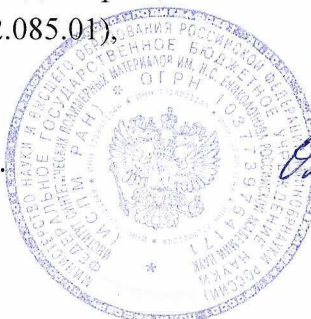
Открытым голосованием решение диссертационного совета принимается единогласно.

Председательствующий,

Заместитель председателя диссертационного совета 24.1.116.01 (Д 002.085.01),

д.х.н., член-корр. РАН

Ученый секретарь, д.х.н.



А.Н. Озерин

О.В. Борщев