

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу в виде научного доклада Лупоносова Юрия Николаевича «Донорно-акцепторные производные олиготиофенов для органической оптоэлектроники», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения, химические науки

Основные преимущества устройств, основанных на органических полупроводниках по сравнению с их неорганическими аналогами, – легкость, гибкость и возможность изготовления с применением современных и экономичных печатных технологий. Разработка органических полупроводниковых материалов с оптимальными свойствами остается ключевой областью исследований, развитие которой во многом обуславливает прогресс и разнообразие в сфере практического применения таких соединений. На Органические полупроводники активно используются в таких устройствах как органические солнечные батареи, светоизлучающие диоды, тонкопленочные полевые транзисторы и т.д. Несмотря на существующее разнообразие органических полупроводников, крайне сложно найти материалы, обладающие высокой стабильностью в сочетании с эффективным способом получения и комплексом необходимых оптоэлектронных свойств. Немаловажным остается возможность тонкой настройки комплекса свойств таких материалов для конкретного типа применения. Высокая **актуальность** диссертационной работы Лупоносова Ю.Н. заключается в том, что она посвящена разработке новых классов органических полупроводников на основе донорно-акцепторных производных олиготиофенов с повышенной стабильностью и выявлению для них фундаментальных взаимосвязей структура-свойства, а также исследованию возможности использования разработанных материалов как уже в известных типах оптоэлектронных устройств, так и поиску новых областей их применения.

Диссертация представлена в виде научного доклада, изложена на 75 страницах, включает такие разделы, как введение, основное содержание, заключение и выводы. Она включает 40 рисунков и 13 таблиц. Список цитируемой литературы включает 20 наименований. По всем формальным признакам работа в полной мере может быть представлена в виде научного доклада, поскольку подготовлена по совокупности опубликованных работ, опубликованных за последние десять лет, а список работ, в которых опубликованы результаты включает 62 наименования, 6 российских и международных патентов и 56 научных статей, в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, причем 40 из них входят в первый квартиль и имеют импакт-фактор от 3 до 29.

В работе последовательно и достаточно подробно для такой формы диссертации описываются обоснование и формулировка задач и целей, после предлагается решение актуальных проблем за счет разработки нового молекулярного дизайна донорно-акцепторных олигомеров, имеющих повышенную растворимость и стабильность, после чего автор переходит к разработке универсальной схемы синтеза и получению библиотеки таких соединений самого разнообразного химического строения, а также детальному исследованию и сравнению их свойств с ближайшими аналогами. В последнем разделе диссертации автор исследует возможность использования полученных донорно-акцепторных олигомеров в качестве функциональных материалов как уже в известных типах устройств органической и гибридной оптоэлектроники, так и предлагает новые направления.

Высокая **научная новизна** работы не вызывает сомнений, поскольку в ней диссертантом разработаны новые классы донорно-акцепторных олигомеров, способы их синтеза, получены новые знания о зависимости свойств и параметров оптоэлектронных устройств на их основе от химического строения и молекулярной топологии олигомеров, а также предложены новые области их применения.

**Теоретическая значимость** результатов диссертационной работы заключается в возможности использовать выявленные закономерности структура-свойство для прогнозирования и получения материалов с заранее заданными параметрами растворимости и набором термических, оптических и электрохимических свойств для применения в органической оптоэлектронике и смежных областях.

**Степень обоснованности и достоверность научных положений и выводов**, сформулированных в диссертации, подтверждается целым рядом факторов. Во-первых, синтезируется и исследуется большая библиотека – более 70 целевых донорно-акцепторных соединений самого разнообразного строения, что позволяет исключить случайные результаты и проверить воспроизводимость закономерностей и универсальность схем синтеза. Во-вторых, в работе используется современный комплекс экспериментальных методов исследования, часто в сочетании с теоретическими. В-третьих, стоит отметить, что практически в большинстве направлений диссертационной работы производится полноценное сравнение свойств целевых олигомеров с их ближайшими полными аналогами. В-четвертых, стоит отметить впечатляющий уровень **апробации** полученных результатов не только путем их защиты патентами, публикацией оригинальных статей в высокорейтинговых журналах и личным выступлением на профильных конференциях с докладами самого разного уровня, но и тем фактом, что ключевые результаты и сам диссертант были удостоены престижных научных наград:

премии правительства Москвы молодым ученым за 2016 год в номинации «Химия и науки о материалах» и премии им. К.А. Андрианова на «Первом всероссийском открытом конкурсе работ по химии элементоорганических соединений и полимеров “ИНЭОС OPEN 2015”».

Отдельно стоит отметить выраженную нацеленность работы диссертанта на **практическое** использование разрабатываемых им материалов. Так, на примере донорно-акцепторных производных олигодиофенов с алкил- и фенил- и *n*-фторфенил-дициановинильными электроноакцепторными группами продемонстрировано, что они обладают не только повышенной термической и электрохимической стабильностью по сравнению с полными аналогами со стандартными дициановинильными группами, но и в несколько раз более высокой эффективностью в органических солнечных батареях. Нельзя не отметить в этой части работы очень подробное исследование почти всех полученных олигомеров в качестве донорных материалов в органических фуллереновых фотоэлементах с объемным гетеропереходом. Аналогов такой масштабной и фундаментальной работы нет и ее результаты не только позволили выявить взаимосвязи между структурой олигомеров и их свойствами, но и выходными параметрами фотовольтаических устройств на их основе.

В работе впервые продемонстрирована перспективность использования донорно-акцепторных олигомеров в однокомпонентных органических солнечных батареях и фотодетекторах, а также в качестве аналогов фоторецепторов сетчатки глаза человека. Отдельно стоит отметить, что ряд разработанных олигомеров обладает эффективной фотолюминесценцией в полимерной матрице и чистом виде, а ведь именно в таком виде они в основном и используются в реальных устройствах. Тот факт, что отдельные олигомеры обладают поглощением или люминесценцией света в красном и ближнем инфракрасном спектральном диапазонах в перспективе позволяет их использовать не только для фотобиомодуляции роста растений, как это было успешно и ярко показано в работе диссертанта, но в перспективе и в медицине, поскольку этот диапазон является спектрально прозрачным для тканей человека. Не менее заслуживающим внимания является возможность использования разработанных материалов не только в органической, но и в гибридной оптоэлектронике, например в качестве электролюминесцентных допантов в перовскитных светоизлучающих диодах для получения почти чистого белого света или недопированных дырочно-транспортных слоев в перовскитных солнечных батареях с эффективностью и стабильностью сравнимой с мировыми рекордами.

Принципиальных замечаний по диссертационной работе нет. Однако по прочтению возникли следующие вопросы:

- 1) Можно ли применить выявленные в диссертационной работе закономерности структура – свойства – выходные параметры устройств фуллереновых солнечных батарей и для аналогичных устройств, но с нефуллереновыми акцепторными материалами?
- 2) В разделе 4.1.2 (стр. 40) при обсуждении и сравнении параметров фотовольтаических устройств на основе звездообразных олигомеров с фенильными (ТРА-(2Т-DCV-Ph)<sub>3</sub>) и *n*-фторфенильными (ТРА-(2Т-DCV-Ph)<sub>3</sub>) заместителями при дициановинильной группе автор объясняет изменение КПД разной морфологией фотоактивного слоя и в качестве метода исследования выбирает атомно-силовую микроскопию наряду с измерением угла смачивания поверхности пленок из отдельных компонентов и их смесей. Не очень понятно почему автор не использовал методы рентгеноструктурного анализа для исследования морфологии фотоактивного слоя в этом случае.

Указанные замечания являются естественными и ни в коем случае не ставят под сомнение полученные результаты и выводы диссертации, не снижают их значимости и общего крайне положительного впечатления от работы.

### **Заключение**

Таким образом, результаты диссертационной работы соискателя вносят заметный вклад в развитие науки и технологий в области сопряжённых донорно-акцепторных олигомеров в частности, и органических полупроводниковых материалов и сфер их применения в целом. Представленная диссертационная работа в виде научного доклада Лупоносова Юрия Николаевича “Донорно-акцепторные производные олиготиофенов для органической оптоэлектроники”, по новизне, научной и практической значимости, объёму и полученным результатам полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. (с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 20.03.2021 №426), а ее автор Лупоносов Ю.Н. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения, химические науки.

Официальный оппонент:

Годовский Дмитрий Юльевич – доктор физико-математических наук, (02.00.06 – Высокомолекулярные соединения), ведущий научный сотрудник лаборатории физической

химии полимеров, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН)

E-mail: [dmigo@yandex.ru](mailto:dmigo@yandex.ru); тел.: +79166700236

 (подпись)

«09» сентября 2022 г.

Почтовый адрес: 119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1.

Телефон: +7 499 135-92-02

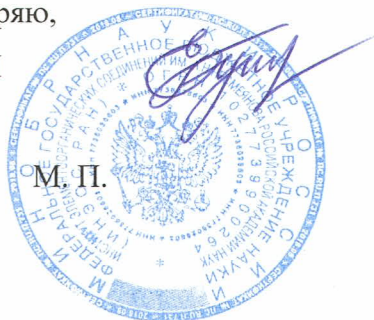
Адрес электронной почты: [lagina@ineos.ac.ru](mailto:lagina@ineos.ac.ru)

Сайт организации: <https://ineos.ac.ru>

Подпись Годовского Д. Ю. заверяю,

Ученый секретарь ИНЭОС РАН

Гулакова Елена Николаевна



«09» сентября 2022 г.