

На правах рукописи

**Лазарева Татьяна Константиновна**

**Композиционные люминесцентные  
материалы с улучшенными  
светотехническими характеристиками  
на основе поликарбоната**

05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

**Москва – 2011**

Работа выполнена в открытом акционерном обществе «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова» и на кафедре технологии переработки пластмасс Российского химико-технологического университета им.Д.И. Менделеева

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Осипчик Владимир Семенович

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор  
Шевердяев Олег Николаевич  
(Московский государственный  
открытый университет  
им. С.В. Черномырдина)

- доктор технических наук, профессор  
Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич  
(Московский государственный  
университет тонких химических  
технологий им. М.В.Ломоносова)

Ведущая организация: - ОАО Межотраслевой институт  
переработки пластмасс – НПО «Пластик»

Защита состоится 7 декабря 2011 г. в 14.00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.204.01 при РХТУ им. Д. И. Менделеева  
(125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале университета  
(ауд.443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре  
РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан «    » ноября 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.204.01

Будницкий Ю.М.

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность работы.** Появление на мировом рынке светотехники светоизлучающих диодов (СИД) открыло перспективное направление в разработке конструкций для освещения и подсветки.

Развитие светодиодной индустрии относится к национальным приоритетам целого ряда стран, включая Россию, требует, наряду с работами по совершенствованию характеристик и освоению массового изготовления самих светодиодов, реализации производства компонентной базы составляющих современные световые приборы (СП), создания материалов с улучшенными оптическими и физико-механическими характеристиками.

Поликарбонат (ПК) благодаря высоким оптическим, физико-механическим, диэлектрическим свойствам и огнестойкости нашел широкое применение для комплектующих СП. Создание энергосберегающих, экологически безопасных источников света с применением светопреобразующих композиционных рассеивателей на основе поликарбоната представляется весьма эффективным ввиду того, что композиционные материалы (КМ) на его основе позволяют реализовать комплекс ценных свойств: ударопрочность, огнестойкость, электрическую прочность.

За последние годы интенсивное развитие получила технология освещения, основанная на использовании синих полупроводниковых кристаллов, покрытых люминофорной композицией желтого свечения, совместно излучающих белый свет. Однако, данная технология имеет недостатки, такие как высокая нагрузка на люминофор, находящийся на полупроводниковом кристалле, что приводит к снижению эффективности СП.

Наиболее перспективным подходом к решению проблемы представляется создание новых композиционных материалов на основе ПК, сочетающих в себе ценные свойства матрицы с улучшенными светотехническими характеристиками, путем введения наряду с люминофором рассеивающих добавок.

Представленная работа, посвящённая разработке люминесцентного композиционного материала на основе ПК с рассеивающими добавками и люминофором, является весьма актуальной и востребованной светотехнической промышленностью.

**Цель работы.** Разработка методов регулирования структуры и свойств композиционного люминесцентного материала на основе ПК, обеспечивающего оптимальное сочетание физико-механических характеристик полимера и светопреобразующих свойств люминофора для применения в световых приборах с синими светодиодами. Создание люминесцентного композиционного материала с улучшенными эксплуатационными и технологическими показателями для производства светотехнических изделий.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- Изучить оптические и рассеивающие свойства поликарбоната при введении в него люминофора и рассеивающих добавок;
- Исследовать комплекс свойств композиционного рассеивающего материала на основе ПК для светодиодов;
- Разработать технологию получения люминесцентного композиционного материала и изготовления изделий из него. Оценить светотехнические, физико-механические и эксплуатационные характеристики материала.

**Научная новизна работы.** Разработан физико-химический процесс регулирования светотехнических характеристик поликарбоната путём использования добавок и установлена взаимосвязь состава композиции и изменений светотехнических свойств материала, подсвеченного синими диодами.

Показано, что введение в состав ПК оптимального соотношения добавок позволяет регулировать в изделиях на его основе светотехнические свойства и увеличивает срок эксплуатации светового прибора с применением разработанного композиционного материала.

Установлено формирование непрерывной фазы воска в структуре ПК, обеспечивающее требуемые рассеивающие свойства материала.

Показано, что снижение вязкости при введении малых количеств воска в поликарбонат улучшает реологические свойства, что способствует более эффективному проведению процесса переработки композиционного материала.

**Практическая значимость работы.** На основании проведенных исследований разработан новый композиционный люминесцентный материал на основе поликарбоната, изделия из которого преобразуют излучение синих диодов в белое

свечение. Благодаря высокой текучести материал легко перерабатывается в изделия сложной конфигурации, что позволяет получать различные виды рассеивателей литьем под давлением и экструзией. Изделия являются вандалоустойчивыми.

Предложены технологические режимы переработки нового композиционного материала.

Разработаны технические условия «ТУ 2226-469-00209349-2009, Материал полимерный люминесцентный».

Люминесцентная композиция на основе ПК может быть рекомендована для практического применения в качестве конструкционного люминесцентного рассеивающего материала для современных светодиодных осветительных приборов общего и местного освещения.

**Апробация работы.** Люминесцентный композиционный материал был реализован в изделии «рассеиватель», являющийся частью осветительного светодиодного прибора. Разработка данного материала награждена золотой медалью на XIII Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2010».

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов исследования были выбраны поликарбонаты с ПТР 10, 20 и 60 г/10мин с показателем преломления 1,58.

В качестве рассеивающих добавок использовали модифицированный оксид алюминия «Aeroxide Alu C» - аэроксид с размером частиц 13 нм, показатель преломления 1,54; сульфат бария с размером частиц 20 мкм, показатель преломления 1,63; воск гомополимерный неокисленный марки А-С 617, который имеет показатель преломления 1,51.

В качестве люминесцентного наполнителя использовали люминофор, представляющий собой алюмоиттриевый гранат (ИАГ), активированный церием ( $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ ), с координатами свечения  $x=0,45$ ,  $y=0,52$ , производства ООО НПК «Люминофор» (Россия). Люминофор возбуждается синим светодиодом (ссид).

Смешение компонентов осуществляли на комплексной линии на базе двухшнекового экструдера Labtech Scientific типа LTE-20-40 фирмы Labtech Engineering Company LTD (Тайланд), снабженного вакуумной дегазацией, при температуре 260-270°C и скорости вращения шнеков 150 об/мин.

Образцы для определения физико-механических показателей получали методом литья под давлением на термопластавтомате ARBURG ALLROUNDER 320K 700-250.

Физико-механические, реологические, оптические, диэлектрические характеристики определяли по стандартным методикам.

Теплофизические характеристики и термоокислительную стабильность композиций оценивали методами дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметре «Mettler Toledo» - DSC – 20 (Швейцария) и термогравиметрии (ТГА) на приборе Bahr Thermo analyse STA 503 (Германия).

Структуру образцов исследовали методом Фурье-ИК-спектроскопии на спектрометре Perkin Elmer Spectrum One FT-IR Spectrometer (США).

Морфологию поверхности образцов исследовали с помощью одноступенчатых угольно-платиновых реплик на электронном микроскопе марки EM-501 фирмы Philips с предварительной обработкой поверхности травлением кислородным разрядом высокой частоты (время травления 20-25 мин).

Равномерность распределения люминофора в композиционном материале исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре Bruker D8 Advance с зеркалом Гебеля, излучение Cu K $\alpha$  в интервале углов  $2\theta$  (3-70°), с шагом 0,02° и временем экспозиции 20 с в режиме отражения.

Молекулярно-массовые характеристики изучаемых образцов исследовали методом гель-проникающей хроматографии (ГПХ) на жидкостном хроматографе высокого давления фирмы “Waters” (США) с УФ-детектором с длиной волны 264 нм и колонками Styragel HR 5E длиной 300 мм и диаметром 7,8 мм.

Устойчивость к УФ-облучению оценивали по изменению светотехнических свойств образцов после их выдержки в течение 600 часов в УФ-камере Scamia modulaire.

В работе были определены огнестойкие свойства- кислородный индекс по стандартной методике, класс стойкости к горению по UL-94.

Светотехнические характеристики оценивали в светотехническом шаре спектроколориметром "ТКА-ВД/02" (Россия).

Оценку светорассеяния проводили на приборе спектрофлюориметр Флюорат-02-Панорама (Россия).

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, литературного обзора, характеристики объектов и методов исследования, экспериментальной части, выводов, списка литературы из 110 наименований. Работа изложена на 131 странице, содержит 55 рисунков и 26 таблиц.

## Результаты работы и их обсуждение

### 1. Исследование влияния люминофора на свойства композиций на основе поликарбоната

При создании композиционных материалов с оптимальными свойствами изучали, какой вклад в светотехнические характеристики (освещенность, цветовую температуру, координаты цветности) вносят отдельные компоненты композиции, т.к. желтый люминофор, распределенный в поликарбонате, после поглощения излучения

синего светодиода (сид) излучает белый свет.

При этом люминесцентный композиционный материал является источником вторичного излучения.

Поликарбонат, выбранный в качестве матрицы, обладает комплексом оптических и физико-механических свойств, необходимых для получения на его основе светотехнических композиционных материалов. Введением

в полимерную матрицу люминофора обеспечивается способность композиционного

материала к люминесценции, т.е возможность испускать свет после возбуждения световым или другим электромагнитным излучением, причем время жизни вещества в возбужденном состоянии составляет не менее  $10^{-10}$  сек.

Исследовали влияние различной текучести расплава ПК (от 10 до 60 г/10 мин) на светотехнические и прочностные характеристики люминесцентного композиционного материала.

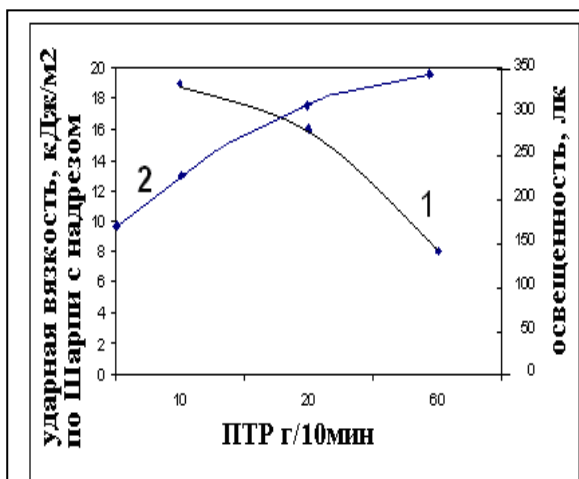


Рис.1. Зависимость ударной вязкости(1) и освещенности (2) ПК+люминофор от ПТР поликарбоната

Показано, что ударная вязкость, как наиболее важная характеристика, которой отличаются поликарбонаты, для ПК с ПТР 20 г/10 мин в 2 раза больше, чем у ПК с ПТР 60 г/10 мин, а люминесцентные свойства на 30 % выше, чем для ПК с ПТР 10г/10мин. На основании проведенных исследований показано, что оптимальным для дальнейших исследований является ПК с ПТР 20 г/10 мин (рис. 1).

Исследования молекулярной массы ПК в процессе получения и переработки композиции ПК+ люминофор с помощью гель-проникающей хроматографии показали (табл. 1) , что введение люминофора не влияет на термостойкость ПК при изученных условиях переработки: молекулярная масса ПК меняется незначительно.

Таблица 1

Данные ГПХ композиций поликарбоната с люминофором

Композиция	Средневесовая молекулярная масса	Среднечисловая молекулярная масса	Коэффициент полидисперсности
Поликарбонат	27812	9910	2.7
Поликарбонат +люминофор	27030	9417	2.7
после компаундирования			
Поликарбонат +люминофор	26334	9104	2.7
после литья под давлением			

Рекомендованная Международной комиссией по освещению (МКО) цветовая

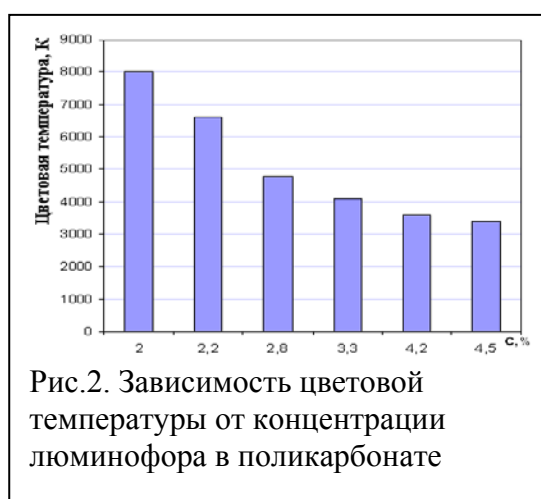


Рис.2. Зависимость цветовой температуры от концентрации люминофора в поликарбонате

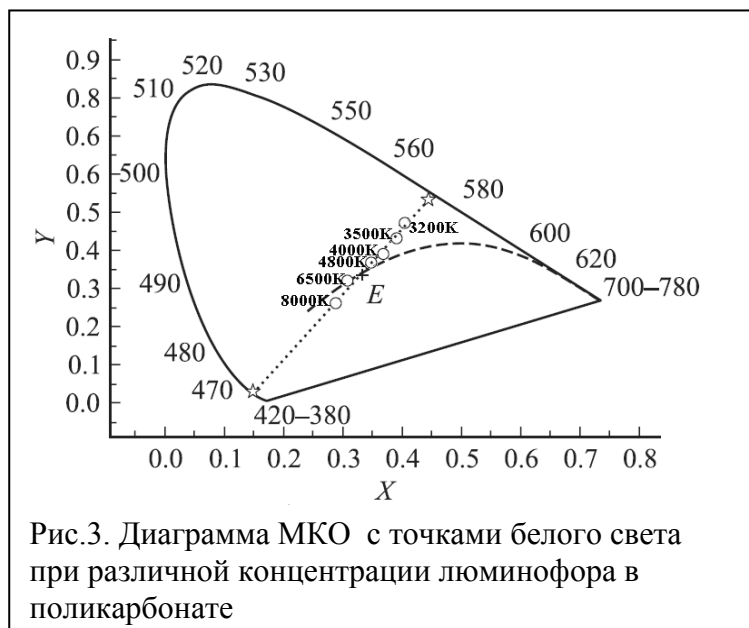
температура для источников света находится в пределах 3300-4100К, поэтому оптимальное содержание люминофора в ПК выбрано в результате исследований светотехнических параметров люминесцентных композиционных материалов на основе поликарбоната, подсвеченных синими светодиодами.

Из рис.2 и 3 видно, что каждому содержанию люминофора в ПК соответствует

определенная цветовая температура. Показано, что при увеличении содержания люминофора от 2 до 4,5 масс.% цветовая температура композиции при облучении



светом синего светодиода уменьшается, то есть сдвигается в область теплого белого света.



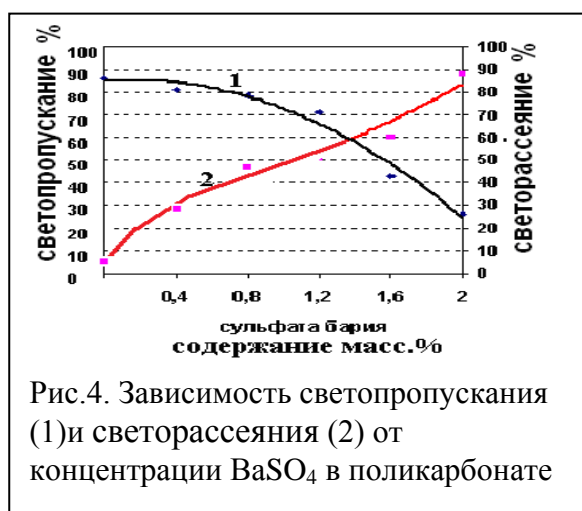
Установлено, что концентрация люминофора в ПК от 3,3 до 4,5 масс.% является оптимальной, т.к. образцы композита обладают наиболее комфортным светом и необходимой для световых приборов цветовой температурой от 4000 до 3500 К.

Рассеянный свет от светодиода, необходимый для комфортного восприятия света, можно получить

применением рассеивателей и светорассеивающих материалов. Светорассеиватели позволяют исключить попадание в поле зрения прямого излучения.

В связи с этим, для создания материалов на основе поликарбоната со светорассеивающими свойствами необходимо вводить в них рассеивающие вещества.

## 2. Исследование влияния рассеивающих добавок на свойства композиций на основе поликарбоната



Основным критерием при разработке композиции, рассеивающей свет, является выбор таких компонентов, показатели преломления которых различны. Рассеяние возможно только при образовании гетерогенной структуры.

В работе в качестве рассеивающих добавок были выбраны аэроксид, сульфат бария, воск, образующие с поликарбонатом

гетерогенную рассеивающую систему относительно видимого диапазона длин волн от 380 до 770 нм.

Разрабатываемый КМ должен обладать оптимальными рассеивающими и светопропускающими свойствами, при этом показатель светорассеяния должен быть не ниже или равен коэффициенту светопропускания.

Из результатов, представленных на рис.4, 5 и 6, видно, что сохранение светопропускания при рассеивании соответствует концентрациям, находящимся на

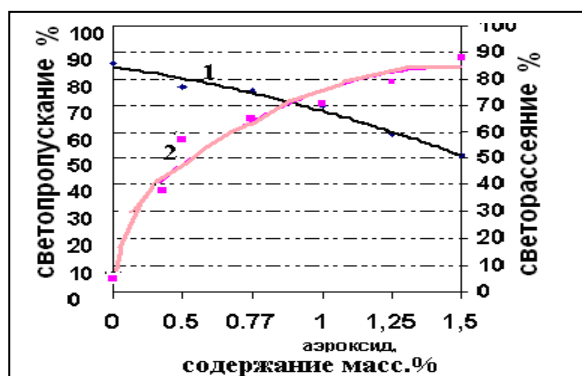


Рис.5. Зависимость светопропускания (1) и светорассеяния (2) от концентрации аэроксида в поликарбонате

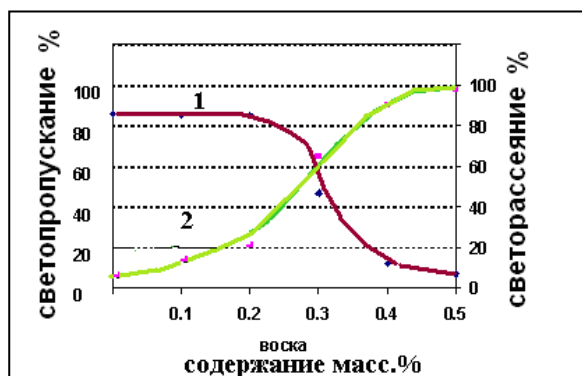


Рис.6. Зависимость светопропускания (1) и светорассеяния (2) от концентрации воска в поликарбонате

пересечении зависимостей светорассеяния и светопропускания от содержания добавки. Для композиции ПК с сульфатом бария оптимальные оптические и светорассеивающие свойства проявляются при концентрации 1,4 масс.% (рис. 4), с аэроксидом — при 1 масс.% (рис. 5), с воском — при 0,3 масс.% (рис. 6).

Известно, что на изменение светорассеяния оказывает влияние форма вводимых добавок, их концентрация, технология получения композиционного материала. В работе установлено, что рассеяние растет при увеличении содержания добавок и выявлено, что чем больше разница в коэффициентах преломления рассеивающей добавки и матрицы, тем выше поглощение света. Композиции ПК с сульфатом бария, имеющим большие

размеры частиц, даже при малых концентрациях обладают побочным цветовым эффектом, т.е. часть падающего света поглощается. Коэффициент поглощения света для композиции с сульфатом бария на 30% больше, чем для композиции с воском, что приводит к уменьшению эффективности прохождения света.

Показано, что оптимальным сочетанием светорассеяния и светопропускания, а также отсутствием изменения цвета, обладают композиции ПК, содержащие 1 масс.% аэроксида или 0,3 масс.% воска. Композиция с концентрацией воска 0,3 масс.%

рассеивает свет на 70% и пропускает свет на 50%, что является необходимым условием для оптимального рассеяния.

При изучении изменений структуры в матрице ПК при ведении в неё воска методами электронной микроскопии (рис. 7, 8, 9 и 10) и рентгеноструктурным анализом показано, что композиции, содержащие воск в количестве от 0,1 до 0,3 масс.%, имеют аморфный характер надмолекулярной структуры, так как на дифрактограммах ПК-воск ярко выражено аморфное плато.

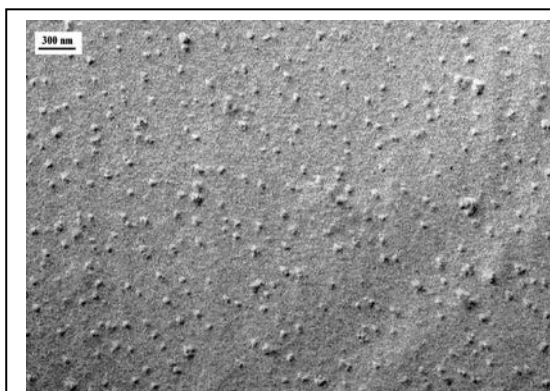


Рис.7. Микрофотография структуры поликарбоната

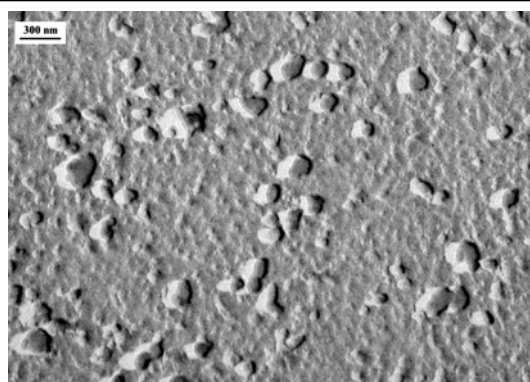


Рис.8. Микрофотография структуры поликарбоната +0,2 масс. % воска

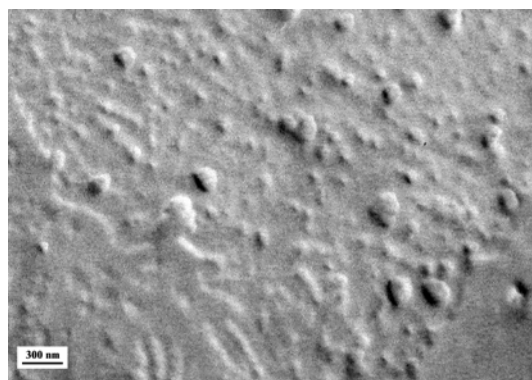


Рис.9. Микрофотография структуры поликарбоната +0,25 масс. % воска

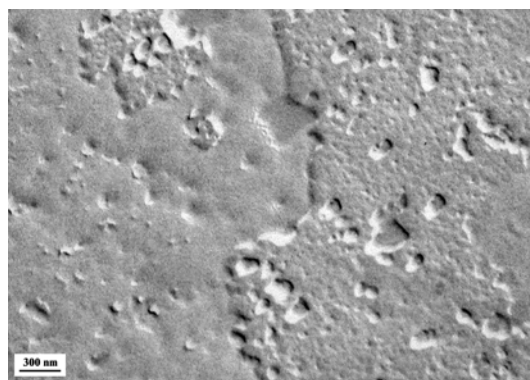


Рис.10. Микрофотография структуры поликарбоната +0,3 масс.% воска

Вероятно, наблюдаемое возникновение непрерывной фазы в ПК при введении 0,3 масс.% воска приводит к изменению оптических свойств при улучшении светорассеивающих свойств, при этом практически не изменяются физико-механические свойства композиции (табл.2).

Прочностные характеристики и эффективная вязкость композиций на основе поликарбоната при различном содержании воска

Композиция на основе поликарбоната, содержащая воск, масс. %	Предел текучести при растяжении, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Эффективная вязкость, Па*с, $\tau = 10^4$ Па
0	64	62	110	15	400
0,1	63	52	92	15	280
0,2	63	55	94	15	270
0,3	63	54	94	15	300

В работе установлено, что с увеличением концентрации воска в ПК от 0,1 до 0,3 масс.%, вероятно, происходит формирование структуры (рис.7, 8), которое сопровождается падением вязкости, при этом улучшается переработка композита в изделия наряду с улучшением светорассеяния.

По данным ДСК и ТГ анализа установлено, что введение воска в ПК не влияет на термостойкость композита, которая находится в пределах 360-380 °С, при сохранении температурного интервала перехода в высокоэластическое состояние.

Таким образом, оптимальным содержанием воска в качестве рассеивающей добавки в поликарбонате является 0,3 масс.%, при этом светорассеяние композиции изменяет светопропускание, придавая источнику излучения рассеянный свет.

### **3. Исследование влияния рассеивающих добавок на светотехнические и физико-механические свойства люминесцентных композиционных материалов на основе поликарбоната**

Создание люминесцентного композиционного материала— это сложная задача, требующая, наряду с решением технологических вопросов, обеспечения комплекса свойств, отвечающих требованиям технической документации на рассеиватели осветительных приборов.

При разработке люминесцентного материала необходимо преобразовать излучение применяемого источника в белый свет, используя люминофор, и обеспечить рассеяние света без изменения его спектра, применяя светорассеивающую добавку.

Исследовано влияние совместного введения изученных рассеивающих добавок и люминофора в поликарбонат (табл.3).

Таблица 3

Светотехнические параметры композиций на основе поликарбоната

Композиция поликарбонат +люминофор +	Цветовая температура, К	Освещенность, лк
воск	3500	760
аэроксид	3600	700
сульфат бария	4000	560

Показано, что значения цветовой температуры и освещенности композиций с аэроксидом и воском очень близки, но применение аэроксида не обеспечивает постоянства светотехнических свойств, а введение сульфата бария, с частицами в несколько раз большими, чем у люминофора в люминесцентной композиции, не обеспечивает эффективности люминофора. Только при введении 0,3 масс.%, воска в композицию на основе ПК с люминофором наблюдается улучшение её светотехнических свойств, т.к. цветовая температура уменьшается на 100 К, а освещенность увеличивается на 8%.

Прочностные свойства композиционного материала с оптимальным содержанием люминофора и воска, представленные в табл. 4, находятся на уровне исходного поликарбоната.

Таблица 4

Прочностные характеристики

	Предел текучести при растяжении, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>
Поликарбонат	64	57	110	15
Поликарбонат +люминофор+ воск	63	63	110	16

Изделия из композиционного материала являются частью энергосберегающей лампы и должны сохранять хорошие диэлектрические свойства. Показано, что электрическая прочность и удельное объемное сопротивление люминесцентной композиции с воском (табл.5) соизмеримы с показателями исходного поликарбоната,

обеспечивая высокие диэлектрические свойства разработанного композиционного материала, что способствует возможности его эксплуатации в светотехнических изделиях.

Таблица 5

Диэлектрические свойства

	Электрическая прочность, кВ/мм	Удельное объемное сопротивление, Ом×см
Поликарбонат	23,0	$1,3 \times 10^{17}$
Поликарбонат +люминофор+ воск	22,6	$6,1 \times 10^{16}$

Для оптимизации процессов переработки разработанного композиционного материала проводились реологические исследования. Было показано, что в изученном интервале напряжений сдвига от  $1 \cdot 10^4$  Па до  $5 \cdot 10^4$  Па эффективная вязкость исходного поликарбоната не изменяется, в то время как эффективная вязкость расплава поликарбоната с добавками люминофора и воска при напряжении сдвига более  $2 \cdot 10^4$  Па снижается. Вероятно, небольшое количество несовместимых добавок при введении в поликарбонат облегчает подвижность структурных элементов под действием приложенного напряжения, что приводит к снижению вязкости расплава и увеличению эффекта скольжения, способствуя тем самым улучшению переработки композиции в изделия.

Рассеиватели из полимерных композиционных материалов для световых приборов эксплуатируются длительное время на свету при температуре не более 50 °С. Поэтому проводились исследования воздействия УФ-излучения в течение 600 часов на светотехнические свойства разрабатываемого композита на основе поликарбоната, которые показали, что, в то время как при возрастании степени желтизны в ПК исх. в 1,5 раза, светотехнические параметры люминесцентной композиции улучшились, цветовая температура сместилась в зону теплого белого света на 300 К.

Показано, что теплостойкость разработанного композиционного материала незначительно снижается по сравнению с исходным ПК (152 °С), что является достаточным условием применения данного материала в качестве конструкционного элемента лампы.

Анализируя светотехнические характеристики, спектры свечения композиции ПК+люминофор без воска и с ним (рис.11), видно, что эффективность излучения в области белого света (широкий низкий пик) в композите без добавки меньше, чем с ней, т.е. введение воска в люминесцентную композицию улучшает коэффициент преобразования люминофора. Освещенность композиции с добавкой воска на 30% лучше, чем без нее, а цветовая температура на 15 % теплее, чем для КМ без нее.

Важным оказалось, что применение низкомолекулярного компонента в люминесцентной композиции способствовало улучшению распределения люминофора при получении и переработке композиции, что, в свою очередь, позволило улучшить светотехнические характеристики композиции ПК+люминофор + воск. Показано, что при этом температура стеклования данной композиции не меняется по сравнению с исходным поликарбонатом и переход из стеклообразного состояния в высокоэластическое реализуется при температуре 146 °С.

Достаточная равномерность распределения люминофора в разработанном композиционном материале подтверждена рентгеноструктурными исследованиями,



показавшими, что пики идентификации веществ, составляющих люминофор, четко разрешены. Эти данные хорошо коррелируют со светотехническими показателями. Равномерность распределения люминофора позволяет получить необходимые показатели качества светорассеивающего люминесцентного материала и

является результатом правильно выбранной технологии переработки и получения образцов и изделий.

Установлено, что в композициях ПК+люминофор+воск не происходит химического взаимодействия между компонентами, что, по-видимому, связано с

наличием в ИК-спектрах, снятых с поверхности образцов, полос поглощения, идентифицирующих только вещества, составляющие композицию.

Таким образом, при введении люминофора и воска в поликарбонатную матрицу обеспечиваются необходимые люминесцентные и рассеивающие свойства КМ. При этом, в некоторых случаях, наблюдается улучшение комплекса физико-механических характеристик, таких как, ударная вязкость, диэлектрические свойства, обеспечивая при этом переработку композиционного материала в изделия различной конфигурации.

### **Практическое применение полученных результатов**

На основании проведенных исследований разработан состав и технология получения люминесцентного композиционного материала на основе поликарбоната. Различные виды переработки композита реализованы при изготовлении изделий четырех типоразмеров: для трех конфигураций методом литья под давлением, для ленты—экструзией.

Одним из результатов работы является получение зависимости концентрации люминофора, обеспечивающее цветовую температуру от 3500К до 4000 К, от толщины литьевого изделия:  $c=5,02-2,22*\ln(s)$ , где  $c$ - концентрация люминофора, масс.%;  $s$  -толщина изделия, мм.

В работе показано, что энергетические характеристики синего светодиода не оказывают влияния на коэффициент преобразования электромагнитного излучения композиционным материалом. При различных электрических параметрах синего светодиода композиционный материал сохраняет кратную способность преобразования в белое свечение. Увеличивая мощности синего диода,кратно улучшается освещенность от изделий из композиционного материала.

Разработанный композиционный материал на основе ПК опробован в изделии «рассеиватель» в виде формы, подобной колбе лампы накаливания. Изготовлена опытная партия изделий в количестве 100 штук. Исследованы светотехнические свойства нового композиционного материала и изделий на его основе.

Сконструирован макет энергосберегающей лампы на основе изготовленного рассеивателя. Светотехнические характеристики энергосберегающей лампы исследованы во Всероссийском научно-исследовательском светотехническом



институте им. С.И. Вавилова (ВНИСИ) и представлены в табл. 6 в сравнении с используемыми в настоящее время лампами накаливания и компактными люминесцентными ртутьсодержащими лампами.

Энергосберегающая лампа на синих диодах с люминесцентным рассеивателем является в 5 раз менее мощной, чем лампа накаливания, но в 50 раз долговечнее. В сравнении с ртутьсодержащими лампами она не требует утилизации и является более экологичной.

Таблица 6

Светотехнические характеристики различных ламп

Характеристики лампы	Энергосберегающая лампа на синих диодах с люминесцентным рассеивателем	Лампа накаливания	Компактная люминесцентная ртутьсодержащая лампа
Световой поток лампы, лм	767	940-960	600-650
Мощность лампы, Вт	15,7	75	20

Разработаны технические условия на люминесцентный материал «ТУ 2226-469-00209349-2009 Материал полимерный люминесцентный».

### **Выводы**

1. Разработан полимерный люминесцентный композиционный материал на основе поликарбоната с оптимальным составом, обладающий требуемыми светотехническими и физико-механическими характеристиками. Предложены режимы переработки люминесцентного материала в изделия методом литья под давлением и экструзией.
2. Показано, что равномерное распределение воска в матрице поликарбоната способствует улучшению светотехнических свойств композиционного материала, снижает вязкость и облегчает переработку композиционного материала в изделия.
3. Установлена зависимость светотехнических свойств изделий из люминесцентного композита на основе ПК от состава композиции и варьирования их толщины.
4. Развито новое принципиальное решение получения светотехнических полимерных материалов, в изделиях из которых светопреобразующий люминофор удален от источника излучения, что обеспечивает повышение КПД светового прибора.

5. Показано, что применение композиционного материала на основе ПК для рассеивателей светодиодных энергосберегающих приборов с цветовой температурой 3500-4000 К позволяет продлить в 50 раз срок эксплуатации и уменьшить в 5 раз энергопотребление светового прибора в сравнении с лампами накаливания, а также исключить необходимость демеркуризации.

6. На предприятии ОАО «Институт пластмасс» разработаны технические условия на люминесцентный полимерный материал, который рекомендован для получения «рассеивателей» различных конфигураций, удовлетворяющих требованиям современных осветительных приборов.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

1. Лазарева Т.К., Андреева Т.И., Осипчик В.С. Полимерная люминесцентная композиция для получения белого света, возбуждаемая синим светодиодом: пат. 2405804 Рос. Федерация № 2009128146/05; заявл.22.07.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. 7с.
2. Андреева Т.И., Вахтинская Т.Н., Лазарева Т.К., Агриков Ю.М., Дейнего В.Н., Герасев В.Ф., Дуюнов Д.А. Светорассеивающая и излучающая матрица панельных светильников с торцевой подсветкой: пат. 93933 Рос. Федерация № 2010102880; заявл.28.01.2010; опубл. 10.05.2010, 6с.
3. Андреева Т.И., Вахтинская Т.Н., Лазарева Т.К., Агриков Ю.М., Дейнего В.Н., Дуюнов Д.А., Иванов С.А. Светильник энергосберегающий: пат. 93929 Рос. Федерация № 2009146676; заявл.15.12.2009; опубл. 10.05.2010, 7с.
4. Лазарева Т.К., Андреева Т.И., Осипчик В.С., Кравченко Т.П. Разработка полимерных композиционных материалов светотехнического назначения // Пластические массы. 2010. № 10. С.58 -62.
5. Лазарева Т.К., Ермаков С.Н., Кравченко Т.П., Костягина В.А. Проблемы создания композиционных материалов на основе конструкционных термопластов // Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр. Т. XXI. №4. - М: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2010. С. 58-63.