

## Тур Э.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКОЛОГИЧНОГО АКРИЛОВОГО РАЗМЕТОЧНОГО ПРОТИВОСКОЛЬЗЯЩЕГО МАТЕРИАЛА

**Введение.** Особую роль в настоящее время в Республике Беларусь приобретают современные технические средства организации дорожного движения, к которым относятся дорожные знаки, горизонтальная и вертикальная разметка, светофоры и направляющие устройства. Для горизонтальной дорожной разметки городских улиц применяют краски, термопластики, холодные пластики, полимерные ленты, а также световозвращатели, используемые для оптической ориентации водителя, в сочетании с линиями горизонтальной разметки.

В сложнейших условиях устройства и эксплуатации горизонтальной дорожной разметки в крупных городах выбор материалов и технологий для устройства разметки должен осуществляться на основе тщательного анализа, проведения полного комплекса лабораторных испытаний и экспериментальных полевых работ. Только при этом подходе возможно эффективное использование горизонтальной дорожной разметки и повышение безопасности дорожного движения.

В последние годы появились инновационные разработки принципиально новых, перспективных, экологически полноценных акриловых материалов для горизонтальной разметки автомобильных дорог – холодных пластиков химического отверждения, которые являются альтернативой современным органорастворимым краскам [1, 2, 3, 4, 5].

В отличие от красок, содержащих органические растворители, пластики отверждаются за счет протекания химической реакции инициированной радикальной полимеризации [6]. Холодные пластики изготавливают на основе реакционно-способных акриловых мономеров. Связующее представляет собой 20%-й раствор сополимера бутилакрилата и метилметакрилата в смеси исходных мономеров с добавлением катализатора. В состав высоконаполненной полимерной композиции (компонент А) входят: минеральные наполнители, диоксид титана рутильной формы или другой минеральный пигмент в зависимости от требуемого цвета, а также комплекс функциональных добавок (диспергаторов, смачивателей, пластификаторов) [4, 5, 7]. Компонент В представляет собой инициатор полимеризации, чаще всего – перекись бензоила в виде 50%-го порошка (для снижения пожаро- и взрывоопасности её наносят заводским способом на инертную матрицу) или в виде 25%-й пасты в двухатомных спиртах (пропиленгликоле, бутилгликоле и т.п.) [8].

Пластики после отверждения образуют толстослойное твердое непрозрачное лакокрасочное покрытие, иногда содержащее в составе до 25% световозвращающих стеклошариков.

**Методика эксперимента.** Автором был разработан и испытан в лабораторных условиях экологичный акриловый материал химического отверждения для горизонтальной разметки автомобильных дорог. Он предназначен для создания цветных противоскользких покрытий с повышенной шероховатостью (разметки больших площадей асфальтобетона, устройства покрытий специального назначения; разметки остановок общественного транспорта, велосипедных дорожек, периметров перекрёстков, приближения к пешеходным переходам и аварийно-опасным участкам, детских площадок, спортивных площадок, прогулочных дорожек рядом с медицинскими учреждениями, санаториями, детскими садами, школами). Комплексное композиционное покрытие состоит из трёх слоёв: нижний и

верхний – из пластика химического отверждения, промежуточный – из минерального наполнителя.

В качестве минерального наполнителя использовали бокситную крошку фракционного состава 5–20 мм. Отверждение производили перекисью бензоила в количестве 1,5–2,0% от массы пластика. Рецептура пластика приведена в таблице 1.

Жизнеспособность холодного акрилового пластика после соединения компонентов А и В, смешение которых производится непосредственно перед нанесением материала на дорожное покрытие, является важной технологической характеристикой. Она должна находиться в определённых пределах, а именно 20–30 мин. За этот период времени композиция должна быть тщательно перемешана с инициатором полимеризации и нанесена на дорожное полотно. Более длительное «время жизни» не технологично, так как при проведении разметочных работ в любое время года движение перекрывают на период времени не более 20–40 мин.

Вследствие протекания в системе каталитической реакции инициированной радикальной полимеризации (катализатор аминного типа – диметил-п-толуидин, инициатор – перекись бензоила) стабильность пластика с инициатором полимеризации ограничена во времени. Жизнеспособность исследуемой сложной гетерогенной системы характеризуется временем до начала резкого нарастания вязкости материала (гелеобразования). Гелеобразование обусловлено протеканием реакции полимеризации и образованием в объёме системы пространственной сетки, приводящее к резкому снижению текучести материала. Образование геля характеризуется не моментом начала гелеобразования, а целым интервалом или областью. На первой стадии происходит возникновение микрогелей, частично сшитых частиц коллоидного размера. На второй стадии начинается формирование сетчатой структуры при объединении микрогелей в единую полимерную матрицу. Визуально гелеобразование пластика наблюдается на второй стадии процесса. Реальный образующийся полимер представляет собой ограниченные по размеру сетчатые агрегаты, звенья макромолекулы которых пространственно связаны между собой химическими связями. Сами же агрегаты соединяются не только химическими, но и физическими (ван-дер-ваальсовыми или водородными) связями [9].

Пластик химического отверждения исследовали в лабораторных условиях на соответствие СТБ 1520 «Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог» [10] стандартными методами [11]. Все работы производили в вытяжном шкафу.

Пластинки – подложки для нанесения пластиков подготавливали согласно стандартным методам [10]. Время отверждения, массовую долю нелетучих веществ, стойкость покрытия к статическому воздействию воды, 3%-го водного раствора хлорида натрия, насыщенного водного раствора хлорида натрия определяли на стекле для фотографических пластинок размером 90x120 мм, толщиной (2±1) мм. Эластичность покрытия при изгибе определяли на пластинках прямоугольной формы из алюминиевых лент длиной 100–150 мм, шириной 20–50 мм, толщиной 0,25–0,32 мм. Морозостойкость (количество циклов замораживания-оттаивания) покрытия и адгезию определяли на стандартных цилиндрических образцах-подложках из песчаного асфальтобетона диаметром 71,4 мм.

Таблица 1. Рецептура экологичного акрилового противоскользкого пластика

Наименование компонента	Содержание, масс. %
20%-й раствор бутилметакрилового сополимера в смеси мономеров	40,0
Катализатор аминного типа (N,N-диметил-п-толуидин)	0,1
Стабилизатор неокрашивающий (2,4,6-три-трет-бутилфенол)	0,5
Диспергатор (раствор высокомолекулярного блок-сополимера, содержащего аминные группы, в ксилоле)	0,5
Агент реологии (раствор модифицированного карбамида в N-метилпирролидоне)	0,9
Пигмент (красный свинцово-молибдатный крон – изоморфная смесь хромата, сульфата и молибдата свинца)	5,0
Микрораморный наполнитель (карбонат кальция) фракции $\varphi_{ср} = 25$ мкм	53,0

Таблица 2. Критерии оценки стабильности при хранении

Баллы	Описание состояния пластика
6	Идеальная композиция. Состояние пластика не изменилось по сравнению с контрольным образцом.
5	Незначительное уменьшение вязкости материала в поверхностном слое, незначительное явление синерезиса (выступление акрилового полимера на поверхности пластика). Отсутствие осадка. Материал легко перемешивается до первоначального состояния.
4	Незначительное явление синерезиса в поверхностном слое. Незначительное образование мягкого, легко размешиваемого осадка. Материал без труда перемешивается до первоначального состояния.
3	Явление синерезиса в поверхностном слое. Образование размешиваемого осадка. Материал перемешивается до первоначального состояния с незначительными усилиями.
2	Явление синерезиса в поверхностном слое, разделение пигментов в цветном пластике, выбеливание на поверхности материала. Образование твёрдого трудноразмешиваемого осадка. Перемешивание до однородной массы возможно с большим трудом.
1	Образование твёрдого или резиноподобного, неразмешиваемого осадка. Невозможно перемешивание до однородной массы.

Таблица 3. Результаты лабораторных испытаний пластика

Наименование показателя	Величина
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,7
Стабильность при хранении, баллы	не менее 3
Время отверждения до степени 5 при температуре (20±2)°C	не более 25 мин
Массовая доля нелетучих веществ (с инициатором), %	98
Стойкость покрытия к статическому воздействию воды и 3%-го водного раствора хлорида натрия при t= (20±2)°C, ч	более 100
Стойкость покрытия к статическому воздействию насыщенного водного раствора хлорида натрия при t= (0±2)°C, ч	более 100
Адгезия к асфальтобетону, МПа: - до замораживания - оттаивания - после 10 циклов замораживания – оттаивания	более 0,5 более 0,4
Эластичность покрытия при изгибе, мм	16
Водонасыщение, % по объёму	0,4

Для определения времени отверждения пластик наносили в один слой толщиной «мокрой» пленки 300±20 мкм. Для определения эластичности пластик наносили аппликатором или кистью в один слой толщиной отверждённого покрытия 200–300 мкм. Для определения стойкости к статическому воздействию воды, 3%-го водного раствора хлорида натрия, насыщенного водного раствора хлорида натрия, морозостойкости пластик наносили в 1 слой толщиной 200–250 мкм на обе стороны пластинки, а также на боковые грани.

Продолжительность сушки каждого слоя составляла 1 ч при температуре (20±2)°C. Для определения адгезии пластик заливали в форму согласно [10], а для определения водонасыщения по объёму – в форму, проложенную полиэтиленом и разделённую вкладышами на три равные части.

Толщину измеряли микрометром типа МК 25–1 с погрешностью не более (±3)мкм. Контроль остальных геометрических параметров производили штангенциркулем. Количество образцов для испытания каждого показателя – не менее 3. Перед испытаниями образцы с покрытиями выдерживали в течение 24 ч при температуре (20±2)°C и относительной влажности 60–70 %.

Плотность определяли без добавления инициатора полимеризации в пластик. За результат принимали среднее арифметическое трёх параллельных измерений, округлённых до 0,1 г/см<sup>3</sup>.

Стабильность при хранении определяли ускоренным методом. Образец пластика без инициатора полимеризации помещали в металлическую тару объёмом 0,5 л и плотно закупоривали. Степень заполнения тары составляла около 80% её объёма. Затем образец ставили в термощкаф и выдерживали при температуре (60±2)°C в течение 120 ч. Перед осмотром материал охлаждали до температуры (20±2)°C в течение 2–3 ч. Аккуратно открывали крышку, осторожно погружали шпатель в ёмкость с пластиком до дна, визуально оценивали наличие расслоения, образования осадка и/или других отклонений по сравнению с контрольным образцом, хранившимся при температуре (20±2)°C в течение 120 ч. Оценку производили в баллах. Критерии оценки состояния материала при визуальном осмотре приведены в таблице 2.

Пластик, получивший оценку ниже 3 баллов, считали не выдержавшим испытание.

Время отверждения до степени 5 и массовую долю нелетучих веществ определяли при добавлении инициатора полимеризации в количестве 1,5% от массы пластика.

Стойкость покрытия к статическому воздействию воды, 3%-го водного раствора хлорида натрия и насыщенному водному раствору хлорида натрия определяли по [10]. Пластик считался прошедшим испытание, если не обнаружено отслаивания покрытия от подложки, пожелтения и сморщивания поверхности, появления мелких и крупных пузырей. Дефекты, обнаруженные на расстоянии менее 10 мм от края образца, не учитывали.

Циклы замораживания-оттаивания проводили с использованием морозильной камеры с рабочей температурой (-20±2)°C. Оттаивание осуществляли в 35-м водном растворе хлорида натрия. После завершения испытания образец промывали чистой проточной водой, сушили на воздухе при температуре (20±2)°C в течение 2 ч и производили визуальный осмотр. Поверхность покрытия должна быть однородной, без усадочных трещин, пузырей или отслоений.

Адгезию пластика к асфальтобетону определяли методом отрыва. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

**Заключение.** Комплексное акриловое противоскользящее покрытие сочетает в себе твердость, износостойкость, эластичность, морозостойкость, стойкость к воздействию воды и водного раствора хлорида натрия, устойчивость к воздействию переменных температур (многократный переход через 0°C), высокую адгезию к асфальтобетонному дорожному полотну. Неотверждённый материал показал достаточную стабильность при хранении, позволяющую транспортировать его на длительные расстояния даже при высоких температурах (до +60°C), то есть использовать в южных регионах.

Вторым этапом разработки планируется проведение натурных испытаний нового акрилового химически отверждаемого противоскользящего материала, а именно – особенностей его нанесения, отверждения в различных условиях. Планируется также определение коэффициента сцепления при помощи прибора SRT, состоящего

из качающегося маятника, снабженного каучуковым башмаком на свободном конце и воспроизводящего поведение автомобиля (снабженного шинами с рифленым протектором) в момент, когда шины блокируются тормозом на скорости 50 км/ч на влажной дороге.

Применение экологичных акриловых противоскользящих холодных пластиков при устройстве горизонтальной дорожной разметки специального назначения позволяет: увеличить срок службы разметочного покрытия; сэкономить материалы и энергоресурсы; повысить безопасность движения; улучшить экологическую обстановку при проведении разметочных работ за счет отсутствия в составе пластиков органических растворителей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стойе, Д. Краски, покрытия и растворители / Д. Стойе, В. Фрейтаг; пер. с англ. под ред. Э. Ф. Ицко. – СПб.: Профессия, 2007. – 528 с.
2. Тур, Э.А. Пластики холодного нанесения для горизонтальной разметки автомобильных дорог / Э.А. Тур // Материалы Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», Минск, 16–18 ноября 2005 г. / БГТУ. – Минск, 2005. – С. 8–11.
3. Тур, Э.А. Новый экологически рациональный материал для горизонтальной разметки автомобильных дорог / Э.А. Тур, С.В. Басов // Вестник БрГТУ. – 2009. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 66–67.
4. Тур, Э.А. Экологически полноценный материал для горизонтальной разметки асфальтобетонных и бетонных автомобильных дорог / Э.А. Тур // Проблемы устойчивого развития регионов республики Беларусь и сопредельных стран: сборник научных статей Второй Международной научно-практической конференции, Могилёв, 27-29 марта 2012 г. / МГУ имени А.А. Кулешова, г. Могилёв: УО «МГУ имени А.А. Кулешова», 2012. – Ч. 2. – С. 161–165.
5. Тур, Э.А. Экологически полноценный акриловый материал для горизонтальной разметки автомобильных дорог / Э.А. Тур, Н.М. Голуб // Радиоэкология. Новые технологии обеспечения экологической безопасности: сб. науч. трудов Международной научно-технич. конф., Уфа, 20–30 марта 2012 г. / Под общ. ред. Г.Г. Ягафарова. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2012. – С. 166–172.
6. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке; пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
7. Скороходова, О.Н. Неорганические пигменты и их применение в лакокрасочных материалах / О.Н. Скороходова, Е.Е. Казакова. – М.: Пэйнт-Медиа, 2005. – 264 с.
8. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке; пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
9. Охрименко, И.С. Химия и технология плёнообразующих веществ / И.С. Охрименко, В.В. Верхоланцев. – Л.: Химия, 1978. – 392 с.
10. Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог. Технические условия: СТБ 1520-2009.
11. Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

Материал поступил в редакцию 10.01.13

#### TUR E.A. Research of physicomechanical properties of the eco-friendly acrylic razmetochnogo of the antiskid material

Developed and tested in laboratory conditions eco-curing acrylic material for horizontal road marking. The material is designed for color-skid coatings with enhanced roughness on the accident-prone sections of roads and grounds. Its use will extend the life of marking coatings, save materials and energy, increase safety, improve the ecological environment during the marking of work due to the lack of plastics in the organic solvents.

УДК 628.511

**Шалобыта Н.Н., Новиков В.М., Нагурный С.Г.**

### СТРУЙНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЕРХОВЫХ ПОЖАРОВ

Непрерывное развитие пожаро- и взрывоопасных производств химической, нефтяной, нефтехимической отраслей промышленности, широкое применение в производстве синтетических материалов требует усиленного внимания со стороны государства и охранных органов к вопросам профилактики предупреждения пожаров и необходимых условий для их успешного тушения.

Задачи противопожарной защиты объектов современных отраслей промышленности усложняются в связи с концентрацией производственных и энергетических мощностей, увеличением вместимости складов с огнеопасными и взрывчатыми веществами, применением в строительстве облегчённых конструкций из металла и полимерных материалов с низким пределом огнестойкости. Это требует нового подхода к решению проблемы повышения эффективности систем пожаротушения и разработки научно обоснованных требований и принципов проектирования техники пожаротушения [1].

Ощутимый вред народному хозяйству наносят верховые пожары.

Создание струйных комплексов для эффективной защиты от верховых пожаров требует глубокого изучения закономерностей обтекания сетчатых экранов плоскими водяными струями в условиях воздействия на них ветровых нагрузок и мощного теплового потока.

В Брестском государственном техническом университете более 10 лет ведутся испытания по созданию струйных комплексов для подавления и ликвидации верховых пожаров.

Экспериментально установлено, что для эффективной борьбы с верховыми пожарами необходимо иметь сетчатый экран, обтекаемый плоской водяной струёй, высотой не менее 20 м со значительной протяжённостью по фронту очага горения.

Для установления оптимального размера ячейки сетки, обеспечивающей сплошность водяной завесы, исследовались экраны с квадратными ячейками: 20×20 мм, 15×15 мм, 10×10 мм, 7,5×7,5 мм, 5×5 мм, 3,5×3,5 мм.

На рис. 1, рис. 2, рис. 3, показана картина обтекания сетчатых экранов плоской водяной струёй, из которой видно, что оптимальный размер ячейки сетчатого экрана лежит в пределах от 5×5 мм до 10×10 мм.

Сетчатые экраны, используемые для оборудования струйных комплексов, обладают большой парусностью, что при значительной скорости ветра может привести к потере устойчивости и опрокидыванию конструкции.

Конструкция струйного комплекса должна быть оборудована сетчатым экраном с максимально допустимым размером квадратной ячейки, обеспечивающим формирование сплошной водяной завесы.