

## **ПРОТИВОСКОЛЬЗЯЩИЙ РАЗМЕТОЧНЫЙ АКРИЛОВЫЙ МАТЕРИАЛ КАК ЭКОЛОГИЧНОЕ РЕШЕНИЕ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В Республике Беларусь в настоящее время огромную роль 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 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].

В отличие от красок, содержащих органические растворители, пластики отверждаются за счет протекания химической реакции инициированной радикальной полимеризации [4]. 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 или другой минеральный пигмент в зависимости от требуемого цвета, а также комплекс функциональных добавок (диспергаторов, смачивателей, пластификаторов) [4, 5]. 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.) [2]. Пластики после отверждения образуют толстослойное твердое непрозрачное лакокрасочное покрытие, содержащее в составе до 25% световозвращающих стеклошариков.

Новый экологичный материал химического отверждения, испытанный в лабораторных условиях, предназначен для создания цветных противоскользящих 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. Рецептúra 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» неприемлемо, так как при проведении разметочных работ в любое время года движение перекрывают на период времени не более 20–40 мин.

**Таблица 1 – Рецептúra противоскользящего 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 $\varnothing_{ср} = 25$ мкм	53,0

Вследствие протекания в системе каталитической реакции инициированной радикальной полимеризации (катализатор аминного типа – диметил-п-толуидин, инициатор – пероксид бензоила) стабильность пластика с инициатором полимеризации ограничена во времени. Жизнеспособность исследуемой сложной гетерогенной системы характеризуется временем до начала резкого нарастания вязкости материала (гелеобразования). 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 макромолекул которых пространственно связаны между собой химическими связями [6].

Пластик химического отверждения исследовали в лабораторных условиях на соответствие СТБ 1520 «Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог» [7] стандартными методами [8]. Все работы производили в вытяжном шкафу. Результаты исследований приведены в таблице 2.

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. Неотвержденный 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.

**Таблица 2 – 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) <sup>0</sup> С	не более 25 мин
Массовая доля нелетучих веществ (с инициатором), %	98
Стойкость покрытия к статическому воздействию воды и 3%-ного водного раствора хлорида натрия при температуре (20±2) <sup>0</sup> С, ч	более 100
Стойкость покрытия к статическому воздействию насыщенного водного раствора хлорида натрия при температуре (0±2) <sup>0</sup> С, 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

Вторым этапом разработки является проведение натуральных испытаний нового акрилового химически отверждаемого противоскользящего материала, а именно, особенностей его нанесения, отверждения в различных условиях. В обязательном порядке определяли коэффициент сцепления при помощи прибора SRT, состоящего из качающегося маятника, снабженного каучуковым башмаком на свободном конце, и воспроизводящего поведение автомобиля (снабженного шинами с рифленным протектором) в момент, когда шины блокируются тормозом на скорости 50 км/ч на влажной дороге [3]. Согласно проведенным натурным испытаниям, величина коэффициента сцепления свежеуложенного противоскользящего пластика в среднем в 2 раза выше коэффициента сцепления асфальта. Известно, что повышение коэффициента сцепления в 3 раза приводит к сокращению тормозного пути в 2 раза на мокром покрытии [9]. Повышение коэффициента сцепления в 2 раза приведёт к сокращению тормозного пути в 1,34 раза на мокром покрытии.

Применение экологичных акриловых противоскользящих материалов 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 работ за счет отсутствия в составе пластиков органических растворителей. Для получения высококачественной, долговечной разметки необходимо соблюдение двух основных условий: использование качественных материалов и качественное выполнение работ по нанесению разметки на дорожное полотно, то есть безусловное соблюдение технологии нанесения противоскользящего экологичного материала.

#### **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. Исследование физико-механических свойств экологичного акрилового разметочного противоскользящего материала / Э. А. Тур // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 109–111.
3. Тур, Э. А. Исследование эксплуатационных свойств экологичного разметочного противоскользящего акрилового материала / Э. А. Тур, Н. М. Голуб // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 123–125.

4. 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.
5. Скороходова, О. Н. Неорганические пигменты и их применение в лакокрасочных материалах / О. Н. Скороходова, Е. Е. Казакова. – М.: Пэйнт-Медиа, 2005. – 264 с.
6. Охрименко, И. С. Химия и технология плёнообразующих веществ / И. С. Охрименко, В. В. Верхованцев. – Л.: Химия, 1978. – 392 с.
7. Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог. Технические условия : СТБ 1520-2008.
8. Карякина, М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
9. Европейское руководство по качеству / под ред. У. Цорлля; пер. с англ. под ред. проф. Л. Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 578 с.

УДК 531.2+624.04

**Хеук М. В.**

**Научный руководитель: Холодарь Б. Г.**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ СПОСОБОМ ДВУХ МОМЕНТОВ

**Введение.** Определение опорных реакций представляет собой одну из основных операций при расчете конструкций на прочность. Возникающие реактивные силовые факторы зависят от конструктивного исполнения опорных устройств, геометрии системы и характера нагружения.

Традиционно реакции ищутся в декартовой системе координат с помощью уравнений равновесия [1]. При этом для системы, состоящей из нескольких тел, одновременно приходится определять и реакции внутренних связей, решая системы линейных уравнений. Однако можно использовать более рациональный способ решения, который позволяет получить результат намного быстрее, к тому же данный метод позволяет получать ответ графически, с достаточной точностью [2]. Для этого можно использовать как вычисление вручную, так и применять вычислительную технику.

### Методика решения

Рассмотрим принцип на простой схеме (рис. 1).

Приложенная к телам системы активная нагрузка может быть приведена к какой-либо точке, и в этом случае она представится двумя силовыми факторами – главным вектором и главным моментом, каждый из которых в частном случае может оказаться равным нулю. Приведем активную нагрузку на каждом из тел к точке *A*.

Для данной схемы реакции в точках *B* и *C* разложим на нормальные и касательные составляющие к аппроксимирующим прямым *AC* и *AB*, тогда определение нормальных составляющих ( $R_1C^n, R_1B^n$ ) можно провести путем составления уравнений моментов относительно точки *A*. Сами нормальные реакции в опорных точках каждого из тел зависят только от момента активных нагрузок на соответствующем теле относительно точки соединения с другим телом. Величины касательных компонент реакций ( $R_1C^t, R_1B^t$ ) и зависят от всех 4-х нагрузок ( $M_1, M_2, F_1, F_2$ ). Эти компоненты легко могут быть найдены графически из условия равенства нулю главного вектора силовой системы. Действительно, для активных сил и нормальных составляющих реакций мы знаем направления и значения. Для касательных знаем направление, поэтому можем построить силовой многоугольник в определенном масштабе, с помощью которого определить значение касательных составляющих. Решение показано на рисунке 1, причем оно позволило сразу же определить и реакцию внутренней связи – шарнира *A*.