

Анализ эффективности применения холодного пластика для горизонтальной дорожной разметки

Лязат Толымбекова, Нурия Успанова, Гайни Сейтенова*

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан; tolymbekova_lb@enu.kz;

nuriya.uspanova@gmail.com

*Корреспонденция: seitenova_gzh@enu.kz

Аннотация. В условиях роста автотранспортного потока и повышения требований к безопасности дорожного движения возрастает значимость качественной и долговечной горизонтальной дорожной разметки. В статье рассматриваются физико-химические свойства и эксплуатационные характеристики холодного пластика на основе метилметакрилата (ММА), применяемого для устройства дорожной разметки. Проведён анализ отечественных и международных нормативных требований (СТ РК 1124–2019, ГОСТ 32952), а также сравнительная оценка холодного пластика с традиционными материалами - лакокрасочными покрытиями и термопластиками. Установлено, что холодный пластик обладает высокой износостойкостью, устойчивостью к химическим реагентам, ультрафиолету и абразивным нагрузкам, что обеспечивает срок его службы до 5 лет. Дополнительно рассматривается влияние дорожной инфраструктуры на аварийность и подчеркивается роль дорожной разметки как одного из факторов, снижающих риск дорожно-транспортных происшествий. Представлены статистические данные по уровню ДТП в Республике Казахстан, выявлены ключевые проблемы в области нанесения дорожной разметки. В статье описана технология нанесения холодного пластика и даны рекомендации по его применению в целях повышения безопасности и экологической устойчивости дорожной инфраструктуры.

Цитирование: Толымбекова, Л., Успанова, Н., Сейтенова, Г. (2026). Анализ эффективности применения холодного пластика для горизонтальной дорожной разметки. Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия Химия. География. 156(3), 93-113. <https://doi.org/10.32523/3107-278X-2026-156-3-93-113>

Академический редактор:
С.С. Досмагамбетова

Поступила: 19.03.2026
Исправлена: 23.02.2026
Принята: 29.09.2026
Опубликована: 30.09.2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Ключевые слова: холодный пластик; дорожная разметка; метилметакрилат (ММА); безопасность дорожного движения; износостойкость; нормативные требования; дорожно-транспортное происшествие (ДТП); дорожная инфраструктура.

1. Введение

Современное развитие транспортной инфраструктуры сопровождается возрастанием требований к обеспечению дорожной безопасности, что делает особенно актуальным вопрос выбора надёжных и долговечных материалов для организации дорожного движения.

Одной из значимых социальных и экономических проблем остаются дорожно-транспортные происшествия (ДТП), последствия

которых включают как человеческие жертвы, так и значительные финансовые потери (Chand et al., 2021). В научной и прикладной литературе причины возникновения ДТП подразделяются на временные, средовые и управленческие факторы (Van et al., 2023), при этом к числу ключевых факторов, способствующих снижению риска аварий, относится эффективная система визуальной навигации, в том числе дорожная разметка (Abdunazarov et al., 2023). В статье дорожная разметка рассматривается как элемент системы организации дорожного движения, при этом основное внимание уделяется горизонтальной дорожной разметке, выполненной с применением холодного пластика.

Горизонтальная дорожная разметка, являясь элементом пассивной безопасности, выполняет важную функцию в регулировании транспортных потоков, обеспечении читаемости маршрутов и повышении уровня дисциплины участников дорожного движения. Она визуально разделяет полосы, предупреждает о зонах повышенного риска и способствует соблюдению правил (Wang et al., 2023).

Качественная и долговечная дорожная разметка особенно важна в условиях интенсивной эксплуатации дорог, неблагоприятного климата и сезонной нагрузки, характерных для многих регионов Казахстана (Teltaev et al., 2022).

На фоне технологического прогресса и перехода к материалам нового поколения, особое внимание уделяется холодному пластику - двух- или трёхкомпонентному композиционному материалу на основе метилметакрилата (ММА), отверждающемуся в результате химической реакции при обычных температурах (Yuan et al., 2023). Благодаря своим физико-химическим свойствам - высокой адгезии к минеральным и асфальтобетонным основаниям, стойкости к ультрафиолетовому излучению, абразивному износу, солевым реагентам и влаге - данный тип покрытия демонстрирует улучшенные эксплуатационные характеристики по сравнению с традиционными лакокрасочными и термопластичными составами (Naidu et al., 2020).

Применение холодного пластика не требует предварительного нагрева, что способствует сокращению энергозатрат и снижению риска производственного травматизма при нанесении (Nadizadeh et al., 2020). Дополнительным преимуществом является возможность интеграции в состав отражающих элементов - стеклянных микросфер и структурных компонентов, обеспечивающих отличную видимость дорожной разметки как в дневное, так и в ночное время, при любых погодных условиях (Mazzoni et al., 2024). При правильной технологии нанесения и соблюдении эксплуатационных требований срок службы дорожной разметки на основе холодного пластика может достигать 3–5 лет, что в несколько раз превышает долговечность лакокрасочных материалов (Kassem et al., 2021).

Актуальность темы обусловлена необходимостью исследования свойств холодного пластика для дорожной разметки. Выбор эффективных материалов для дорожной разметки представляет собой стратегически важную задачу в условиях модернизации транспортной системы (Milachowski et al., 2020). Применение покрытий с улучшенными характеристиками позволяет не только повысить безопасность дорожного движения, но и сократить частоту обновления дорожной разметки, снизить расходы на обслуживание и минимизировать экологическую нагрузку. В этих условиях холодный пластик выступает как инновационное решение, способное заменить традиционные материалы и обеспечить устойчивый эффект в долгосрочной перспективе (CARO, 2023).

Цель исследования – комплексное изучение физико-химических и эксплуатационных свойств холодного пластика на основе метилметакрилата, применяемого для устройства горизонтальной дорожной разметки, а также анализ его технологических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с традиционными материалами, такими как термопластики и лакокрасочные композиции. Особое внимание уделяется нормативным аспектам, условиям применения, сроку службы и влиянию на безопасность дорожного движения.

2. Нормативные требования и практика применения материалов дорожной разметки

В условиях роста численности населения и увеличения потребности в транспортной мобильности вопросы обеспечения безопасности дорожного движения приобретают особую актуальность. Анализ современной практики показывает необходимость разработки и внедрения новых технических, организационных и правовых решений, направленных на повышение уровня комфорта и безопасности перемещения (Zhandarbekova et al., 2024).

Дорожно-транспортные происшествия формируют не только медико-социальные, но и существенные экономические потери: прямые расходы на лечение и реабилитацию, временная или стойкая утрата трудоспособности, снижение доходов домохозяйств и утрата человеческого капитала при летальных исходах. При этом рост автопарка и субурбанизация усиливают нагрузку на улично-дорожную сеть, повышают вероятность заторов и, как следствие, риск конфликтных ситуаций в потоке (Chand et al., 2021; Faheem et al., 2024). В объяснении причинности ДТП значимый вклад относится к поведенческим факторам водителей, что подчёркивает важность визуально-эргономичной, легко считываемой дорожной разметки как элемента, снижающего когнитивную нагрузку при вождении (Mohammed et al., 2025). Отдельные расчётные исследования допустимой скорости при различных плотностях потока демонстрируют академическую ценность, но при отсутствии учёта полного набора факторов риска (микроклимат, состояние покрытия, освещённость, читаемость дорожной разметки) их прикладная состоятельность ограничена (Abdunazarov et al., 2023). Экспериментальные наблюдения влияния дорожной разметки и знаков в ночное время показывают, что качественно выполненная горизонтальная дорожная разметка снижает вероятность аварийных событий, стабилизирует поведение водителя и уменьшает стресс за рулём (Babich et al., 2020).

Эмпирическую основу сопоставления материалов дополняют данные о реальной практике закупок. По информации портала «Государственные закупки Республики Казахстан» регулярно приобретается дорожная краска марки АК-511 (белая, жёлтая, красная, чёрная), применяемая для дорожной разметки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, взлётно-посадочных полос, терминалов, парковочных пространств и иных объектов транспортной инфраструктуры (Портал государственных закупок Республики Казахстан, 2025; ЭООО «Сибкраска», 2025). Согласно технической документации производителя, материал характеризуется быстрым высыханием, удовлетворительной стойкостью к истиранию и устойчивостью к климатическим и химическим воздействиям; одновременно для акриловой АК-511 типичен средний срок службы, не превышающий одного сезона эксплуатации при стандартной нагрузке (Zhang et al., 2023; Brusentseva et al., 2019).

Анализ статистических данных о дорожно-транспортных происшествиях в Республике Казахстан показывает устойчивую тенденцию к росту числа аварий. Существенная часть ДТП связана с ненадлежащим состоянием дорожной инфраструктуры, включая недостаточную видимость или полное отсутствие дорожной разметки. Это подчёркивает необходимость внедрения современных, долговечных и экологически безопасных материалов, таких как холодный пластик, способных повысить видимость и долговечность дорожной разметки, а следовательно - и уровень безопасности на дорогах (Bakishhev et al., 2021; Правительство Республики Казахстан, 2014; TRA conference, 2025).

Нормативная база определяет перечень допустимых материалов и целевые эксплуатационные показатели. В соответствии со СТ РК 1124–2019 для постоянной дорожной разметки применяются краски (эмали), термопластики и холодные пластики (по ГОСТ 32830), для временной - полимерные ленты. Минимальный срок службы составляет 3 месяца для лакокрасочных материалов и лент, а для холодного пластика – 6 месяцев. Износостойкость зависит от толщины слоя и предельного износа: до 25 % для пластиковых систем и до 50 % для эмалей и лент (Committee for Standardization RK, 2019). СТ РК 2066–2010 «Материалы для дорожной разметки» уточняет требования к физико-химическим свойствам (прочность, износостойкость, оптическая заметность) применяемых покрытий с учётом разнообразия эксплуатационных условий в РК (Committee for Standardization RK, 2010). Соответствие готовой дорожной разметки требованиям ГОСТ 32952 «Разметка дорожная» оценивается по

геометрическим параметрам, координатам цветности, коэффициентам яркости (горизонтальной и вертикальной), показателям долговечности и износа, а также функциональной стойкости во времени (ГОСТ 32952–2014, 2014).

При сравнении материалов необходимо учитывать характер действующих нагрузок. Лакокрасочные покрытия испытывают интенсивное механическое воздействие со стороны колёс, абразивное действие пыли и противогололёдных реагентов, деградацию под ультрафиолетом и при температурных циклах, а также загрязнение атмосферными осадками и техногенными частицами (Zhao et al., 2023). Эти факторы ускоряют потерю контрастности и ночной видимости, деградацию колориметрических характеристик, что обосновывает актуальность регламентов качества и периодического контроля оптических свойств дорожных красок и компаундов (Taheri, Jahanfar, & Ogino, 2017).

Ключевым компонентом оптической системы дорожной разметки являются светоотражающие стеклянные микросферы, обеспечивающие ретрорефлексию в тёмное время суток и при неблагоприятной погоде. Их применение должно сопровождаться полевыми испытаниями на соответствие целевым критериям безопасности и износостойкости, включая оценку индекса ретрорефлексии (RL) и коэффициента дневной яркости (Qd); дополнительно используются антискользящие добавки для сохранения требуемого уровня сцепления (Ahmadiev et al., 2019; Burghardt et al., 2021).

Измерение коэффициента световозвращения RL выполняется в полевых условиях с использованием портативных дорожных ретрорефлектометров геометрии 30 м, предназначенных для измерений на проезжей части и соответствующих требованиям стандартов EN 1436 и ASTM E1710. Определение коэффициента дневной яркости Qd осуществляется с применением люминансметров либо комбинированных приборов RL/Qd, обеспечивающих стандартную геометрию освещения и наблюдения. Перед началом измерений все применяемые приборы подвергались обязательной калибровке с использованием сертифицированных эталонных калибровочных пластин, рекомендованных изготовителем оборудования, в соответствии с требованиями действующей нормативной документации. Контрольные измерения выполнялись после нанесения дорожной разметки, а также в процессе её эксплуатации с заданной периодичностью, что обеспечивало возможность оценки изменения (деградации) оптических характеристик дорожной разметки во времени (Babić et al., 2024).

Европейский стандарт SIST EN 1423:2012 устанавливает требования к стеклянным микросферам: высокая сферичность, ограничение дефектов фракции ~ 1 мм, отсутствие тяжёлых металлов (сурьма, мышьяк, свинец), диапазон pH 5–11, химическая стойкость к воде и растворам: HCl, CaCl₂, Na₂S. Классификация ведётся по показателю преломления (класс A $n \geq 1,5$; класс B $n \geq 1,7$; класс C $n \geq 1,9$). Гранулометрический состав подбирается в зависимости от целевого назначения: более мелкие фракции увеличивают долговечность системы, более крупные - повышают начальную ретрорефлексию, но быстрее изнашиваются. Для непрозрачного противоскользящего заполнителя цвет должен соответствовать заданным координатам цветности (x, y) (EN 1423:2012, 2012).

Системные требования к горизонтальной дорожной разметке включают такие параметры, как долговечность, функциональность, технологичность нанесения и экологическую приемлемость на всех этапах жизненного цикла. Горизонтальная дорожная разметка подразделяется на постоянную и временную. Водоразбавляемые краски преимущественно предназначены для временных задач, тогда как постоянное покрытие традиционно выполняется на основе растворителей либо полимерных систем. Внедрение холодного пластика как связующего звена технологичности и экологичности позволяет одновременно повысить структурную прочность и долговечность покрытия, сократить частоту обновлений и снизить риски, связанные с использованием классических органических растворителей, без ущерба для оптических характеристик и безопасности движения (Babić et al., 2015).

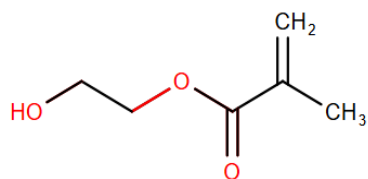
3. Результаты обзора литературы

3.1. Анализ современных решений и их сравнительная характеристика

Холодный пластик для горизонтальной дорожной разметки представляет собой двухкомпонентную систему на основе метилметакрилата (ММА) с инициатором отверждения (как правило, пероксид бензоила). По сравнению с термопластичными материалами ММА-системы характеризуются быстрым отверждением (быстрым набором прочности), длительным сроком службы, высокой износостойкостью, атмосферостойкостью, высокими противоскользящими свойствами и низкой склонностью к загрязнению поверхности. Показано, что целевая оптимизация рецептуры и режимов нанесения холодного пластика позволяет дополнительно улучшать эксплуатационные показатели покрытия при сохранении технологичности процесса (Hadizadeh, Pazokifard, Mirabedini, 2020).

Материалы лакокрасочной группы для постоянной горизонтальной дорожной разметки должны удовлетворять повышенным требованиям экологической и операционной безопасности. Акриловые связующие характеризуются универсальностью применения за счёт выраженной плёнообразующей способности, развитой адгезии к минеральным основаниям, коллоидной и цветовой стабильности, обратимости плёнообразования и отсутствия длительного пожелтения (Taheri, Jahanfar, Ogino, 2017). Экспериментальные исследования подтверждают, что краски на основе акриловых полимеров обеспечивают удовлетворительную износостойкость при абразивном воздействии колёс и сохраняют высокие адгезионные характеристики к асфальтобетону при переменном увлажнении и температурном циклировании (Bi Y et al., 2021). Широкая практика применения акриловых систем связана также с их колориметрической стабильностью, прозрачностью и устойчивостью к воздействию климатических факторов. Акриловые смолы представляют собой сополимеры (мет)акрилатных эфиров, получаемые радикальной полимеризацией с участием основы и отвердителя (Friel & Nungesser, 1995).

В качестве иллюстрации мономерного фрагмента акрилатного ряда на уравнении 1 приведена структура 2-гидроксиметилметакрилата (2-hydroxymethyl methacrylate), используемого для модификации свойств полимерной матрицы и формирования требуемого баланса жёсткости/вязкости плёнки при отверждении (Lim W. et al., 2023).



В Республике Казахстан требования к материалам дорожной разметки и результатам их применения регламентированы, в частности, СТ РК 1124–2019 и сопряжёнными стандартами (а также ГОСТ 32830 для пластиковых систем). Ниже представлены таблицы 1, 2, 3 и 4, в которых приведены ключевые показатели холодного пластика, подлежащие контролю при приёмке и эксплуатации.

Таблица 1. Координаты цветности высушенной плёнки холодного пластика (границы четырёхугольника цветовой области)

Цвет	Обозначение координат цветности	Координаты угловых точек с 1-й по 4-ю цветовую область дорожной разметки			
		1	2	3	4

Белый	X	0,355	0,305	0,285	0,335
	У	0,355	0,305	0,325	0,375
Желтый	X	0,443	0,545	0,465	0,389
	У	0,399	0,455	0,535	0,431
Оранжевый	X	0,506	0,570	0,610	0,585
	У	0,404	0,429	0,390	0,375

Таблица 2. Коэффициент яркости b (%) высушенной плёнки холодного пластика

Цвет	Класс разметочного материала	Коэффициент яркости b , %
Белый	B6	70-79
	B7	Более 80
Желтый	B3	40-49
	B4	50-59
Оранжевый	B2	30-39
	B3	40-49

Таблица 3. Плотность отвердевших холодных пластиков

Класс разметочного материала	Плотность, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
ПП1	Более 2,1
ПП2	От 1,9-2,1
ПП3	Менее 1,9

Таблица 4. Время отверждения холодных пластиков

Класс разметочного материала	Время отверждения в минутах
BT1	От 10-20
BT2	От 5-9
BT3	Менее 5

Представленные нормируемые показатели обеспечивают требуемую читаемость горизонтальной дорожной разметки днём и ночью (через контроль координат цветности и коэффициента яркости), механическую и химическую стойкость (плотность, устойчивость к электролитам и щёлочам), а также минимизацию времени ограничения движения при ремонтах (классы отверждения BT1-BT3). С практической точки зрения это означает, что холодный пластик, при корректном подборе класса по яркости и времени отверждения и соблюдении технологии нанесения, способен поддерживать устойчивые оптические и фрикционные свойства в широком диапазоне климатических условий Казахстана.

3.2. Статистика дорожно-транспортных происшествий

На частоту и тяжесть дорожно-транспортных происшествий влияет совокупность факторов - психофизиологическое состояние водителя, погодные условия и геометрические параметры дороги. Современный подход к снижению аварийности опирается на интеграцию статистики ДТП, телеметрии с датчиков и видеорегистраторов, данных социальных сетей и

алгоритмов искусственного интеллекта для оперативного выявления очагов риска (Robles-Serrano et al., 2021). В Казахстане внедрена интеллектуальная транспортная система (ITS), обеспечивающая автоматизированное управление потоками, фиксацию нарушений, распознавание регистрационных знаков и мониторинг общественного транспорта (включая контроль расписаний, автоматизацию оплаты, повышение безопасности и экологичности перевозок) (Агтила, 2024). При этом меры профилактики традиционно фокусируются на человеческом факторе и техническом состоянии транспортного средства, а влияние состояния покрытия и читаемости горизонтальной дорожной разметки учитывается неполно: хотя «карточка учёта ДТП» содержит графы, относящиеся к дорожной инфраструктуре, на практике инфраструктурные причины часто интерпретируются как второстепенные (Генеральная прокуратура РК, 2015).

Научные обзоры показывают, что качество и видимость дорожных разметок существенно влияют на поведение водителей и безопасность движения. Систематический анализ более чем 50 рецензируемых исследований подчеркивает связь между видимостью разметки и снижением аварийности (Babić et al., 2020). Исследования по анализу факторов риска ДТП, также отмечают, что характеристики дорожной инфраструктуры, включая элементы разметки, являются предикторами опасных ситуаций в городской среде (Petrov, 2024). Помимо этого, экспериментальные данные указывают на влияние видимости элементов разметки на когнитивную нагрузку водителя, что может косвенно отражаться на частоте ДТП (Fiočić, 2023). Официальные статистические данные Республики Казахстан также свидетельствуют о необходимости повышения качества дорожной инфраструктуры и обеспечения соответствия элементов разметки действующим нормативным требованиям, что является важным условием повышения безопасности дорожного движения (Bіuro natsional'noi statistiki RK, 2023).

Данные зарубежных исследований согласуются с этим выводом: например, анализ в Иране показал, что эффективность дорожной разметки зависит от класса дороги и условий видимости; туман и дым до восхода солнца резко ухудшают считываемость, а истирание покрытия статистически связано с ростом аварийности. В таблице 5 представлены данные исследования влияния факторов на частоту и тяжесть дорожно-транспортных происшествий (Sadeghi & Goli, 2024).

Таблица 5. Влияние факторов на частоту и тяжесть ДТП

Группа факторов	Фактор	Влияние на частоту ДТП	Влияние на тяжесть ДТП	Примечание
Состояние дорожного покрытия	Коэффициент сцепления и микрошероховатость	Увеличение	Увеличение	Наиболее выражено в ночное время и при осадках
Состояние дорожного покрытия	Колейность покрытия	Существенное увеличение	Значительное увеличение	Особенно характерно для скоростных дорог
Класс дороги	Высокоскоростные дороги	Не выявлено	Увеличение	Усиление кинетической энергии столкновений
Класс дороги	Низкоскоростные дороги	Увеличение	Увеличение	Изменение структуры аварий
Геометрия проезжей части	Двухполосные дороги	Увеличение	Увеличение	Повышенная чувствительность

				к дефектам покрытия
Геометрия проезжей части	Многополосные дороги	Снижение	Снижение	Более равномерное распределение транспортных потоков
Погодные условия	Атмосферные осадки	Линейное увеличение	Переменное	Зависит от интенсивности и продолжительности
Погодные условия	Туман и дым	Существенное увеличение	Существенное увеличение	Особенно до восхода солнца
Демографические факторы	Молодые водители	Не выявлено	Увеличение	Связано с рискованным стилем вождения
Демографические факторы	Пожилые водители	Не выявлено	Значительное увеличение	Ограничения реакции и физиологии
Демографические факторы	Женщины	Не выявлено	Увеличение	Более высокая тяжесть последствий
Прочие факторы	Наличие билбордов	Увеличение	Не выявлено	Отвлечение внимания водителей
Прочие факторы	Загрязнение атмосферного воздуха	Увеличение	Не выявлено	Снижение контрастности и видимости

В совокупности это аргументирует целесообразность приоритетного применения холодного пластика на участках с высокой интенсивностью движения и в зонах повышенной аварийности. Стабильность оптических характеристик (в том числе при дождевом намывании и в ночных условиях), высокая износостойкость и ускоренное отверждение позволяют снижать суммарные эксплуатационные издержки за счёт реже проводимых обновлений и меньших «окон» для перекрытия движения, одновременно повышая безопасность за счёт устойчивой читаемости горизонтальной дорожной разметки в течение всего межремонтного периода.

На рисунке 1 приведены данные ресурса World Population Review по странам с наибольшим абсолютным количеством ДТП: лидируют США, что коррелирует с масштабом автопарка и объёмом транспортного спроса. Казахстан занимает 20-е место - 16 614 ДТП в 2024 г. (World Population Review, 2025). Следует учитывать, что методики статистического учёта различаются по странам (критерии регистрации, полнота охвата и т. п.), тем не менее данный массив данных задаёт сравнимый фон для оценки роли инфраструктурных мероприятий, в том числе качества и долговечности горизонтальной дорожной разметки.

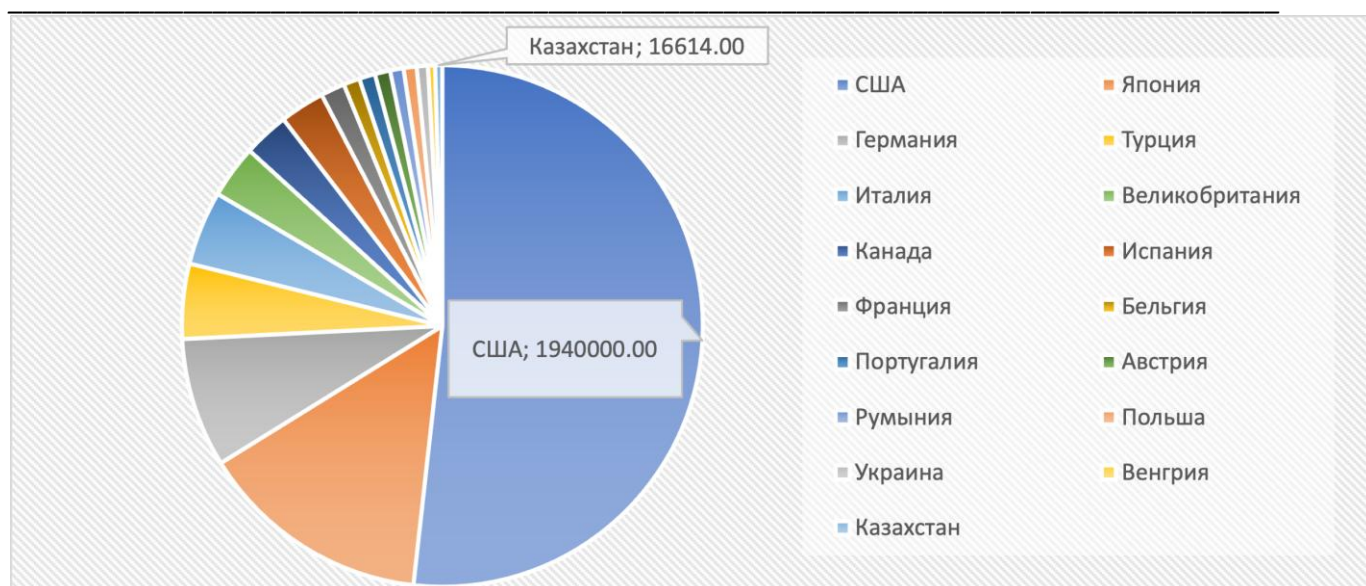


Рисунок 1. Топ-20 стран по количеству аварий (по данным World Population Review)

На рисунке 2 представлена ежегодная динамика по ряду европейских стран, рассчитанная в пересчёте на 1 млн населения. Из графиков видно, что рост транспортного потребления (включая автомобилизацию и пробеги) влечёт увеличение ДТП, как правило, не выше $\approx 15\%$, однако в ряде государств - Польше, Чехии, Италии и некоторых соседних странах - наблюдается снижение показателей (Statista, 2023). Выбор временного интервала анализа (2020–2021 гг.) обусловлен ограниченной доступностью сопоставимых статистических данных по странам Европы в открытых официальных источниках за более продолжительный период. Это снижение связывают с комплексной политикой безопасности дорожного движения: совершенствованием инженерных решений (включая долговечные материалы дорожной разметки с устойчивыми оптическими свойствами), оптимизацией организации движения, усилением контроля и адресными программами по уязвимым участкам сети. Важна и сопоставимость метрик: переход к нормированию «на 1 млн населения» позволяет нивелировать эффект масштаба и точнее проследить вклад инфраструктурных мер - в частности, применения износостойких систем на основе холодного пластика, обеспечивающих стабильную ретрорефлексию в ночное время и при намокании.

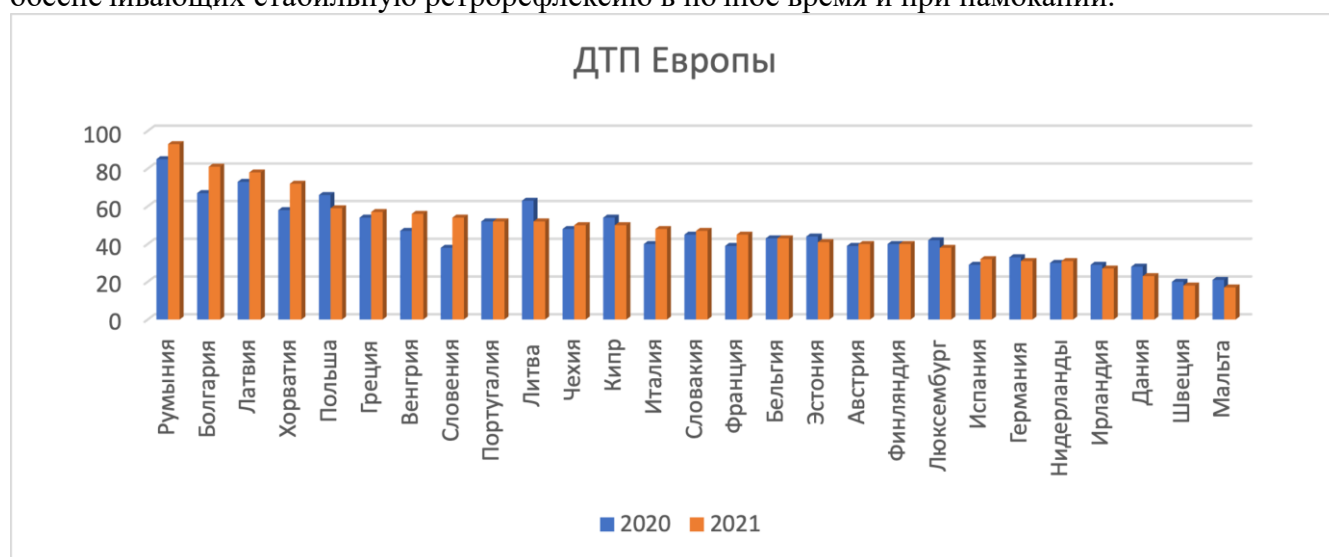


Рисунок 2. Динамика ДТП в странах Европы (случаев на 1 млн населения, 2020–2021 гг.)

На рисунке 3 представлены обновлённые данные правовой статистики по Казахстану: за 6 месяцев 2025 г. зарегистрировано 15698 ДТП, что на 54,0 % выше уровня аналогичного периода 2024 г. (10 191). Число пострадавших выросло на 62,7 % - до 22346 человек против 13738 годом ранее. Выбор данного временного интервала обусловлен использованием наиболее актуальных и сопоставимых данных официальной открытой статистики за последние отчётные периоды. Наибольшая концентрация пострадавших фиксируется в г. Алматы, Алматинской, Жамбылской, Актюбинской и Атырауской областях. Длинный ряд (2015–2024 гг.) демонстрирует рост числа пострадавших (раненых и погибших), что подчёркивает необходимость системных мер именно на стороне инфраструктуры, включая повышение долговечности и видимости горизонтальной дорожной разметки (Комитет по правовой статистике и специальным учётам при Генеральной прокуратуре РК, 2025). Для инженерной практики это означает приоритизацию материалов с длительным межремонтным циклом, высокой устойчивостью к истиранию и сохранением параметров RL (ретрорефлексия) и Qd (дневная яркость) в течение всего срока службы.

Анализ состояния безопасности дорожного движения в Республике Казахстан показывает, что официальная статистика ДТП публикуется компетентными органами и отражает динамику аварийности по годам (Ibrayev et al., 2019). Согласно данным исследования, аварийность на магистральных дорогах Казахстана в последние годы стабилизировалась на уровне около 9,85 ДТП на 100 км сети, а число тяжёлых аварий остаётся значительным, что подчёркивает необходимость комплексных мер по повышению безопасности инфраструктуры (Ikromov et al., 2023). Ведомственные материалы указывают, что своевременное обновление горизонтальной дорожной разметки относится к наиболее эффективным и относительно малозатратным мерам, обеспечивающим комплексное снижение количества ДТП за счёт улучшения визуального ориентирования и дисциплины потока (Elete et al., 2024). В этих условиях холодный пластик (ММА-системы) выступает предпочтительным материалом для участков с интенсивным движением и повышенной аварийностью, поскольку сочетает быстрое отверждение, устойчивую ретрорефлексию при намокании, высокую износостойкость и редкую потребность в обновлении по сравнению с традиционными лакокрасочными покрытиями.



Рисунок 3. Казахстан: число погибших и раненых в ДТП (2015–2024 гг.; оперативная динамика за I полугодие 2025 г.)

3.3. Технологические аспекты

Методика полевого нанесения холодного пластика технологически проста и воспроизводима. На подготовленное покрытие (асфальтобетон/цементобетон) наносится смоляная композиция на основе акрилатных мономеров и олигомеров (ММА), после чего добавляется инициатор (типично - пероксидная система), запускающий радикальную полимеризацию *in situ*. Низкая вязкость состава обеспечивает капиллярное проникновение в микротрещины и поры, что повышает механическую адгезию; химически обработанные стеклянные микросферы (включая праймеры на основе силановых/метакрилатных групп) формируют устойчивое механохимическое закрепление и стабильную ретрорефлексию. Подбор пигментов, минеральных наполнителей и функциональных добавок (регуляторов реологии, стабилизаторов, антискользящих гранулятов) позволяет оптимизировать рецептуру под целевые классы по яркости (B2–B7), времени отверждения (BT1–BT3) и долговечности. В результате достигаются как долговечность и стабильность оптических параметров, так и экологическая приемлемость решения за счёт сокращения частоты ремонтных работ и уменьшения совокупных выбросов и отходов на протяжении жизненного цикла горизонтальной дорожной разметки (Burghardt, Babić, & Pashkevich, 2021).

4. Обсуждение

4.1. Сравнение холодного пластика и термопластичного материала для дорожной разметки

Наиболее распространёнными материалами для горизонтальной дорожной разметки дорог являются холодный пластик на основе метилметакрилата (ММА) и термопластичный материал (горячего нанесения) (Xu et al., 2021).

4.1.1. Природа материала и механизм формирования покрытия

Холодный пластик представляет собой химически отверждаемую систему, в которой после смешения смолы и отвердителя происходит радикальная полимеризация с формированием трёхмерной сшитой матрицы. В результате сформированное покрытие характеризуется высокой когезионной прочностью и стабильной микроструктурой. Термопласт относится к физически отверждаемым материалам и наносится в расплавленном состоянии, набирая прочность по мере охлаждения и кристаллизации. Таким образом, для ММА критичными факторами являются корректная дозировка отвердителя и контроль «времени жизни» смеси, тогда как для термопласта ключевую роль играют температурные режимы плавления, вязкость материала и скорость охлаждения (Sadid et al., 2010).

4.1.2. Технологичность и условия нанесения

Холодный пластик наносится при положительных температурах воздуха, как правило, от 5 °С, без применения котлов разогрева, что позволяет продлить строительный сезон и выполнять локальные ремонты при пониженных температурах. Ограничением данного материала является ограниченное «время жизни» смеси, требующее строгого соблюдения дозирования и оперативной укладки. Термопласт обеспечивает высокую производительность на протяжённых участках дорожной разметки благодаря механизированной укладке при температуре 180–220 °С и минимальным задержкам на остывание. Вместе с тем его применение требует наличия специализированной техники, строгого температурного контроля и сухого основания. В обоих случаях качество посадки стеклянных микросфер и равномерность толщины слоя определяют исходные значения ретрорефлекторности и дневной видимости (Xu et al., 2021; Sadid et al., 2010).

4.1.3. Функциональные показатели: видимость и сцепление

Сшитая матрица ММА эффективно фиксирует стеклянные микросферы, благодаря чему ретрорефлекторность и дневная видимость сохраняются стабильными даже при частичном износе поверхности. ММА-составы позволяют формировать агломератные и рифлёные профили, что улучшает видимость в условиях мокрой ночи и повышает тактильно-звуковую воспринимаемость горизонтальной дорожной разметки (Tajnin et al., 2023; Babić et al., 2024).

Термопласт характеризуется высокими стартовыми значениями ретрорефлекторности при соблюдении температурных режимов, однако чувствителен к глубине посадки стеклянных микросфер и при интенсивном абразивном воздействии подвержен их ускоренной потере, что приводит к снижению значений ретрорефлекторности. По показателям сцепления оба материала достигают нормативных значений, при этом для ММА проще дозировать минеральный наполнитель и формировать шероховатую поверхность, обеспечивая высокий коэффициент сцепления на пешеходных переходах и стоп-линиях (Xu et al., 2021; Tajnin et al., 2023; Bao et al., 2025).

4.1.4. Долговечность и износостойкость

На участках с высоким сдвиговым воздействием, таких как зоны разгона и торможения, повороты и автобусные карманы, холодный пластик демонстрирует более низкую скорость износа за счёт сопротивления сшитой матрицы пластической деформации. В этих условиях ММА-покрытия лучше сохраняют рельеф дорожной разметки, менее подвержены срыву стеклянных микросфер и снижению высоты профиля при работе снегоочистителей (Tajnin et al., 2023).

Термопласт остаётся стабильным на протяжённых прямолинейных участках, однако в жарком климате может проявлять ползучесть и смятие, а при низких температурах — повышенную хрупкость, что ускоряет деградацию покрытия в зонах интенсивных манёвров (Sadid et al., 2010; Babić et al., 2024).

4.1.5. Климатическая устойчивость

Холодный пластик работоспособен в широком диапазоне температур эксплуатации и допускает нанесение при более низких температурах основания, что особенно важно для регионов с коротким строительным сезоном (Tajnin et al., 2023). Сшитая структура покрытия также обеспечивает устойчивость к воздействию нефтепродуктов и противогололёдных реагентов. Термопласт более чувствителен к экстремально высоким и низким температурам, поскольку механические свойства покрытия определяются реологией термопластичной матрицы. В связи с этим при проектировании дорожной разметки требуется подбор рецептуры с учётом ожидаемых климатических условий и дорожных нагрузок (Sadid et al., 2010; Xu et al., 2021).

4.1.6. Ремонтопригодность и эксплуатация

Холодный пластик удобен для локального ремонта, так как свежий материал хорошо связывается с ранее нанесённым слоем без необходимости разогрева оборудования. Это позволяет сократить простои и оперативно восстанавливать горизонтальную дорожную разметку на участках повышенной опасности, таких как пешеходные переходы и стоп-линии (NASEM, 2016).

Термопласт более эффективен при масштабных линейных ремонтах с применением высокопроизводительной техники и значительных объёмов работ. Однако локальные ремонтные операции при низких температурах и повышенной влажности требуют дополнительных технологических решений (Xu et al., 2021; Sadid et al., 2010).

4.1.7. Экономика жизненного цикла

На протяжённых участках сплошной дорожной разметки термопласт выигрывает по стоимости за счёт высокой скорости укладки и меньших трудозатрат. Холодный пластик характеризуется более высокой стоимостью за погонный метр, однако на участках интенсивного износа часто оказывается экономически целесообразнее благодаря увеличенной межремонтной долговечности, стабильной ретрорефлекторности и снижению частоты ремонтных вмешательств. При выборе системы дорожной разметки следует учитывать не только закупочную стоимость материалов, но и совокупные издержки жизненного цикла, включая интервалы обслуживания, продолжительность закрытия движения, а также требования к технике и персоналу (Qiao et al., 2023; Tajnin et al., 2023; Xu et al., 2021).

4.1.8. Ограничения и характерные риски

Для холодного пластика на основе ММА характерны чувствительность к дозировке отвердителя, зависимость качества покрытия от влажности основания, повышенные требования к безопасности при работе с пероксидами и выраженный запах мономера (Zhang et al., 2011). Для термопласта ключевые риски связаны с перегревом материала, нарушением температурных режимов нанесения и безопасностью горячих работ. В условиях жаркого климата или при интенсивных поперечных нагрузках возможны пластические деформации покрытия. В обоих случаях итоговое качество горизонтальной дорожной разметки существенно зависит от подготовки основания, равномерности толщины слоя и корректной посадки стеклянных микросфер (Sadid et al., 2010; Yellow thermoplastic road markings, 2021).

Сравнительные характеристики холодного пластика и термопластичного материала представлены в таблице 6.

Таблица 6. Сравнение холодного пластика и термопластичного материала

Основные аспекты	Холодный пластик	Термопластичный материал
Состав материала	Двухкомпонентный полимер, отверждаемый химическим путем	Терморазмягчающий полимер, расплавленный перед использованием
Температура применения	Температура окружающей среды (от -5 °C до 40 °C)	Необходим нагрев до 160 °C –200 °C
Время отверждения	10–20 минут	Охлаждение после нанесения
Способ применения	Смешивание химикатов и ручное/машинное распыление	Нагреваемая плавильная и экструзионная машина
Адгезия к основанию	Химическое склеивание с асфальтом/бетоном	Физическая адгезия за счет нагрева
Долговечность и износостойкость	Высокая эластичность, устойчивость к растрескиванию и истиранию	Высокая стойкость к истиранию, но мягче при высоких температурах
Отражательная способность	Высокий, украшенный стеклянными бусинами	Стандартный со стеклянными бусинами
Воздействие на окружающую среду	Низкое содержание летучих органических соединений, энергоэффективность (без отопления)	Более высокое энергопотребление из-за нагрева
Условия эксплуатации	Может применяться в более широком диапазоне температур	Требуется теплая, сухая погода
Ремонт и техническое обслуживание	Простой локальный ремонт без снятия всего слоя	Требуется снятие или повторного нагрева для ремонта
Толщина слоя нанесения	1,5-3,0 мм	1,5-4,0 мм
Стоимость	Более высокая стоимость материалов, но потенциально более низкая стоимость жизненного цикла благодаря долговечности	Более низкие первоначальные затраты, но более высокие затраты на электроэнергию

С позиции безопасности дорожного движения и устойчивости показателей во времени холодный пластик обладает выраженными преимуществами на перекрёстках, пешеходных переходах, стоп-линиях, островках безопасности, в зонах интенсивного торможения и на участках, подверженных снегоочистке и действию реагентов (Xu et al., 2021; Dwyer et al., 2020; Tajnin et al., 2023). Его сшитая структура обеспечивает лучшее удержание текстуры и стеклянных микросфер, а технологичность при низких температурах расширяет окно работ (Бао et al., 2025). Термопласт остаётся рациональным выбором для длинных продольных линий при умеренных нагрузках и жёстких ограничениях по стоимости на километр, где критична высокая скорость укладки (Qiao et al., 2023; Но et al., 2021). В комплексных проектах наилучший результат чаще достигается комбинированием: ММА – на узлах повышенного износа и мокрой ночи, термопласт – на протяжённых участках с контролем толщины и качества посадки стеклянных микросфер (Tajnin et al., 2023; Qiao et al., 2023).

4.2. Применение холодного пластика в Казахстане

В Республике Казахстан двухкомпонентные ММА-системы (холодный пластик) поэтапно вводятся в эксплуатацию как базовое решение для долговечной горизонтальной дорожной разметки на улично-дорожной сети. Практика их применения концентрируется в крупных агломерациях и на участках с повышенной интенсивностью движения, где требуются длительный межремонтный интервал, стабильная читаемость и устойчивость к абразивному износу. По типологии задач холодный пластик применяется для продольной дорожной разметки (осевая, краевая, направляющая) и поперечных элементов (пешеходные переходы, стоп-линии), с приоритетом зон повышенного риска ДТП – вблизи образовательных учреждений, остановок общественного транспорта, на сложных перекрёстках и участках концентрации пешеходного трафика. Полевые условия Казахстана (континентальный климат, значительные суточные и сезонные перепады температур, воздействие реагентов и снежно-плужных работ) предъявляют завышенные требования к механической и оптической стойкости покрытия, что и определяет выбор материала.

В условиях интенсивной эксплуатации сохранение коэффициента дневной яркости Q_d на уровне 100–160 $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$ и устойчивость к истиранию до 70–80 % исходной толщины покрытия рассматриваются как критические показатели долговечности пластиковых систем (Nadizadeh et al., 2020).

Технология работ основана на отверждении двухкомпонентного состава при температуре окружающей среды с иницированием радикальной полимеризации *in situ*. *In situ* – измерения яркости, хроматических координат, светоотражающей способности непосредственно на дороге, а не лабораторным путем, что обеспечивает точные и реалистичные данные (Coves-Campos et al., 2018). Это обеспечивает производственную гибкость в межсезонье, когда применение термопластов ограничено температурным режимом. Низкая вязкость ММА-композиции способствует капиллярному проникновению в поры и микротрещины покрытия, формируя развитую механохимическую адгезию; химически модифицированные стеклянные микросферы обеспечивают стабильную ретрорефлексию при намокании и в ночное время (Lanxing, 2025; Boytorun Kimya Sanayi A.Ş., 2025). Межремонтный цикл дорожной разметки из холодного пластика в городских условиях достигает 3–5 лет при типичной толщине наносимого слоя 1,5–3,0 мм и начальных значениях ретрорефлексии RL порядка 200–350 $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$, что существенно превышает ресурс традиционных лакокрасочных материалов (Babić et al., 2020; Mazzoni et al., 2024). По данным эксплуатационных наблюдений дорожных служб, межремонтный цикл дорожной разметки из холодного пластика в городских условиях достигает 3–5 лет, что существенно превышает ресурс традиционных лакокрасочных материалов (порядка 6–12 месяцев) и не уступает, а нередко превосходит показатели термопластичных систем на интенсивных маршрутах (Lanxing, 2025; Harun et al., 2019). Эксплуатационные характеристики холодного пластика обобщены в таблице 7.

Таблица 7. Эксплуатационные характеристики холодного пластика для дорожной разметки

Параметр	Типичный диапазон значений
Толщина наносимого слоя	1,5–3,0 мм
Срок службы в городских условиях	3–5 лет
Индекс ретрорефлексии RL (начальный)	200–350 mcd/m ² /lx
Коэффициент дневной яркости Qd	100–160 mcd/m ² /lx
Сохранение слоя при интенсивном износе	70–80 %

В последние годы в ряде городов Казахстана реализуются проекты по внедрению холодного пластика для устройства горизонтальной дорожной разметки, прежде всего на пешеходных переходах и участках с интенсивной транспортной нагрузкой. Муниципальная практика демонстрирует переход от традиционных лакокрасочных материалов к пластиковым системам, часто в сочетании с термопластиком для магистральных линий. Отмечается стремление к увеличению межремонтных интервалов, повышению износостойкости и стабильности оптических характеристик разметки, в том числе за счёт применения стеклянных микросфер. Представленные региональные примеры носят иллюстративный характер и отражают общую тенденцию модернизации дорожной инфраструктуры. Обобщённые данные о практике внедрения холодного пластика в городах Республики Казахстан представлены в таблице 8.

Таблица 8. Иллюстративные примеры внедрения холодного пластика в городах Республики Казахстан

Город	Объём работ, м ²	Тип материала	Наблюдаемый эксплуатационный результат
Астана	≈ 5000	Холодный пластик	Повышенная износостойкость и сохранение цветовых характеристик в течение длительного срока эксплуатации
Алматы	≈ 3000	Термопластик	Локальные дефекты покрытия после длительной эксплуатации
Шымкент	≈ 4500	Холодный пластик	Устойчивость к температурным колебаниям и механическому износу

Таким образом, анализ текущей практики применения холодного пластика в Республике Казахстан показывает формирование устойчивой тенденции к использованию долговечных полимерных систем для устройства горизонтальной дорожной разметки в условиях интенсивной эксплуатации и сложных климатических воздействий. Накопленный практический опыт свидетельствует о повышении межремонтных интервалов, стабильности оптических характеристик и эксплуатационной надёжности горизонтальной дорожной разметки. Дальнейшее развитие применения холодного пластика в Казахстане связано с расширением его использования на участках с повышенной транспортной нагрузкой, оптимизацией технологических режимов нанесения и возможностью локального производства материалов с учётом региональных климатических особенностей.

5. Заключение

Проведённый анализ показал, что холодный пластик на основе ММА является технически и экономически обоснованным материалом для долговечной горизонтальной дорожной разметки в условиях континентального климата и высокой транспортной нагрузки. Материал обеспечивает быстрое отверждение при температуре окружающей среды, развитую адгезию к минеральным основаниям и устойчивость к износу, УФ-воздействию, влаге и реагентам, сохраняя оптические характеристики (ретрорефлексию и дневную яркость) на протяжении межремонтного интервала. Полевые случаи в городах Казахстана подтверждают межремонтный цикл порядка 3–5 лет и снижение частоты повторных работ.

Практическая значимость выражается в повышении читаемости горизонтальной дорожной разметки в тёмное время и при намокании, что особенно важно на участках концентрации ДТП (пешеходные переходы, остановки, сложные пересечения). Рационально приоритизировать ММА-системы на таких участках, подбирая класс материала по яркости, времени отверждения и требуемым фрикционным характеристикам, а также регламентировать регулярный контроль показателей RL/Qd во времени.

Для масштабирования эффекта целесообразны уточнение нормативов (включая требования к оптическим и сцепным параметрам в эксплуатации), развитие локальной кооперации поставок и производства компонентов, что снизит себестоимость и повысит доступность технологии. Перспективные направления исследований – долговременный мониторинг деградации оптических/фрикционных свойств в разных дорожно-климатических зонах и оптимизации рецептур и текстуры покрытия для совместного улучшения видимости и противоскольжения при минимальной экологическом следе.

6. Вспомогательный материал: нет вспомогательного материала.

7. Вклады авторов

Концептуализация – Т.Л.; методология – Т.Л., У.Н.; программное обеспечение – У.Н.; валидация – С.Г.; формальный анализ – С.Г.; исследование – Т.Л., У.Н.; ресурсы – С.Г.; курирование данных – Т.Л.; написание – подготовка оригинального черновика – Т.Л.; написание – рецензирование и редактирование – Т.Л., С.Г.; визуализация – С.Г.; руководство – Т.Л.; администрирование проекта – С.Г.; получение финансирования – С.Г. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

8. Информация об авторах

Толымбекова, Лязат – кандидат технических наук, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, 010000; tolymbekova_lb@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3785-7943>

Успанова, Нурия – магистрант образовательной программы «М089-Химия», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, 010000; nuriya.uspanova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-2285-7680>

Сейтенова, Гайни – кандидат химических наук, доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, 010000; seitenova_gzh@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

9. Финансирование: BR24992883 «Создание научно-технологического парка нефтехимии и полимерных материалов для предоставления услуг и внедрения прикладных результатов НИР в приоритетные сектора экономики страны».

10. Благодарность: Выражаем благодарность АО «Парк ядерных технологий». г. Курчатов.

11. Конфликты интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Спонсоры не принимали участия в разработке исследования, сборе, анализе или интерпретации данных, написании рукописи или принятии решения о публикации результатов.

12. Список литературы

1. Abdunazarov, D., Shukurov I., Nishonov A., & Shaumarov S. (2023). Analysis of existing problems in ensuring road traffic safety in major cities of Uzbekistan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1142(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1142/1/012039>
2. Ahmadiev, G. M. (2019). Comparative assessment of extraction methods of 3,4-benzopyrene from soils, bottom sediments and sewage sludge. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 570, Article 012002). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/570/1/012002>
3. Attila, D. (2024). Implementation of intelligent transport systems to improve public transport in Astana (Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem dlya uluchsheniya obshchestvennogo transporta v Astane in Russian). *Science Bulletin (Vestnik nauki)*, 1(6(75)), 2228–2233. <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-intellektualnyh-transportnyh-sistem-dlya-uluchsheniya-obshchestvennogo-transporta-v-astane>
4. Babić, D., & Burghardt, T. E. (2015). Application and characteristics of waterborne road marking paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2), 150–169. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06)
5. Babić, D., Kayner, H., Šruk, A., & Fiolić, M. (2020). Influence of road markings and signs on stress, eye movement, and young drivers' behaviour at night: A driving simulator study. *Safety*, 6(2), Article 24. <https://doi.org/10.3390/safety6020024>
6. Babić, D., Fiolić, M., Babić, D., & Burghardt, T. E. (2024). Systematic testing of road markings' retroreflectivity to increase their sustainability through improvement of properties: Croatia case study. *Sustainability*, 16(15), Article 6653. <https://doi.org/10.3390/su16156653>
7. Bakishev, K. A., Bashirov, A. V., & Fetkulov, A. K. (2017). Analysis and prediction of the state of road accidents and traffic crimes in the Republic of Kazakhstan. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 8(5), 1456–1466. <https://journals.aserspublishing.eu/jarle/article/view/1693>
8. Bi, Y., Pei, J., Chen, Z., Zhang, L., Li, R., & Hu, D. (2021). Preparation and characterization of luminescent road-marking paint. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14(2), 252–258. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0229-3>
9. Biuro natsional'noi statistiki Respubliki Kazakhstan. (2023). *Statistics of road traffic accidents in the Republic of Kazakhstan* (Statistika dorozhno-transportnykh proisshestvii v Respublike Kazakhstan in Russian). <https://stat.gov.kz/>
10. Boytorun Kimya Sanayi A.Ş. (2025). *Why choose MMA pavement marking paint? Benefits and advantages*. Retrieved March 15, 2025. <https://www.boytorun.com/why-choose-mma-pavement-marking-paint/>
11. Brusentseva, T., Shikalov, V., & Fomin, V. (2019). Application of thermoplastic powder by cold spraying for road marking. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 221, Article 01006). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201922101006>
12. Burghardt, T. E., Babić, D., & Pashkevich, A. (2021). Performance and environmental assessment of prefabricated retroreflective spots for road marking. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00555. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00555>
13. Burghardt, T. E., & Pashkevich, A. (2024). Field study of pedestrian crossings deterioration over time: Assessment of microplastics emission from road markings. In *Transport Research Arena Conference* (pp. 17–23). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95284-5_3

14. Chand, A., Jayesh, S., & Bhasi, A. B. (2021). Road traffic accidents: An overview of data sources, analysis techniques and contributing factors. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5135–5141. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.415>
15. Climate Action Regional Offices. (2023). *Cold applied road markings: County Cork case study*. Retrieved March 15, 2025. <https://www.caro.ie/projects-research/case-studies/cold-applied-road-markings>
16. Committee for Legal Statistics and Special Records under the General Prosecutor’s Office of the Republic of Kazakhstan. (2025). *Pokazateli DTP* [Road traffic accident indicators]. Retrieved March 15, 2025. <https://qamqor.gov.kz/crimestat/indicators/accident>
17. Coves-Campos, A., Bañón, L., Coves-García, J. A., & Ivorra, S. (2018). In situ study of road marking durability using glass microbeads and antiskid aggregates as drop-on materials. *Coatings*, 8(10), 371. <https://doi.org/10.3390/coatings8100371>
18. Elete, T., Odujobi, O., Nwulu, E. O., & Onyeke, F. O. (2024). Safety-first innovations: Advancing HSE standards in coating and painting operations. *International Journal of Applied Engineering Research and Development*, 20(12), 290–298. https://www.researchgate.net/publication/387707604_Safety-First_Innovations_Advancing_HSE_Standards_in_Coating_and_Painting_Operations
19. European Committee for Standardization. (2012). *Road marking materials – Drop on materials – Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two* (EN 1423:2012). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/1c3914e0-973f-4bdf-a113-65f732342bfe/en-1423-2012>
20. Faheem, H. B., El Shorbagy, A. M., & Gabr, M. E. (2024). Impact of traffic congestion on transportation system: challenges and solutions - a review. *Mansoura Engineering Journal*, 49(2), Article 18. <https://doi.org/10.58491/2735-4202.3191>
21. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. (2014). *Public roads. Road markings. Control methods* (Dorogi avtomobil’nye obshchego pol’zovaniya. Razmetka dorozhnaya. Metody kontrolya in Russian) (GOST 32952–2014). <https://matest.ru/uploads/russian-standards/GOST32952.pdf>
22. Fiolić, M., Babić, D., & Tomasović, S. (2023). Effect of road markings and road signs quality on driving behaviour, driver’s gaze patterns and driver’s cognitive load at night-time. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 99, 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.025>
23. Friel, D. M., & Nungesser, E. (1995). Acrylic polymers as coating binders. In *Paint and coating testing manual* (pp. 39–52). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/MNL12186M>
24. General Prosecutor’s Office of the Republic of Kazakhstan. (2015, December 11). *Order of the General Prosecutor of the Republic of Kazakhstan No. 131 “On approval of the reporting form ‘On road traffic accidents causing death or injury’ and the instructions for its preparation”* (Prikaz General’nogo Prokurora Respubliki Kazakhstan No. 131 «Ob utverzhdenii formy otcheta “O dorozhno-transportnykh proisshествiyakh, povlekshikh gibel’ ili ranenie lyudey” i instruksii po ego formirovaniyu» in Russian). Legal act. Adilet. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1100006942>
25. Government of the Republic of Kazakhstan. (2014, November 13). *On the approval of traffic rules of the Republic of Kazakhstan (Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 1196)* (Ob utverzhdenii Pravil dorozhnogo dvizheniya Respubliki Kazakhstan (Postanovlenie Pravitel’sтва Respubliki Kazakhstan No. 1196) in Russian). Adilet. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1400010096>
26. Hadizadeh, E., Pazokifard, S., & Mirabedini, S. M. (2020). Optimizing practical properties of MMA-based cold plastic road marking paints using mixture experimental design. *Progress in Organic Coatings*, 147, Article 105784. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105784>
27. Harun, F., Ahmad, A., & Ismail, N. (2019). High performance thermoplastic and cold-applied plastic road markings: How long do they last? Retrieved March 15, 2025.

- https://www.researchgate.net/publication/332642894_High_performance_thermoplastic_and_cold_applied_plastic_road_markings_how_long_do_they_last
28. Ho, L. L., Filho, J. S. B., Fujii, W. Y., Machado, C. S., Bernucci, L. L. B., & Quintanilha, J. A. (2021). Pavement markings: Identification of relevant covariates and controllable factors of retroreflectivity performance as a road safety measure. *Transportation Safety and Environment*, 3(6). <https://doi.org/10.1093/tse/tdaa034>
 29. Ibrayev, K., Ibrayev, A., Kapskiy, D., Kot, Y., Rybinskiy, A., & Bogdanovich, S. (2019). Analysis of the state of the road traffic safety in the Republic of Kazakhstan. *Science and Technique*, 18(6), 482–489. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-6-482-489>
 30. Ikromov, A. G., Makhmudov, G., Shovkatov, X., & Abruyev, S. (2023). State of road safety on the roads of Kazakhstan. *Global Scientific Review*, 21, 60–67. <https://scientificreview.com/index.php/gsr/article/view/297>
 31. Kassem, E., Lowery, M., Fanidjo, E., Mohamed, M., & Pacific Northwest Transportation Consortium. (2021). *Deterioration of green conflict paint for bicycle facilities* (Report No. 2018-S-UI-2). Pacific Northwest Transportation Consortium. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/58694/dot_58694_DS1.pdf
 32. Kazinform. (2020, October 29). *Experts: Poor-quality road signs and markings may cause accidents in the Republic of Kazakhstan* (K avariya v RK mogut privodit nekachestvennye dorozhnye znaki i razmetki – eksperty in Russian). Kazinform.kz. https://www.inform.kz/ru/k-avariya-v-rk-mogut-privodit-nekachestvennye-dorozhnye-znaki-i-razmetki-eksperty_a3712424
 33. Komitet po Standartizatsii Respubliki Kazakhstan (Committee for Standardization of the Republic of Kazakhstan). (2010). Materials for road markings. Technical requirements (ST RK 2066-2010) (Materialy dlya dorozhnoi razmetki. Tekhnicheskie trebovaniya (ST RK 2066-2010) in Russian). <https://meganorm.ru/Data2/1/4293741/4293741278.pdf>
 34. Komitet po Standartizatsii Respubliki Kazakhstan (Committee for Standardization of the Republic of Kazakhstan). (2019). *Technical means of road traffic organization. Road markings. Classification. Technical specifications* (ST RK 1124-2019) (Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Razmetka dorog. Klassifikatsiya. Tekhnicheskie trebovaniya (ST RK 1124-2019) in Russian). <https://vostoktranssignal.kz/upload/%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%D0%9A%201124-2019.pdf>
 35. Lanxing. (2025). *Cold plastic road marking: The ultimate guide for 2025*. Retrieved March 15, 2025. <https://lanxingco.com/cold-plastic-road-marking/>
 36. Lim, W.-B., Kim, J.-W., Lee, J.-H., Bae, J.-H., Min, J.-G., & Huh, P. (2023). Synthesis of a room-temperature curable acrylic-urethane polymer binder for road markings with high transmittance. *Materials*, 16(3), 1322. <https://doi.org/10.3390/ma16031322>
 37. Mazzoni, L. N., Vasconcelos, K., Albarracín, O., Bernucci, L., & Linhares, G. (2024). Field data analysis of retroreflectivity of road markings and its correlation with paint and glass bead characteristics. *Applied Sciences*, 14(10), 4205. <https://doi.org/10.3390/app14104205>
 38. Milachowski, K., & Wagner, K. (2020). Materials selection for structured horizontal road markings: Financial and environmental case studies. *European Transport Research Review*, 12(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-0397-x>
 39. Mohammed, O., & Khudhair, H. A. (2025). Understanding the impact of driver behavior on traffic safety: A comprehensive review of behavioral, technological, and environmental factors. *Al-Rafidain Journal of Engineering Sciences*, 3(1), 626–642. <https://rjes.iq/index.php/rjes/article/view/186/157>
 40. Naidu, V., & Bhaiswar, V. (2020). Review on machinery and materials for road marking application. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 954, Article 012016. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/954/1/012016>

41. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Communicating the value of pavement markings: a synthesis of highway practice* (NCHRP Synthesis 484). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23255>
42. Petrov, A. I. (2024). Spatial distribution of road traffic accidents and infrastructure quality assessment. *Regional Research of Russia*, 5, 64. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-5-64>
43. Portal of State Procurements of the Republic of Kazakhstan. (n.d.). *Announcement of procurement No. 10619492* (Ob'yavlenie o zakupke No. 10619492 in Russian). Retrieved March 15, 2025. <https://www.goszakup.gov.kz/ru/announce/index/10619492>
44. Qiao, F., Kazimi, S. A., Ekezie, E., & Du, J. (2023). *Synthesis of best application and verification practices for long-life pavement markings: final report* (Texas Department of Transportation Research Report 0-7135-R1). Texas Southern University. <https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/tsu/0-7135-r1.pdf>
45. Robles-Serrano, S., Sanchez-Torres, G., & Branch-Bedoya, J. (2021). Automatic detection of traffic accidents from video using deep learning techniques. *Computers*, 10(11), 148. <https://doi.org/10.3390/computers10110148>
46. Sadeghi, P., & Goli, A. (2024). Investigating the impact of pavement condition and weather characteristics on road accidents. *International Journal of Crashworthiness*, 29(6), 973–989. <https://doi.org/10.1080/13588265.2024.2348269>
47. Sibkraska LLC. (n.d.). AK-511 – paint for road markings (AK-511 – kraska dlya dorozhnoy razmetki in Russian). Retrieved March 15, 2025. <https://sibkraska.ru/ak511.html>
48. Statista. (2023). *International and UK road deaths*. <https://www.statista.com/statistics/323869/international-and-uk-road-deaths/>
49. Taheri, M., Jahanfar, M., & Ogino, K. (2017). Self-cleaning traffic marking paint. *Surfaces and Interfaces*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.07.004>
50. Teltaev, B., Oliviero, C., Aytbaev, K., & Suppes, E. (2022). Freezing and thawing processes of automobile roads in Kazakhstan. *Applied Sciences*, 12(23), 11938. <https://doi.org/10.3390/app122311938>
51. Van, Y., Liu, H., Zhang, Q., & Chen, L. (2023). Analysis of causes and classification of road traffic accidents based on complex networks. *Applied Sciences*, 13(23), 12963. <https://doi.org/10.3390/app132312963>
52. Wang, D., Yang, X., Chu, X., Liu, P., He, Y., & Fan, Z. (2023). A novel method for evaluating the durability and environmental pollution of road markings on asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, 411, 137255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137255>
53. World Population Review. (2025). *Countries with the most car accidents 2025*. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/countries-with-the-most-car-accidents>
54. Yuan, J., Pan, Y., Chen, Y., Yao, W., Lu, S., Zhang, K., & Ling, T. (2023). International perspectives on skid resistance requirements for pavement markings: a comprehensive synthesis and analysis. *Lubricants*, 13(1), 29. <https://doi.org/10.3390/lubricants13010029>
55. Zhandarbekova, A. M., & Murzabekova, K. A. (2024). Analysis of road safety status in Almaty city (Analiz sostoyaniya dorozhnoy bezopasnosti v gorode Almaty in Russian). *KazATK Bulletin*, 133(4), 16–23. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-16-23>
56. Zhang, Y., Pike, A. M., Ge, H., & Carlson, P. J. (2011). Comparison of designs of field test decks for pavement marking materials. *Transportation Research Record*, 2258(1), 95–102. <https://doi.org/10.3141/2258-11>
57. Zhang, L., Liu, X., Zhang, Y., Li, H., Wang, J., & Liu, Z. (2023). Study on the reflective principle and long-term skid resistance of a sustainable hydrophobic hot-melt marking paint. *Sustainability*, 15(13), 9950. <https://doi.org/10.3390/su15139950>
58. Zhao, L., Ding, H., Sun, J., Wu, G., Xing, H., Wang, W., & Song, J. (2023). *Prediction of service life of thermoplastic road markings on expressways*. *Sustainability*, 15(21), Article 15237. <https://doi.org/10.3390/su152115237>

Көлденең жол таңбалары үшін суық пластикті қолданудың тиімділігін талдау

Лязат Толымбекова, Нурия Успанова, Гайни Сейтенова

Аңдатпа. Автокөлік ағынының өсуі және жол қозғалысы қауіпсіздігіне қойылатын талаптардың артуы жағдайында сапалы әрі ұзақ мерзімді жол таңбаларының маңызы арта түсуде. Осы мақалада жол таңбаларын салуда пайдаланылатын метилметакрилат (ММА) негізіндегі суық пластиктің физика-химиялық қасиеттері мен пайдалану сипаттамалары қарастырылады. СТ РК 1124–2019 және ГОСТ 32952 құжаттарына сүйене отырып, нормативтік талаптарға талдау жасалды, сондай-ақ суық пластиктің дәстүрлі материалдармен - лак-бояу жабындарымен және термопластиктермен салыстырмалы бағасы берілді. Зерттеу нәтижелері суық пластиктің тозуға төзімділігі жоғары, химиялық реагенттерге, ультракүлгін сәулелерге және абразивтік әсерге тұрақты екенін, соның арқасында оның қызмет ету мерзімі 5 жылға дейін жететінін көрсетті. Сонымен қатар, жол инфрақұрылымының авариялық деңгейге ықпалы талданып, жол таңбалары ЖКО тәуекелін төмендететін факторлардың бірі ретінде айқындалды. Қазақстан Республикасындағы жол-көлік оқиғаларының деңгейі бойынша статистикалық деректер келтіріліп, жол таңбаларын салу саласындағы негізгі мәселелер анықталды. Мақалада суық пластикті жағу технологиясы сипатталып, жол инфрақұрылымының қауіпсіздігі мен экологиялық тұрақтылығын арттыру мақсатында оны қолдану бойынша ұсынымдар берілген.

Түйін сөздер: суық пластик; жол таңбасы; метилметакрилат (ММА); жол қозғалысы қауіпсіздігі; тозуға төзімділік; нормативтік талаптар; жол-көлік оқиғасы (ЖКО); жол инфрақұрылымы.

Analysis of the effectiveness of using cold plastic for horizontal road markings

Lyazat Tolymbekova, Nuriya Uspanova, Gaini Seitenova

Abstract: Against the backdrop of increasing traffic volumes and more stringent road-safety requirements, durable and high-quality pavement markings are gaining heightened importance. This article examines the physicochemical properties and in-service performance of methyl methacrylate (MMA)-based cold plastic used for road markings. National and international regulatory requirements (ST RK 1124–2019, GOST 32952) are reviewed, and a comparative assessment of cold plastic versus traditional materials - paint coatings and thermoplastics - is provided. The analysis shows that cold plastic offers high wear resistance and resistance to chemical agents, ultraviolet radiation, and abrasive loads, enabling a service life of up to five years. The paper also considers the influence of road infrastructure on crash occurrence and highlights road markings as a factor that reduces the risk of road traffic accidents. Statistical data on the level of road traffic accidents in the Republic of Kazakhstan are presented, and key issues in marking application are identified. The technology for applying cold plastic is described, and recommendations are given on its use to enhance the safety and environmental sustainability of road infrastructure.

Keywords: cold plastic; road markings; methyl methacrylate (MMA); road traffic safety; wear resistance; regulatory requirements; road traffic accidents; road infrastructure.