

НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT

УДК: 625.76:625.758:005.8(575.3)

DOI: 10.65599/ENG4318

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ**С.Б. Мирзозода**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье рассматривается проблема оптимизации зимнего содержания горных автомобильных дорог в условиях ограниченных финансовых, технических и материальных ресурсов. Обоснована актуальность данной задачи для горных регионов, где на состояние дорожной сети одновременно воздействует комплекс зимних природных факторов. Особое внимание уделено условиям Республики Таджикистан, где устойчивость транспортного сообщения во многом зависит от своевременного обслуживания перевальных, социально значимых и аварийно-опасных участков. В статье предложен риск-ориентированный подход к распределению ресурсов зимнего содержания, основанный на учёте транспортной значимости дороги, уровня природно-климатического риска, социальной функции участка, повторяемости закрытий и тяжести последствий возможного прекращения движения. Представлена упрощённая интегральная модель приоритизации участков, позволяющая выделять зоны I, II и III уровня обслуживания. Обоснована необходимость применения превентивных технологий, включая противогололёдную обработку покрытия, погодный мониторинг и предварительное размещение техники и материалов. Сделан вывод, что предложенный подход позволяет повысить эффективность зимнего содержания, снизить риски транспортной изоляции и обеспечить более рациональное использование ограниченных ресурсов дорожных организаций.

Ключевые слова: зимнее содержание дорог, горные автомобильные дороги, ограниченные ресурсы, оптимизация, содержание дорог, риск-ориентированный подход, лавинная опасность, дорожные активы.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ**С.Б. Мирзозода**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола масъалаи оптимизатсияи нигоҳдории фасли зимистон дар роҳҳои автомобилгарди кӯҳӣ дар шароити маҳдудияти манбаҳои молиявӣ, техникаӣ ва моддӣ баррасӣ карда мешавад. Асоснок карда шудааст, ки ин масъала барои минтақаҳои кӯҳӣ аҳамияти махсус дорад, зеро ба ҳолати шабакаи роҳҳо ҳамзамон маҷмӯи омилҳои табиӣ фасли зимистон таъсир мерасонанд. Дикқати махсус ба шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон дода шудааст, ки дар он устувории алоқаи нақлиётӣ аз хизматрасонии саривақтии қитъаҳои баланд, масъалаҳои иҷтимоӣ муҳим ва қитъаҳои садамаовар вобастагии калон дорад. Дар мақола муносибати ба хавф нигаронидашуда ба тақсими манбаъҳои нигоҳдории зимистон пешниҳод гардидааст, ки ба баиноватгирӣ аҳамияти нақлиёти роҳ, сатҳи хавфи табиӣ-иқлимӣ, вазифаи иҷтимоии қитъа, тақдоршавӣ бастанавӣ ва вазинии оқибатҳои эҳтимолии қатъи шудани ҳаракат асос меёбад. Модели содакардашудаи интегралӣ афзалиятнокунии қитъаҳои пешниҳод шудааст, ки имкон медиҳад минтақаҳои сатҳи хизматрасонии I, II ва III ҷудо карда шаванд. Зарурати истифодаи технологияҳои пешгирикунанда, аз ҷумла коркарди зиддияти рӯйпӯш, мониторинги обу ҳаво ва ҷойгиркунии пешакии техника ва мавод асоснок карда шудааст. Хулоса шудааст, ки муносибати пешниҳодшуда имкон медиҳад самаранокӣ нигоҳдории зимистона баланд бардошта, хавфҳои маҳдудияти нақлиётӣ коҳиш дода шуда, истифодаи оқилонаи захираҳои маҳдуди ташкилотҳои роҳдорӣ таъмин карда мешавад.

Калидвожаҳо: нигоҳдории роҳҳо дар зимистон, роҳҳои автомобилгарди кӯҳӣ, захираҳои маҳдуд, оптимизатсия, нигоҳдории роҳҳо, равиш бар асоси хатар, хавфи тарма, дороиҳои роҳ.

OPTIMIZATION OF WINTER MAINTENANCE OF MOUNTAIN HIGHWAYS UNDER LIMITED RESOURCES

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

The article examines the problem of optimizing winter maintenance of mountain highways under conditions of limited financial, technical, and material resources. The relevance of this issue for mountainous regions is substantiated, as the condition of the road network is simultaneously affected by a complex set of winter natural factors. Special attention is paid to the conditions of the Republic of Tajikistan, where the stability of transport communication largely depends on the timely maintenance of mountain pass sections, socially significant sections, and accident-prone sections. The study proposes a risk-oriented approach to the allocation of winter maintenance resources, based on consideration of the transport significance of the road, the level of natural and climatic risk, the social function of the section, the recurrence of road closures, and the severity of the consequences of possible traffic interruption. A simplified integral model for prioritizing road sections is presented, which makes it possible to identify zones of I, II, and III service levels. The necessity of applying preventive technologies, including anti-icing treatment of the pavement, weather monitoring, and preliminary placement of machinery and materials, is substantiated. It is concluded that the proposed approach makes it possible to increase the efficiency of winter maintenance, reduce the risks of transport isolation, and ensure a more rational use of the limited resources of road organizations.

Keywords: *winter road maintenance, mountain highways, limited resources, optimization, road maintenance, risk-oriented approach, avalanche hazard, road assets.*

Введение

Зимнее содержание автомобильных дорог в горных условиях представляет собой одну из наиболее сложных задач эксплуатационной деятельности дорожной отрасли. В отличие от равнинных участков, здесь на дорожную сеть одновременно воздействует целый комплекс зимних природных факторов (снегозаносы, метелевый перенос снега, гололёд, наледь, снеголавинные процессы, камнепады, локальные оползни и резкие колебания температуры). Эти факторы снижают сцепные качества покрытия, ухудшают видимость, нарушают проезжаемость и повышают вероятность временного закрытия движения [4, 5, 7, 13].

Международные рекомендации PIARC и FHWA подчёркивают, что зимнее содержание должно рассматриваться не только как снегоочистка и распределение противогололёдных материалов, но и как системная функция обеспечения мобильности, безопасности и устойчивости дорожной сети [4, 6, 7, 8]. Это особенно важно для горных стран, где нарушение проезда на одном критическом участке может привести к транспортной изоляции населённых пунктов, задержке экстренных служб, росту транспортных издержек и социально-экономическим потерям [1-3, 19-22].

Актуальность темы особенно высока для Республики Таджикистан. По материалам Всемирного банка, значительная часть территории страны расположена в горной местности, а автомобильные дороги регулярно подвергаются воздействию опасных природных явлений [1, 2, 3]. В проектных документах Всемирного банка отдельно подчёркивается необходимость повышения устойчивости критических дорог и мостов к природным и климатическим угрозам [2].

В этих условиях проблема зимнего содержания выходит за рамки чисто технологической задачи и приобретает экономико-управленческий характер. Эксплуатационные организации часто сталкиваются с ограниченностью бюджетных средств, недостатком специализированной техники, дефицитом противогололёдных материалов и отсутствием возможности одновременно обслуживать все опасные участки сети на одинаковом уровне [10, 11, 15, 16]. Следовательно, возникает задача оптимизации: какие участки обслуживать в первую очередь, какие технологии применять превентивно, как распределять ресурсы между перевалами, участками с высокой интенсивностью движения, лавиноопасными зонами и направлениями, имеющими высокое социально-экономическое значение [6, 7, 8, 10].

Цель статьи - обосновать подход к оптимизации зимнего содержания горных автомобильных дорог при ограниченных ресурсах на основе сочетания риск-ориентированной приоритизации, превентивных технологий и рационального распределения эксплуатационных ресурсов.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**: определить особенности зимнего содержания горных автомобильных дорог; выявить факторы, влияющие на приоритетность зимних мероприятий; предложить структуру многофакторной оценки участков дороги; обосновать организационно-технологические решения для условий ограниченных ресурсов.

Материалы и методы. Методическую основу исследования составили международные материалы PIARC по зимнему содержанию, руководство FHWA по противогололёдной обработке дороги, документы FHWA по дорожному погодному менеджменту и показателям его эффективности, а также публикации TRB и AASHTO по экономической эффективности зимних работ и применению противогололёдных технологий [4-11]. Для учёта региональной специфики использованы материалы Всемирного банка по устойчивости дорог Таджикистана к стихийным и климатическим воздействиям, а также отечественные работы по содержанию и ремонту дорог в горных условиях [1-3, 15-18].

В работе применялись методы инженерно-технологического анализа, сравнительной оценки зимних воздействий, экспертной приоритизации и обобщения практик управления зимним содержанием. В качестве основной концепции использован подход, при котором эффективность зимнего содержания определяется не абсолютным объёмом выполненных работ, а достижением требуемого результата на наиболее критичных участках сети при заданном ограничении ресурсов [7, 8, 10, 16].

Особенности зимнего содержания горных автомобильных дорог

Для горных дорог зимний период характеризуется высокой пространственной неоднородностью дорожных условий. На коротком протяжении могут существенно меняться высота над уровнем моря, температура воздуха и покрытия, интенсивность ветра, высота снежного покрова и степень опасности лавин, наледи или камнепадов. Это исключает возможность полностью унифицированного обслуживания всей сети и требует дифференцированного подхода по типам участков [4, 5, 13, 15].

Современная практика зимнего содержания включает не только корректирующие действия после ухудшения состояния проезжей части, но и превентивные мероприятия, основанные на мониторинге погодных условий, прогнозировании ледообразования и своевременной обработке покрытия [4, 6, 7].

В горной местности критическое значение имеют следующие факторы:

- перевальные участки и зоны метелевого переноса снега;
- затенённые участки, где дольше сохраняется лёд;
- зоны выхода грунтовых вод с образованием наледи;
- участки с повышенной лавинной опасностью;
- отрезки дорог у неустойчивых склонов, где зимой и ранней весной возрастает риск обвалов и камнепадов;
- направления, обеспечивающие связь с районными центрами, объектами жизнеобеспечения и международными транспортными коридорами [1, 2, 12, 13, 15].

С экономической точки зрения зимнее содержание даёт не только эксплуатационный, но и общественный эффект. Исследования TRB показывают, что зимние работы обеспечивают прямые выгоды пользователям за счёт сокращения задержек, повышения безопасности и поддержания проезжаемости [10]. Следовательно, при дефиците бюджета важно учитывать не только стоимость самих мероприятий, но и последствия их невыполнения.

Факторы оптимизации зимнего содержания при ограниченных ресурсах

Оптимизация зимнего содержания должна исходить из того, что эксплуатационные ресурсы почти всегда ограничены. К числу ключевых ограничений относятся недостаточный объём финансирования, дефицит снегоочистительной и распределительной техники, ограниченность складских запасов материалов, недостаток персонала и сложность доставки ресурсов на высокогорные участки в период неблагоприятной погоды [6, 7, 10, 15].

Таблица 1 - Факторы, влияющие на приоритет зимнего содержания горных дорог
Table 1 – Factors influencing the priority of winter maintenance of mountain roads

Фактор	Содержание фактора	Влияние на приоритет
Транспортная значимость участка	Связь районов, международные и межрегиональные маршруты	Чем выше значимость, тем выше приоритет
Интенсивность и состав движения	Количество ТС, доля грузового транспорта, автобусов	Рост интенсивности повышает приоритет
Уровень зимней опасности	Гололёд, заносы, наледь, лавины, камнепады	Чем выше риск, тем выше приоритет
Социальная значимость	Доступ к больницам, школам, центрам управления, рынкам	Повышает приоритет даже при средней интенсивности
Повторяемость закрытий	Частота перекрытий дорог и задержек в предыдущие зимы	Высокая повторяемость повышает приоритет
Доступность техники	Возможность быстро направить технику на участок	Низкая доступность требует превентивного подхода
Стоимость содержания единицы длины участка	Расход материалов, топлива, времени, техники	Учитывается при выборе технологии
Потенциальный ущерб (последствия) от несвоевременного обслуживания	ДТП, изоляция населённых пунктов, рост потерь времени	Чем тяжелее последствия, тем выше приоритет

В международной практике именно поэтому широко применяются системы приоритетов обслуживания и инструменты поддержки принятия решений, позволяющие заранее определять очередность обработки участков и тип технологического реагирования [7, 8, 9, 11]. При выборе приоритетов целесообразно учитывать не один показатель, а совокупность транспортных, природно-климатических, социальных и экономических факторов. Для наглядного представления основных факторов предлагается таблица 1.

Данные таблицы 1 показывают, что при ограниченных ресурсах не все участки дороги должны обслуживаться по одной и той же схеме. Более рациональным является распределение сети по уровням обслуживания: участки высшего приоритета, среднего приоритета и локального значения [7, 8, 11]. Такой подход согласуется с международной практикой зимнего содержания, где используются уровни сервиса и целевые показатели состояния покрытия после осадков или ледообразования [4, 5, 7].

Риск-ориентированная модель приоритизации зимних работ

В условиях ограниченных ресурсов зимнее содержание горных автомобильных дорог не может осуществляться по принципу равномерного распределения техники, материалов и эксплуатационных мероприятий по всей сети. Более рациональным является подход, основанный на ранжировании участков по степени их эксплуатационной значимости и уровню зимнего риска [6, 7, 8, 16].

Необходимость такой приоритизации особенно актуальна для горных дорог, где даже кратковременное прекращение движения на отдельных участках может привести к нарушению связи между населёнными пунктами, задержке экстренных служб, росту транспортных затрат и ограничению доступа к объектам социальной инфраструктуры [1, 2, 3]. Кроме того, зимние явления в горах отличаются высокой пространственной изменчивостью: на одной дороге могут чередоваться участки с различными опасными природными явлениями [12, 13, 15].

Для практического применения предлагается использовать упрощённую интегральную модель оценки приоритета зимнего содержания:

$$P_i = w_1 T_i + w_2 R_i + w_3 S_i + w_4 A_i + w_5 C_i, \quad (1)$$

где: P_i - итоговый приоритет i -го участка;

T_i - транспортная значимость и интенсивность движения;

R_i - уровень природно-климатического зимнего риска;

S_i - социальная значимость участка;

A_i - аварийность и повторяемость закрытий;

C_i - коэффициент последствий отказа;

$w_1 \dots w_5$ - весовые коэффициенты, устанавливаемые в зависимости от целей эксплуатации, специфики сети и доступности исходных данных.

Таблица 2 – Пример расчета интегрального приоритета участков зимнего содержания

Table 2 – Example of calculating the integrated priority of winter maintenance sections

Участок	T_i транспортная значимость	R_i зимний риск	S_i социальная значимость	A_i аварийность и закрытия	C_i последствия отказа	P_i итоговый балл	Приоритет
Участок 1 - перевал на международном направлении	5	5	4	4	5	23	I
Участок 2 - подъезд к районному центру	4	4	5	3	4	20	I
Участок 3 - межпоселковый участок локального значения	2	3	3	2	2	12	III

Предложенная модель исходит из того, что приоритет зимнего обслуживания должен быть тем выше, чем больше транспортная роль дороги, интенсивнее зимние опасные явления, значимее

социальная функция направления и тяжелее последствия возможного нарушения проезда [7, 8, 10, 16]. В отличие от упрощённого подхода, при котором ресурсы распределяются преимущественно по категории дороги или протяжённости участка, данная модель позволяет учитывать фактическую эксплуатационную важность каждого отрезка в зимний период.

Для демонстрации практического применения модели рассмотрим условный пример оценки трёх участков горной автомобильной дороги (см. Таблицу 2). Все факторы оцениваются по пятибалльной шкале, где 1 соответствует низкому уровню показателя, а 5 - наиболее высокому. Для упрощения примера весовые коэффициенты приняты одинаковыми, то есть: $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = 1$.

Как показывает таблица 2, наибольший приоритет зимнего содержания получает участок 1, поскольку он сочетает высокую транспортную значимость, высокий уровень зимнего риска и тяжёлые последствия возможного прекращения движения. Участок 2 также должен обслуживаться в первоочередном порядке, так как обеспечивает доступ к районному центру и имеет высокую социальную значимость. Участок 3, несмотря на наличие зимних рисков, при ограниченных ресурсах может относиться к более низкой категории приоритета, поскольку его транспортная роль и последствия временного прекращения проезда менее значительны.

Практическое значение предложенной модели заключается в том, что она позволяет перейти от интуитивного распределения ресурсов к более формализованной и обоснованной схеме принятия решений [7, 8, 16]. Даже при экспертной оценке факторов становится возможным выделить участки I, II и III приоритета и установить для них различный уровень обслуживания, различную частоту патрулирования, различный порядок выезда техники и различный режим использования противогололёдных материалов.

Для наглядного представления логики управленческого процесса целесообразно использовать рисунок 1. Он показывает, что оптимизация зимнего содержания не сводится к разовому распределению ресурсов, а представляет собой повторяющийся управленческий цикл.



Рисунок 1 - Схема оптимизации зимнего содержания горных автодорог при ограниченных ресурсах

Figure 1 – Scheme for optimizing the winter maintenance of mountain highways under limited resources

Как показано на рисунке 1, оптимизация зимнего содержания включает последовательный цикл взаимосвязанных действий: мониторинг погодных условий и состояния покрытия, выявление опасных участков, оценку факторов приоритета, ранжирование участков, выбор технологии воздействия, распределение ресурсов, контроль результатов и последующую корректировку плана работ [7, 8, 9]. Такой цикл особенно важен для горных дорог, где изменение погодных условий и дорожной обстановки может происходить в короткие промежутки времени.

Дополнительное представление о дифференциации участков по степени приоритета даёт таблица 3.

Таблица 3 может быть использована эксплуатационными организациями при разработке зимних программ содержания. Она позволяет увязать технические, социальные и риск-ориентированные параметры в единую управленческую схему [7, 8, 16].

Анализ таблиц 2 и 3 показывает, что высший приоритет зимнего содержания получают не только участки с наиболее высокой интенсивностью движения, но прежде всего те отрезки, на которых совмещаются высокий уровень зимнего риска, значимая транспортная функция и существенные последствия возможного прекращения движения. Это особенно характерно для перевальных участков, подъездов к районным центрам и направлений, обеспечивающих доступ к социально значимым объектам и межрегиональным связям [1, 2, 15, 16].

Таблица 3 - Пример ранжирования участков горной дороги по приоритету зимнего содержания
Table 3 – Example of ranking mountain road sections according to the priority of winter maintenance

Участок	Интенсивность движения	Зимний риск	Социальная значимость	Последствия отказа	Итоговый приоритет
Участок А - перевальный	Высокая	Очень высокая	Высокая	Очень высокая	I
Участок Б - подход к районному центру	Средняя	Высокая	Очень высокая	Высокая	I
Участок В - локального значения	Низкая	Средняя	Средняя	Средняя	III
Участок Г - межпоселковый	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя	II
Участок Д - у лавинно-опасного склона	Средняя	Очень высокая	Средняя	Высокая	I

Организационно-технологические решения для условий ограниченных ресурсов

При ограниченных ресурсах особое значение приобретают не только объёмы работ, но и выбор момента их выполнения. В руководстве FHWA по противогололёдной обработке дороги подчёркивается, что превентивная обработка покрытия до образования прочной ледяной связи может быть эффективнее и экономичнее, чем последующее устранение уже сформировавшегося снежно-ледяного слоя [6]. Аналогично, своевременный выезд техники на основе погодного прогноза и данных о состоянии покрытия позволяет сократить расход материалов и время восстановления допустимого уровня сервиса [7, 8, 9].

Для горных дорог рациональный набор организационно-технологических решений включает:

- выделение участков I, II и III приоритета;
- обязательное дежурство техники и материалов на перевалах и у критических узлов;
- применение противогололёдных материалов на участках с высокой повторяемостью гололёда;
- превентивную очистку участков метелевого переноса;
- создание резервов материалов в удалённых районах до начала зимы;
- использование погодного мониторинга и данных дорожных датчиков;
- перераспределение техники не по административному принципу, а по фактическому риску и значимости направления [6, 7, 8, 11, 15].

С точки зрения экономики особенно важно снижение потерь от закрытия дорог. Для горной страны прерывание сообщения означает не только неудобства для пользователей, но и срыв поставок, задержку экстренных служб, рост транспортных издержек и изоляцию населённых пунктов [1, 2, 3]. Поэтому в расчётах эффективности зимнего содержания следует учитывать не только стоимость работ, но и предотвращённый ущерб.

Результаты исследований TRB, а также материалы по дорожному погодному менеджменту показывают, что информационно-поддерживаемые превентивные решения способны снижать суммарные эксплуатационные издержки и потери пользователей [7, 8, 10].

Научная новизна исследования

Научная новизна данного исследования заключается в разработке и обосновании подхода к оптимизации зимнего содержания горных автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов на основе совмещения риск-ориентированного, эксплуатационного и организационно-технологического подходов [7, 8, 15, 16].

К основным элементам научной новизны относятся следующие положения:

1. Систематизированы факторы приоритизации зимнего содержания горных автомобильных дорог, включающие не только транспортную значимость участка и интенсивность движения, но и уровень природно-климатического зимнего риска, социальную функцию дороги, аварийность, повторяемость закрытий и последствия возможного прекращения движения [1, 2, 7, 13].

2. Предложена упрощённая интегральная модель ранжирования участков зимнего содержания, позволяющая в условиях ограниченного финансирования, дефицита техники и

материалов обосновывать очередность эксплуатационных мероприятий на основе совокупной оценки транспортных, климатических, социальных и эксплуатационных параметров [7, 8, 16].

3. Обоснован риск-ориентированный принцип распределения ресурсов зимнего содержания для горных автомобильных дорог, согласно которому приоритет получают не все участки сети равномерно, а направления с наибольшим сочетанием зимней опасности, транспортной значимости и тяжести последствий отказа [6, 7, 10].

4. Разработана схема оптимизации зимнего содержания горных дорог, объединяющая мониторинг погодных условий и состояния покрытия, выявление опасных участков, их ранжирование, выбор технологии воздействия, распределение ресурсов и последующую корректировку плана работ в едином управленческом цикле [7, 8, 9].

5. Показана возможность практической адаптации предложенного подхода к условиям Республики Таджикистан, где зимнее содержание осуществляется в сложной горной среде и при объективно ограниченных эксплуатационных ресурсах [1, 2, 15, 16].

Значение предложенного подхода для Таджикистана

Для Республики Таджикистан применение оптимизационного подхода к зимнему содержанию особенно важно по трём причинам. Во-первых, сама конфигурация дорожной сети в горах означает высокую зависимость доступности территорий от состояния ограниченного числа критических направлений [1, 2]. Во-вторых, природные угрозы имеют комплексный характер: снег и лёд часто сочетаются с лавинами, камнепадами, оползнями и последующими весенними размывами [1, 2, 13]. В-третьих, ресурсы содержания объективно ограничены, поэтому равномерное обслуживание всей сети без приоритизации приводит к распылению средств и снижению результата [15, 16].

В этом контексте наиболее перспективным является включение зимнего содержания в более широкую систему управления дорожными активами. Тогда решения о распределении техники, запасов материалов и уровня сервиса можно принимать не только по факту снегопада, но и на основе исторических данных, риска закрытия, социально-экономической значимости и фактического технического состояния дороги [7, 8, 16].

Для условий Таджикистана это означает необходимость перехода от преимущественно реагирующей схемы зимнего содержания к превентивной и риск-ориентированной модели. Такая модель позволяет заранее выделять критические участки, размещать ресурсы ближе к зонам риска, использовать погодную информацию, снижать вероятность закрытия дорог и повышать устойчивость транспортного сообщения в горных районах [1, 2, 6, 7, 15].

Заключение

1. Установлено, что зимнее содержание горных автомобильных дорог представляет собой многофакторную задачу, в которой одновременно учитываются опасные природные явления, транспортная значимость дорог и ограниченность эксплуатационных ресурсов [4, 5, 13, 15].

2. Показано, что при ограниченных ресурсах эффективной является не равномерная, а приоритетная схема содержания, основанная на ранжировании участков по транспортной роли, уровню риска, социальной значимости и последствиям отказа [6, 7, 8, 16].

3. Обосновано, что применение превентивных технологий, включая противогололёдную обработка дороги и использование дорожной погодной информации, позволяет снижать расход ресурсов и ускорять восстановление требуемого уровня дорожного сервиса [6, 7, 8, 9].

4. Предложена упрощённая риск-ориентированная модель приоритизации участков зимнего содержания, а также формы её практической реализации в виде таблиц ранжирования и схемы управленческого цикла [7, 8, 16].

5. Для Таджикистана оптимизация зимнего содержания горных дорог должна рассматриваться как важный элемент повышения устойчивости транспортной системы и как составная часть системы управления дорожными активами [1, 2, 15, 16].

Рецензент: Сайраҳмонов Р.Х. - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой "Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ТПУ им. ақад. М.С. Осими.

Литература

1. Resilient roads: Protecting critical lifelines in mountainous Tajikistan // World Bank Blogs. – 2021. – URL: <https://blogs.worldbank.org> (дата обращения: 18.05.2026).
2. Tajikistan Preparedness and Resilience to Disasters Project (P177779). Project Appraisal Document. Washington, D.C.: World Bank, 2022.
3. Assessment of Economic Impacts from Disasters Along Key Corridors. Washington, D.C.: World Bank, 2021.
4. Winter maintenance // PIARC Road Tunnels Manual. Paris: World Road Association (PIARC).
5. Snow and Ice Databook 2026 // PIARC Virtual Library. Paris: World Road Association (PIARC), 2026.
6. Manual of Practice for an Effective Anti-Icing Program: A Guide for Highway Winter Maintenance Personnel. FHWA-RD-95-202. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 1996.
7. Road Weather Management Program Publications. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
8. Road Weather Management Performance Measures. FHWA-HOP-22-002. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 2022.
9. Best Practices for Road Weather Management. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2003.
10. Economic Impact of Winter Road Maintenance // Transportation Research Record. Transportation Research Board, 1994.
11. Update of the AASHTO Guide for Snow and Ice Control. Washington, D.C.: AASHTO / NCHRP, 2008.
12. Unstable Slope Management Program for Federal Land Management Agencies: Field Manual. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
13. Natural Hazards in Tajikistan. Dushanbe: OSCE Programme Office in Dushanbe.
14. PIARC Strategic Plan 2024-2027. Paris: World Road Association (PIARC), 2024.
15. Каримов Б.Б. Содержание и ремонт дорог в горных условиях: учебное пособие для студентов / Б.Б. Каримов, Ж.К. Калилов, С.Б. Мирзоев. - Москва: Интрансдорнаука, - Можайск: МПИК, 2016. - 320 с. УДК 625.711.812:625.76, ББК 39.311.97-082 K231, ISBN 978-5-901848-22-7
16. Мирзозода С.Б. Система управления дорожными активами (СУДА): монография / С.Б. Мирзозода, О.А. Красиков, Б.Б. Каримов. - Душанбе: Ирфон, 2023. - 264 с. УДК 625.7/8(075.8), ББК 39.311я73, К78
17. Мирзоев С.Б. Рекомендательные мероприятия по повышению качества строительства и ремонта автомобильных дорог в Республике Таджикистан / А.М. Оев, С.А. Оев, С.Б. Мирзоев // Вестник Таджикского технического университета. - Душанбе: ТТУ, - 2010. - № 1(9)2010. - С.72-76.
18. Мирзоев С.Б. Содержание покрытий автомобильных дорог в условиях Таджикистана / С.Б. Мирзоев, А.М. Оев // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры. - 2008. - № 2. - С. 127-130.
19. Давлатшоев, Р. А. Оценка эффективности запасных тормозных систем различных компоновок при эксплуатации автомобилей в горных условиях Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов / Р. А. Давлатшоев, Б. Ж. Мажитов // Светоч науки. – 2025. – № 4. – С. 73-79. – EDN WOAUTU.
20. Мирзозода, С. Б. Цифровизация дорожной отрасли Таджикистана / С. Б. Мирзозода // Светоч науки. – 2025. – № 4. – С. 79-86. – EDN AIJCGH.
21. Мажитов, Б. Ж. Тахлили таъсири ҳолати техникии ВНА ба беҳатари ҳаракат дар роҳ / Б. Ж. Мажитов, Р. А. Давлатшоев, Н. М. Каримов // Фурӯғи илм. – 2025. – №. 4. – Р. 86-91. – EDN JWAAGQ.
22. Пиров, Ж. Т. Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на трехполосных сегментах улично-дорожных сетей / Ж. Т. Пиров, Ш. А. Бозоров, Д. Д. Мухторов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 1(61). – С. 148-152. – EDN DXNUVP.

References

1. Resilient Roads: Protecting Critical Lifelines in Mountainous Tajikistan // World Bank Blogs. – 2021. – URL: <https://blogs.worldbank.org> (accessed: May 18, 2026).
2. Tajikistan Preparedness and Resilience to Disasters Project (P177779). Project Appraisal Document. – Washington, D.C.: World Bank, 2022.
3. Assessment of Economic Impacts from Disasters Along Key Corridors. – Washington, D.C.: World Bank, 2021.
4. Winter Maintenance // PIARC Road Tunnels Manual. – Paris: World Road Association (PIARC).
5. Snow and Ice Databook 2026 // PIARC Virtual Library. – Paris: World Road Association (PIARC), 2026.
6. Manual of Practice for an Effective Anti-Icing Program: A Guide for Highway Winter Maintenance Personnel. FHWA-RD-95-202. – Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 1996.
7. Road Weather Management Program Publications. – Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
8. Road Weather Management Performance Measures. FHWA-HOP-22-002. – Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 2022.

9. Best Practices for Road Weather Management. – Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2003.
10. Economic Impact of Winter Road Maintenance // Transportation Research Record. – Transportation Research Board, 1994.
11. Update of the AASHTO Guide for Snow and Ice Control. – Washington, D.C.: AASHTO / NCHRP, 2008.
12. Unstable Slope Management Program for Federal Land Management Agencies: Field Manual. – Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
13. Natural Hazards in Tajikistan. – Dushanbe: OSCE Programme Office in Dushanbe.
14. PIARC Strategic Plan 2024–2027. – Paris: World Road Association (PIARC), 2024.
15. Karimov, B.B. Maintenance and Repair of Roads in Mountain Conditions: Textbook for Students / B.B. Karimov, Zh.K. Kalilov, S.B. Mirzoev. – Moscow: Intransdornauka; Mozhaisk: MPK, 2016. – 320 p. UDC 625.711.812:625.76; BBK 39.311.97-082 K231; ISBN 978-5-901848-22-7.
16. Mirzozoda, S.B. Road Asset Management System (RAMS): Monograph / S.B. Mirzozoda, O.A. Krasikov, B.B. Karimov. – Dushanbe: Irfon, 2023. – 264 p. UDC 625.7/8(075.8); BBK 39.311я73, K78.
17. Mirzoev, S.B. Recommended Measures for Improving the Quality of Construction and Repair of Automobile Roads in the Republic of Tajikistan / A.M. Oev, S.A. Oev, S.B. Mirzoev // Bulletin of Tajik Technical University. – Dushanbe: TTU, 2010. – No. 1(9). – P. 72–76.
18. Mirzoev, S.B. Maintenance of Road Pavements under the Conditions of Tajikistan / S.B. Mirzoev, A.M. Oev // Bulletin of Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture. – 2008. – No. 2. – P. 127–130.
19. Davlatshoev, R.A. Evaluation of the Efficiency of Reserve Braking Systems of Various Configurations during Vehicle Operation in Mountain Conditions / R.A. Davlatshoev, B.Zh. Mazhitov // Svetoch Nauki. – 2025. – No. 4. – P. 73–79.
20. Mirzozoda, S.B. Digitalization of the Road Industry of Tajikistan / S.B. Mirzozoda // Svetoch Nauki. – 2025. – No. 4. – P. 79–86.
21. Mazhitov, B.Zh. Analysis of the Impact of the Technical Condition of Vehicles on Road Traffic Safety / B.Zh. Mazhitov, R.A. Davlatshoev, N.M. Karimov // Furughi Ilm. – 2025. – No. 4. – P. 86–91.
22. Pirov, Zh.T. Influence of Traffic Flow Distribution on Travel Speed in Three-Lane Segments of Urban Road Networks / Zh.T. Pirov, Sh.A. Bozorov, D.D. Mukhtorov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2023. – No. 1(61). – P. 148–152.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Мирзозода Сухроб Бегмат	Мирзозода Сухроб Бегмат	Mirzozoda Suhrob Begmat
номзади илмҳои техники, и.в. дотсент	кандидат технических наук, и.о. доцента	candidate of technical sciences, acting assistant professor
Донишгоҳи Техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: sukhrob63@mail.ru		
ORCID 0000-0002-9817-3633		