

Битумные вяжущие для климатических условий Иордании с позиции температурного диапазона эксплуатации автомобильных дорог

Атоут Хассан Абделлатиф тахсин, Я.М. Катрич, М.А. Высоцкая

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия

Резюме. Цель. Качественное и количественное состояние дорожной сети является индикатором социально-экономического развития любой страны. Климатические особенности Ближнего Востока и, конкретно, Иордании, выдвигают ряд жестких требований к физико-механическим показателям асфальтобетонных смесей и эксплуатационным характеристикам асфальтобетона в покрытии таким как сдвигоустойчивость и колеестойкость. Эти проблемы в странах с сухим климатом являются особо острыми. Используя к выбору битумных вяжущих подход, основанный на фактическом диапазоне эксплуатации автомобильных дорог, возможно минимизировать возникновение ранних дефектов на покрытии. Целью работы является зонирование по климатическим признакам регионы страны, рассчитать для этих районов фактические марки битумного вяжущего PG, которые будут отражать реальный температурный диапазон работы асфальтобетона в покрытии и позволят снизить интенсивность образования и накопления пластических деформаций, колеи и температурного трещинообразования на дорогах Иордании. **Метод.** Реализация поставленной цели выполнялась посредством анализа климатических условий всех доступных населенных пунктов Иордании со сбором массива температур в течение 15 лет по дням в течение года, расчета фактических температур эксплуатации покрытий в максимально жаркий и холодный периоды по стандартной методике. **Результат.** Были рассчитаны минимально допустимые к применению в конструктивных слоях дорожной одежды Иордании марки PG битумных вяжущих для верхних и нижних слоев дорожной одежды. На основе анализа климатических условий страны и выполненных расчетов предложена карта районирования Иордании по PG маркам битумных вяжущих. **Вывод.** Вопрос перехода дорожников Иордании полностью на систему Superpave - неоднозначен, однако использование в технологии приготовления асфальтобетонных смесей битумных вяжущих с фактическим диапазоном температур эксплуатации, позволит совершить значимый рывок на пути увеличения межремонтных сроков покрытий автомобильных дорог. При разработке в лабораторных условиях рецептур PG-марок битумных вяжущих целесообразно использовать модификаторы: резиновый порошок, СБС-полимеры, EVA, воска, а также их комплексное сочетание.

Ключевые слова: битумное вяжущее, Ближневосточный регион, Иордания, температурный диапазон эксплуатации, расчет марок PG

Для цитирования: Атоут Хассан Абделлатиф тахсин, Я.М. Катрич, М.А. Высоцкая. Битумные вяжущие для климатических условий Иордании с позиции температурного диапазона эксплуатации автомобильных дорог. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(2): 175-189. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-2-175-189

Bitumen binders for the climatic conditions of Jordan from the point of view of the temperature range of road operation

Atout Hassan Abdellatif tahsin, Ya.M. Katrich, M.A. Vysotskaya

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia

Abstract. Objective. The road network, its qualitative and quantitative state, is an indicator of the socio-economic development of any country. The climatic characteristics of the Middle East and, specifically, Jordan, impose a number of stringent requirements on the physico-mechanical properties of asphalt concrete mixtures and the operational characteristics of asphalt concrete in pavement, such as rut resistance and fatigue resistance. These issues are particularly acute in countries with a dry climate. By using an approach to the selection of bitumen binders based on the actual range of road operation, it is possible to minimize the occurrence of early defects on the pavement. The aim of this study was to zone the regions of the country based on climatic characteristics, calculate the actual PG grades of bitumen binders for these regions, which would reflect the real temperature range of asphalt concrete operation in the pavement and allow for the reduction of the intensity of plastic deformations, rutting, and temperature-cracking on the roads of Jordan. **Method.** The implementation of the set goal was done through the analysis of the climatic conditions of all available settlements in Jordan, with the collection of a temperature array over 15 years on a daily basis throughout the year, and the calculation of actual pavement operating temperatures during the hottest and coldest periods using a standard methodology. **Result.** The minimum allowable PG grades of bitumen binders for use in the structural layers of Jordan's road pavement were calculated. Based on the analysis of the country's climatic conditions and the performed calculations, a zoning map of Jordan was proposed according to the PG grades of bitumen binders. **Conclusion.** The question of Jordan's road engineers fully transitioning to the Superpave system is ambiguous, however, the use of bitumen binders in the technology of preparing asphalt concrete mixtures with the actual range of operating temperatures will allow for a significant leap in increasing the intervals between road repairs. When developing formulas for PG grades of bitumen binders in laboratory conditions, it is advisable to use modifiers such as rubber powder, SBS polymers, EVA, wax, as well as their complex combination.

Keywords: bituminous binders, Middle East region, Jordan, operating temperature range, calculation of PG grades

For citation: Atout Hassan Abdellatif tahsin, Ya.M. Katrich, M.A. Vysotskaya. Bitumen binders for the climatic conditions of Jordan from the point of view of the temperature range of road operation. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(2): 175-189. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-2-175-189

Введение. Исторически сложилось, что дорожная сеть, ее качественное и количественное состояния являются индикатором социально-экономического развития любой страны. Развитая дорожная инфраструктура способствует развитию торговли, бизнеса и индустрии. Она облегчает перемещение товаров и услуг, поддерживает связь между регионами, устраняя преграды для экономического роста и сокращая географическую изоляцию. Качественные и безопасные дороги делают жизнь людей проще, улучшают доступность к образованию, здравоохранению и другим социальным услугам. Развитая дорожная сеть с комфортной и эффективной инфраструктурой привлекает туристов и является драйвером развития туристической индустрии, предоставляя возможность посещать и изучать различные культурные, исторические и природные достопримечательности, расширяет доступ к новым рынкам, а также стимулирует приток инвестиций в страну и создание новых рабочих мест.

Динамика развития за последние десятилетия Ближневосточного региона, расширение экономических и культурных связей, рост числа автомобилей, а вместе с этим грузонапряженности и интенсивности движения определили не только необходимость в строительстве новых и реконструкции существующих асфальтобетонных дорог, но выявили ряд существенных проблем, характерных только для этого региона ввиду сухого жаркого климата. Климатические особенности Ближнего Востока выдвигают ряд жестких требований к физико-механическим показателям асфальтобетонных смесей и эксплуатационным характеристикам асфальтобетона в покрытии и, прежде всего, это сдвигоустойчивость и колеестойкость. Эти проблемы в странах с сухим климатом являются особо острыми [1-5].

В соответствии с общепринятой концепцией строительства автомобильных дорог, улучшение эксплуатационных характеристик покрытия достигается за счет проектирования и сочетания наиболее подходящего битумного вяжущего с точки зрения температурного диапазона эксплуатации, минеральных компонентов и, если это требуется, модификаторов [6-12]. Самым прогрессивным направлением по созданию сдвиго- и колеестойких асфальтобетонных покрытий является применение PG-марок битумных вяжущих (по методологии Superpave) и повышенное содержание узкофракционного щебня определенного качества. Отличительной особенностью системы Superpave [13-19], в РФ – объемно-функционального проектирования асфальтобетона, является то, что в ней не применяются «классические» параметры битума такие как пенетрация, температура размягчения и т.п. Основа классификации вяжущих по Superpave – это фактический температурный диапазон эксплуатации битумного вяжущего в составе асфальтобетонного покрытия, называемый Performance Grade (PG).

Функциональный вид вяжущего маркируется символом «PG X-Y»,

где: X – максимальная температура дорожного покрытия; Y – минимальная температура дорожного покрытия.

Базовым отличием в подходе выбора битумного вяжущего для объектов транспортного строительства является не только глубокое исследование его реологических параметров, но и необходимость выполнения колоссальных расчетных операций для определения марок битумного вяжущего, соответствующих фактическим условиям эксплуатации асфальтобетона в покрытии. Возможность минимизации дефектов покрытий автомобильных дорог на различных этапах строительства и эксплуатации достигается посредством совокупности детального изучения климата участка строительства, его протяженности (в соответствии с методологией перерасчет марки битумного вяжущего выполняется для каждых 100 км автомобильной дороги), конструкции дорожной одежды (расчет марок для верхних и нижних слоев асфальтобетона выполняется отдельно), а также транспортной загруженности объекта. Каждая из обозначенных позиций вносит свои корректировки в расчет марки битумного вяжущего, являющегося ключевым аспектом в системе проектирования модифицированного битумного вяжущего и асфальтобетона на его основе, а также предметом дискуссий в отраслевом сообществе.

Иордания – государство, вынужденное импортировать нефтепродукты, в том числе и битум, из других стран. Источником битума для страны также является Иорданский нефтеперерабатывающий завод, работающий на импортируемой нефти. Широко используемыми битумными марками являются: 40/50, 60/70, 80/100, а также модифицированный битум, в основе классификации которого также лежит показатель пенетрации при 25°C. Качественным решением проблем покрытий автомобильных дорог для Иордании мог бы стать переход на систему классификации битумных вяжущих по PG, учитывающую с узким шагом нюансы изменения климатических условий региона.

Постановка задачи. Целью работы было провести зонирование по климатическим признакам регионы (города) страны, рассчитать для этих районов фактические марки битумного вяжущего PG, которые будут отражать реальный температурный диапазон

работы асфальтобетона в покрытии и позволят снизить интенсивность образования и накопления пластических деформаций и колеи на дорогах Иордании. Полученные данные позволят в дальнейшем технически грамотно и ресурсосберегающе подходить к проектированию составов вяжущих требуемых РГ марок.

Реализация поставленной цели выполнялась посредством анализа климатических условий всех доступных населенных пунктов Иордании со сбором массива температур в течение 15 лет по дням в течение года, расчета фактических температур эксплуатации покрытий в максимально жаркий и холодный периоды, зонирование территории по выявленным признакам, с последующим расчетом и назначением марок битумных вяжущих целесообразных для климатических условий Иордании с позиции температурного диапазона эксплуатации автомобильных дорог.

Методы исследования. Определение максимальной расчетной температуры слоев покрытия. Расчет марок битумного вяжущего для условий Иордании выполнялся в соответствии с методологией, изложенной в ГОСТ Р 58400.3-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки». Для этого, используя статистические данные характерных городов, по суточным максимальным температурам воздуха за 15-летний период [20-23], полученным с метеостанций, были определены суточные градусы (T), °C, за все календарные дни по формуле:

$$T = T_{max} - 10, \quad (1)$$

где T_{max} – максимальная суточная температура воздуха календарного дня, °C.

Суточные градусы T для дней, в которые максимальные суточные температуры воздуха не превышают 10 °C, для региона равны нулю.

Для получения расчетных величин были составлены массивы таблиц следующего вида, рис. 4, для каждого года на протяжении 15 лет по каждому населенному пункту в дневной и вечерний периоды.

Далее, были вычислены средние значения годовых градусов (DD) за 15-летний период по формуле:

$$DD = \sum_{i=1}^{15} \frac{G_i}{15}, \quad (2)$$

где G_i – годовые градусы, равные суммарному количеству суточных градусов T за все дни в году, тысячи °C.

Специфика работы асфальтобетона в покрытии автомобильной дороги, а также вопросы экономической целесообразности использования того или иного вида модификации битумного вяжущего, диктуют необходимость, в соответствии с используемой расчетной методикой, определять расчетную температуру верхнего слоя покрытия (ВСП) и нижнего слоя покрытия (НСП) отдельно.

Исходная максимальная расчетная температура ($T_{исх}$), верхнего слоя покрытия (ВСП) определяется следующим образом:

$$T_{исх} = 48,2 + 14 \cdot DD - 0,96 \cdot DD^2 \cdot 2 \cdot RD, \quad (3)$$

где DD – годовые градусы, в тысячах, °C; RD – условный параметр допустимых деформаций за срок службы слоя (принимается равным 13).

В соответствии с возможностью вариативности наступления периода с температурой, соответствующей $T_{исх}$, необходимо оценить годовой коэффициент вариации максимальной расчетной температуры ВСП ($CVPG$), % для каждого из городов:

$$CVPG = 0,000034 \cdot (Lat - 20)^2 \cdot RD^2, \quad (4)$$

где Lat – географическая широта участка расположения дороги, в градусах (например, для Аммана 31,9552°).

Учитывая температурную специфику региона, максимальная расчетная температура ВСП рассчитывается с надежностью 98% (T_{98} , °C), по формуле:

$$T_{98} = T_{исх} + Z \cdot T_{исх} \cdot \frac{CVPG}{100}, \quad (5)$$

где $T_{исх}$ – исходная максимальная расчетная температура слоя, °C; $CVPG$ – годовой коэффициент вариации максимальной расчетной температуры, %; Z – табличное значение аргумента функции стандартного нормального распределения, соответствующее надежности 98% и равное 2,055.

Следующим расчетным шагом является определение максимальной расчетной температуры слоя, расположенного на глубине от поверхности дороги – нижнего слоя покрытия (НСП). В данном случае, для расчета также принимаем надежность 98%, поэтому формула для определения максимальной расчетной температуры слоя, расположенного на глубине H от поверхности, приобретает вид:

$$T(H)_{98} = T_{98} - K_H, \quad (6)$$

где T_{98} – максимальная расчетная температура ВСП с надежностью 98%, °C; K_H – значение коррекции, равное $[15,14 \cdot \log_{10}(H/45+1)]$, °C; H – глубина от поверхности дороги до поверхности слоя, мм (принимаем равным 50 мм).

Значение коррекции K_H , соответствующие выборочным возможным глубинам поверхности слоя от поверхности автодороги, равно 4,9 °C.

Скорректированная максимальная температура ВСП с надежностью 98% (TK_{98}), °C определяется следующей формулой:

$$TK_{98} = T_{98} + k, \quad (7)$$

где T_{98} – максимальная расчетная температура ВСП с надежностью 98%, °C; k – значение коррекции, при нормальных условиях движения и прогнозируемой средней скорости транспортного потока 20-70 км/ч, равно 10,3 °C.

Скорректированная максимальная температура слоя, расположенного на глубине от поверхности дороги с надежностью 98% ($TK(H)_{98}$), °C, вычисляется по формуле:

$$TK(H)_{98} = T(H)_{98} + k, \quad (8)$$

где $T(H)_{98}$ – максимальная расчетная температура слоя с надежностью 98%, °C; k – значение коррекции, равное 10,3 °C; H – глубина от поверхности дороги до поверхности слоя, мм.

На основе выполненного расчета, были получены скорректированные максимальные температуры с надежностью 98% верхних (ВСП) и нижних слоев (НСП) покрытия автомобильных дорог, расположенных в городах: Амман, Акаба, Ирбид и Маан.

Анализ климатических условий функционирования транспортных объектов в Иордании продемонстрировал, что для ряда территорий характерны отрицательные температуры, что необходимо учитывать при выборе битумного вяжущего, с целью минимизировать вероятность возникновения не только деформации покрытия в летний период, но и предотвратить температурное трещинообразование.

Определение минимальной расчетной температуры слоев покрытия. Используя статистические данные Иордании по суточным минимальным температурам воздуха за 15-летний период [20-23], определяем среднее значение минимальных годовых температур (T_{min}), °C, по формуле:

$$T_{min} = \sum_{i=1}^{15} \frac{T_i}{15}, \quad (9)$$

где T_i – минимальные годовые температуры воздуха, °C.

Определяем значение стандартного отклонения минимальных годовых температур воздуха (s) по формуле:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(T_i - T_{min})^2}{n-1}}, \quad (10)$$

где n – количество лет наблюдений; T_i – минимальная годовая температура в (i -тый) год наблюдения; T_{min} – среднее значение минимальных годовых температур, °C

Минимальная расчетная температура ВСП с надежностью 98% (TM_{98}), оценивается по формуле:

$$TM_{98} = -1,56 + 0,72 \cdot T_{min} - 0,004 \cdot (Lat)^2 + 6,26 \log_{10}(H + 25) - Z \cdot (4,4 + 0,52 \cdot s^2)^{0,5}, \quad (11)$$

где T_{min} – среднее значение минимальных годовых температур, °C; Lat – географическая широта участка расположения дороги в градусах; H – глубина слоя от поверхности дороги до поверхности слоя, мм; Z – табличное значение аргумента функции стандартного нормального распределения, соответствующее надежности 98% и равное 2,055; s – стандартное отклонение минимальных годовых температур.

Минимальную расчетную температуру слоя, расположенного на глубине $TM(H)_{98}$ с надежностью 98% определяем по формуле:

$$TM(H)_{98} = TM_{98} + F_H, \quad (12)$$

где H – глубина от поверхности дороги до поверхности слоя, мм; TM_{98} – минимальная расчетная температура ВСП с надежностью 98%, °C; F_H – значение коррекции, равное $[6,26 \cdot \log_{10}(H25+1)]$, °C.

Так как, расчет ведется для глубины от поверхности дороги до поверхности НСП в 50 мм, то значение коррекции F_H , соответствует 3,0.

Обсуждение результатов. В соответствии с предлагаемым для условий Иордании подходом к битумным вяжущим, стоит подчеркнуть, что его марки, в первую очередь, определяются климатическими условиями территории, на которой будет функционировать транспортный объект. Такие марки «программируются» разработчиками не только на достижение требуемых физико-химических показателей вяжущего, но и на широкий температурный диапазон эксплуатации асфальтобетона, при котором битумное вяжущее позволит дорожному покрытию сохранять высокую прочность и целостность. Достижение обозначенных эффектов реализуется посредством назначения (расчета) марки вяжущего, соответствующей показателям деформативности и вязкоупругим свойствам, которые в системе Superpave являются неизменными величинами для определенных условий работы покрытия (экстремальные, тяжелые, нормальные или легкие). Поэтому марка вяжущего **PG** определяется как результат реологических испытаний, выполняющихся при максимальной расчётной температуре (взамен температуры размягчения по КиШ) и минимальной расчетной температуре на приборах ABCD или VBR (взамен температуры хрупкости по Фраасу).

Подобный подход позволяет обеспечивать проектируемым асфальтобетонам повышенный межремонтный срок эксплуатации в покрытии автомобильных дорог. Ключевыми параметрами таких покрытий являются:

- низкий абразивный износ;
- малые остаточные деформации;
- минимизация усталостных растрескиваний;
- исключение низкотемпературного трещинообразования.

Оценив все возможные преимущества подобной технологии для условий сухого и жаркого климата, ряд государств Ближнего Востока в рамках решения своих транспортных проблем, обратили внимание на систему проектирования асфальтобетонных смесей Superpave [24]. Необходимо отметить, что термин «Ближний Восток» - крайне неоднозначный не только с позиции терминологии, но и с точки зрения благосостояния входящих в него стран. Коротко рассмотрим направления и пути решения рядом государств своих «дорожных проблем». Подобный подход, с нашей точки зрения, необходим, так как позволяет методом сравнительного анализа, оценить адекватность выполненных расчетов марок PG вяжущих для условий Иордании.

Саудовская Аравия стала первой страной региона, проявившей интерес и реализовавшей систему Superpave на своих транспортных объектах [24]. Однако, инженеры-дорожники столкнулись с проблемой отсутствия у себя специализированных марок битумных вяжущих. На тот момент нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) страны не производили даже полимерно-битумные вяжущие (ПБВ). Использование рядового битума в силу климатических особенностей пустынной и жаркой страны оказалось неприемлемым. Внедрение Superpave на дорогах Саудовской Аравии было приостановлено

для детального изучения климата в регионе, сбора массива данных по температуре дорожного полотна по всей стране в течение всего года. Это позволило рассчитать оптимальные марки битумных вяжущих для дорог страны, которые были включены в дорожную карту Саудовской Аравии по внедрению Superpave. Как результат – саудовцам удалось добиться значимого увеличения межремонтных сроков автомобильных дорог и минимизации образования пластических деформаций на покрытии.

Следующим государством, перенявшим эстафету по внедрению системы Superpave, в 2012 г стал Катар. Было принято решение использовать специальную марку битумных вяжущих PG 76, разработка которой была нацелена на устранение проблем в виде пластических деформаций и колесобразования. В настоящий момент в Катаре при дорожном строительстве используется исключительно система Superpave.

Оман – небольшое государство. В отличие от Катара, это страна значительно ограничена в своих ресурсах. В связи с этим, к внедрению системы Superpave подходят избирательно. Дорожники в стране тщательно изучают все новые технологии дорожного строительства, останавливаясь на тех, которые кажутся наиболее понятными и подходящими с точки зрения местной специфики.

Отличительной чертой Ливана является не только ограниченность ресурсов, но и необходимость закупки битума у других стран, так как сами ливанцы битум не производят. Эти факторы значительно усложняли и препятствовали адекватной оценке качества битума. Отсутствие входного контроля качества используемых марок битумов порождало проблему значительного сокращения межремонтных сроков автомобильных дорог.

В целях решения проблемы контроля качества материалов, используемых в дорожном строительстве, было принято решение о внедрении системы Superpave, которая позволила решить проблему качества и долговечности ливанских дорог.

В Дубае, крупнейшем городе одной из богатейших стран мира, до недавнего времени дороги ремонтировались раз в полгода. Причина — интенсивность движения и климатические особенности одного из самых жарких городов на планете, где дороги буквально плавятся под колесами автомобилей, рис. 1.

Значительное финансирование дорожно-строительной отрасли способствовало тому, чтобы в кратчайшие сроки и максимально эффективно оценить ситуацию и внедрить систему Superpave в регионе, что позволило ремонтировать местные автомагистрали значительно реже.



Рис. 1. Колейность на покрытии автомобильных дорог в ОАЭ [24]

Fig. 1. Rutting on paved roads in the UAE [24]

Иордания – маленькое государство, как и Ливан, вынужденное импортировать нефтепродукты из других стран. Анализ состояния покрытия автомобильных дорог демонстрирует, что проблемы дорог стран Ближневосточного региона характерны и для дорог Иордании. И если страны-соседи в той или иной мере стремятся учитывать фактический температурный диапазон эксплуатации транспортных объектов,

для дорожников Иордании важным определяющим марку и качественные показатели битума остается пенетрация при 25 °С и температура размягчения по КИШ. Состояние дорог Иордании представлено на рис. 2.

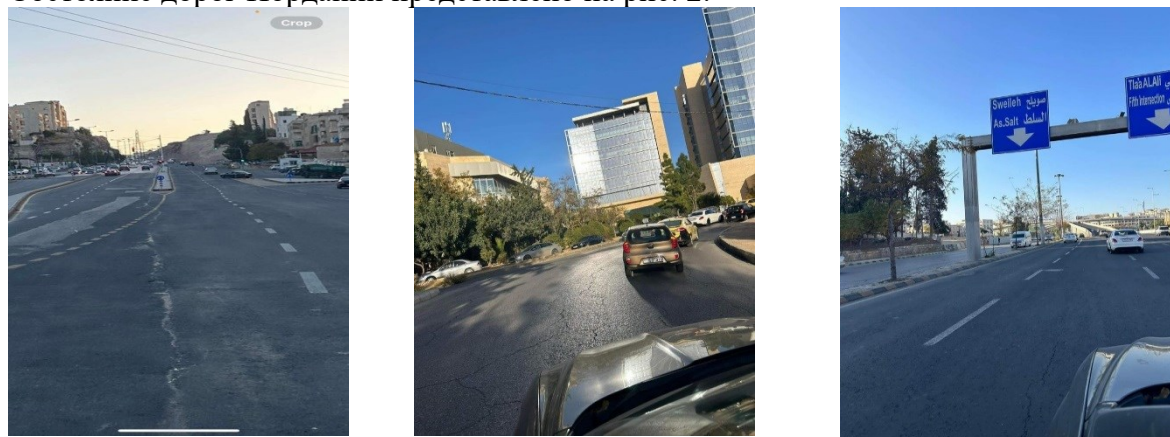


Рис. 2. Автомобильные дороги Иордании
Fig. 2. Highways of Jordan

Анализ состояния дорог Иордании демонстрирует, что в стремлении сократить пластические деформации на покрытии автомобильных дорог, используется жесткое битумное вяжущее, формирующее в асфальтобетоне низкую устойчивость к усталостному трещинообразованию и провоцирующее образование трещин на покрытии. Таким образом, отправной точкой для расчета и назначения марок битумных вяжущих по PG для климатических условий Иордании с позиции температурного диапазона эксплуатации автомобильных дорог является тщательный анализ климата с последующим зонированием по принципу климатического подобию.

Оценка климатических условий региона. Иордания или Иорданское Хашимитское Королевство (аль-Мамляка аль-Урдунья аль-Хашимй) [20-22, 25-26], расположена на Ближнем Востоке, между 29° и 34° северной широты и 35° и 39° восточной долготы. Площадь: 89 тыс. км². Основную территорию (90 %) Иордании занимают пустынные плато, на западе страны имеются холмы и горы. Река Иордан отделяет Иорданию и Израиль.

Климат Иордании – сухой субтропический, с довольно холодными зимами на территории плато из-за высоты, и солнечным горячим летом, частично смягчаемым также высотой рельефа. Фактически, большая часть территории Иордании занята плато, высота которого варьируется от 700 до 1200 метров, и прерывается это плато лишь на западе узкой долиной реки Иордан, некоторые участки которой протекают даже ниже уровня моря. Соответственно, температура воздуха в этой долине выше, зимы мягче, а лето очень жаркое.

Несмотря на то, что климат страны сухой и жаркий, для него характерно определенное разнообразие. Так, принято выделять три основных климатических зоны: средиземноморская, пустынная и полупустынная. Значительная часть Иордании характеризуется очень низкими осадками, и большинство областей являются пустынными или полупустынными. Дожди редкие, выпадают с ноября по апрель, их максимум приходится на декабрь - февраль. Общее количество дождевых осадков варьируется от 250 до 450 миллиметров за год в северо-западной части страны, и это количество уменьшается до уровня осадков в пустыне – до 100 мм в год и ниже в остальной части страны, которая является частью Сирийской и Аравийской пустынь.

Большая часть страны представлена пустыней, в то время как северо-западный регион страны является полупустыней, а на некоторых его частях, расположенных на высоте свыше 1000 метров, обильно произрастают зеленые растения. В зимнее время русла рек, которые остаются сухими большую часть года (называемые вадии), могут резко наполняться водой, тем самым представляя опасность для пересечения. В горных

и возвышенных районах случаются заморозки и снегопады, в то же время на равнине они довольно редкие [25-26].

Территория Иордании подвержена влиянию сильных и жарких ветров, дующих с территории египетской пустыни, которые приносят пыль и песчаные штормы; это особенно вероятно весной и осенью. Длятся такие пыльные бури в течение нескольких дней. Наиболее значимыми городами и населенными пунктами на территории Иордании, по которым возможно найти температурные массивы за длительный период, это: Амман, Эз-Зарка, Эль – Катрана, Эль – Мафрак, Каср эль Бурку, Эль – Джиза, Эр – Рабба, Гарандаль, Акаба, Азрак, Ирбид, Джараш, Эр – Рамта, Баир, Сафави, Эр – Рувайшед, Маан, Батн – эль – Гуль, Умм – эль – Хашим, Эль – Джафра, Эр – Рамла.

Амман – столица и крупнейший город Иордании. Город расположен в 35 км северо-восточнее Мёртвого моря, в 110 км восточнее Средиземного моря и в 65 км восточнее Иерусалима, на семи холмах, которые представлены на флаге Иордании семиконечной звездой. В городе очень часто бывают сильные туманы [26].

В основу климатического анализа для зонирования территории Иордании, а также получения расчетных величин максимальных и минимальных годовых температур были положены массивы ежедневных температур для каждого года на протяжении 15 лет по каждому населенному пункту в дневной и вечерний периоды.

Для этого составлялись массивы таблиц следующего вида, рис. 3. Для примера представлен массив данных за один год для г. Акабба.

День 2022 (Акаба)												Вечер 2022 (Акаба)								
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
20	19	25	36	33	37	38	40	39	40	29	26	15	15	21	29	28	32	34	37	36
17	23	26	38	36	38	37	42	40	37	28	25	14	17	22	31	32	33	36	39	37
17	23	23	34	34	38	38	42	39	38	28	25	14	19	18	27	30	34	37	38	36
20	18	21	33	32	39	39	41	37	37	29	24	15	15	18	28	26	36	37	37	35
20	16	24	37	28	39	39	42	38	37	28	24	15	15	19	33	25	37	35	34	35
22	19	26	41	27	38	38	41	36	35	28	24	16	15	25	35	24	34	35	39	33
23	22	24	36	29	37	38	40	36	33	29	24	17	17	21	32	26	34	35	39	33
22	24	23	37	31	39	39	40	37	33		24	18	18	20		28	36	38	37	35
24	26	27	30	35	41	39	40	38	32	27	24	21	18	22	27	29	37	36	37	35
19	18	23	32	33	41	40	39	37	32	27	24	15	15	20	29	29	38	36	36	34
20	19	19	34	34	41	37	38	37	32	27	24	16	15	15	27	29	39	35	36	34
21	22	18	26	33	42	38	39	37	33	28	26	17	16	15	23	29	37	36	35	33
23	24	19	27	35	36	38	37	37	31	29	26	17	19	16	22	32	32	35	35	33
19	22	18	28	39	37	37	37	36	31	28	25	15	17	14	23	34	34	34	34	33
18	24	16	30	34	37	37	38	35	32	27	25	14	17	12	25	29	34	35	35	32
18	21	17		31	37	37	38	35	34	25	25	15	17	14	26	29	36	35	35	33
14	21	20	36	33	37	38	38	36	33	25	27	11	18		30	31	34	35	36	33
15	22	22	37	36	37	39	39	36	32	26	27	12	19	19	32	32	35	37	36	33
15	13	22	30	36	38	41	39	35	32	29	25	11	13	19	26	32	35	39	36	31
14	18	19	27	38	37	41	38	33	32	29	25	10	15	15	25	31	33	37	36	31
17	23	19	28	38	35	39	40	33	29	32	23	11	19	15	26	35	31	35	36	30
17	24	20	28	31	33	39	40	35	30	27	23	13	20	16	28	28	31	37	36	31
17	25	20	34	33	37	39	39	39	30	26	20	12	22	16	29	30	35	36	36	33
17	21	22	33	36	40	39	41	38	30	24	22	10	16	16	31	32	36	37	36	33
17	20	20	35	36	40	39	43	39	29	25	20	12	17	17	31	32	33	36	36	32
15	20	21	37	37	36	40	39	40	32	25	18	12	16	18	33	33	33	33	36	34
15	23	24	37	37	39	41	39	40	31	26	17	12	19	19	32	34	35	36	37	34
16	23	26	34	38	39	42	45	37	32	24	20	12	19	20	29	34	34	36	36	31
18		32	36	39	38	41	42	37	31	25	20	14		25	29	35	35	38	39	32
19		31	33	40	39	40	42	39	30	26	20	14		25	30	36	36	36	38	33
18		30		40		39	41		30		20	15		25		35		35	38	

Рис. 3. Массив температур г. Акаба за 2022 г для климатического зонирования территории и расчета марки битумного вяжущего PG

Fig. 3. Temperature array of Aqaba city for 2022 for climatic zoning of the territory and calculation of the brand of bitumen binder PG

В процессе анализа городов и населенных пунктов Иордании было отмечено, что наиболее информативно и целесообразно использовать для решения поставленных в исследовании задач классификацию Кёппена [23].

Схема классификации Кёппена делит климат на пять основных климатических групп: А (тропический), В (сухой), С (умеренный), D (континентальный) и Е (полярный). Вторая буква указывает на сезонный тип осадков, а третья – на уровень тепла.

В соответствии с собранными и расчетными климатическими данными была составлена табл. 1, демонстрирующая климатическое зонирование населенных пунктов Иордании.

Таблица 1. Описание буквенных символов кодов климата классификации Кёппена применительно к городам Иордании

Table 1. Description of the letter symbols of the Köppen climate codes as applied to cities in Jordan

Название города и его климатическая характеристика Name of the city and its climatic characteristics		Буквенное обозначение климата, порядковый номер букв в классификации Letter designation of climate, serial number of letters in the classification		
Город City	Климат Climate	ПерваяFirst	Вторая Second	Третья Third
Акаба Азрак	BWh – жаркий пустынный (аридный)	В (сухой)	W (пустынный)	
Маан Батн – эль – Гуль Умм – эль – Хашим Эль – Джафра Эр – Рамла	BWk – холодный пустынный		S (степной)	
Амман в восточных и южных районах Эз-Зарка Эль – Катрана Эль – Мафрак Каср эль Бурку	BSh/BSk – степной (семиаридный)			h (жаркий)
				k (холодный)
Амман в западных и северных районах: Эль – Джиза Эр – Рабба Гарандаль	Csa – жаркий летний средиземноморский	С (умеренный)	w (с сухой зимой)	
			s (с сухим летом)	
			f (без сухого сезона)	
			a (жаркое лето)	
Ирбид, Джараш, Эр – Рамта, Баир Сафави, Эр - Рувайшед				b (тёплое лето)
				c (холодное лето)

Как отмечалось ранее, классификация Кёппена дает обширную информацию о климате региона. Следующий этап исследования был расчетный: для обозначенных населенных пунктов, табл. 1, определены максимальные расчетные температуры, которые позволили выявить 4 характерных климатических региона. Нанесение сформированных групп населенных пунктов по максимальной расчетной температуре на карту Иордании по Кёппену с распределением испарения воды [23], рис. 4, позволило выявить интересную закономерность: границы интенсивности испарения воды накладываются на выполненное климатическое зонирование страны.

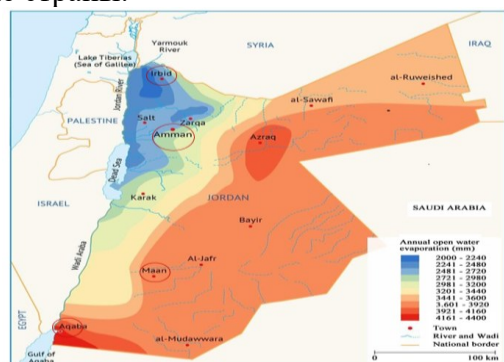


Рис. 4. Классификация климата Иордании по Кёппену [23] с распределением испарения воды и зонированием характерных городов по максимальной расчетной температуре

Fig. 4. Classification of the climate of Jordan according to Köppen [23] with the distribution of water evaporation and zoning of characteristic cities according to the maximum estimated temperature

Таким образом, было предложено использовать изолинии распределения испарения воды как возможную основу для зонирования территории страны по PG маркам битумных вяжущих.

Определение максимальной расчетной температуры слоев покрытия. Расчет марок битумного вяжущего для условий Иордании выполнялся в соответствии с методологией, изложенной в ГОСТ Р 58400.3-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки». Для этого, используя статистические данные выделенных характерных городов: Аммана, Акабы, Ирбиды и Маана, – были выполнены расчеты для верхнего слоя покрытия (ВСП) и нижнего слоя покрытия (НСП). В виду значительного объема расчетных данных, представляющих собой температурные массивы, рис.3, была разработана программа-счетчик в Excel, интерфейс программного продукта имеет следующий вид, рис. 5.

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	З	И	Л	М	Н	О	П	Р	С
70																		
71																		
72	Годовые градусы, тыс. °C																	
73	DD	=	5,069															
74																		
75	Исходная максимальная расчетная температура ВСП, °C																	
76	T _{исх}	=	68,50															
77																		
78	Годовой коэффициент вариации максимальной расчетной температуры, %																	
79	CVP _G	=	0,82															
80																		
81	Максимальная расчетная температура ВСП с надежностью 98%, °C																	
82	T ₉₈	=	69,66															
83																		
84	Максимальная расчетная температура слоя, расположенного на глубине Н от поверхности с надежностью 98%, °C																	
85	T(H) ₉₈	=	64,76															
86																		
87	Скорректированная максимальная температура ВСП с надежностью 98%, °C																	
88	TK ₉₈	=	79,96															
89																		
90	Скорректированная максимальная температура слоя, расположенного на глубине от поверхности дороги с надежностью 98%, °C																	
91	TK(H) ₉₈	=	75,06															
92																		
93																		

Рис. 5. Интерфейс программного продукта для расчета марок PG битумного вяжущего

Fig. 5. Software product interface for calculating PG grades of bitumen binder

Анализ климатических условий Иордании продемонстрировал, что для ряда территорий характерны отрицательные температуры, что необходимо учитывать при выборе битумного вяжущего, с целью минимизировать вероятность возникновения не только деформации покрытия в летний период, но и предотвратить температурное и усталостное трещинообразование.

Назначение марки битумного вяжущего для условий Иордании. На основе полученных результатов расчёта минимально допустимыми к применению в конструктивных слоях дорожной одежды Иордании являются расчетные марки битумных вяжущих, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Расчетная марка битумного вяжущего PG для Иордании

Table 2. Design grade of bitumen binder PG for Jordan

Иордания			Саудовская Аравия, Оман, Катар, Ливан
город	расчетная марка PG		
	ВСП	НСП	
Амман	PG 79,9-1,03	PG 75,06-1,86	PG 64-10, PG 70-10, PG 76-10, PG 82-10, 76-4, 70-4, 64-4
Акаба	PG 84,3+4,5	PG 79,4+7,5	
Маан	PG 75,2-2,0	PG 70,0+0,5	
Ирбид	PG 80,0-1,3	PG 75,1+1,7	

Об адекватности полученных результатов можно судить на основе последнего столбца табл. 2. Как видно, страны Ближнего Востока строят свою транспортную инфраструктуру с применением высокомодифицированных битумных вяжущих, марки PG которых достаточно близки к полученным расчетным для условий Иордании.

Переход от расчетных к унифицированным маркам PG битумного вяжущего с шагом в 6°C, демонстрирует следующее:

	ВСП	НСП
Амман	PG 82-4	PG 76-4
Акаба	PG 88+2	PG 82+8
Маан	PG 76-4	PG 70-4
Ирбид	PG 82-4	PG 76-4

Таким образом, для Иордании целесообразно применение марок: PG 88+2 и PG 88+8 (не существующие в классификационной иерархии) для условий пустыни, PG 82-4, PG 76-4 и PG 70-4.

Корректность полученных результатов расчета подтверждается их сопоставлением с данными из технических презентаций по тематике развития Supergravel в странах Ближнего Востока. На основе выполненных теоретического анализа климатических условий страны и обширных расчетных операций по определению рекомендуемых расчетных марок битумного вяжущего была разработана карта районирования Иордании по PG маркам битумных вяжущих, рис.6.

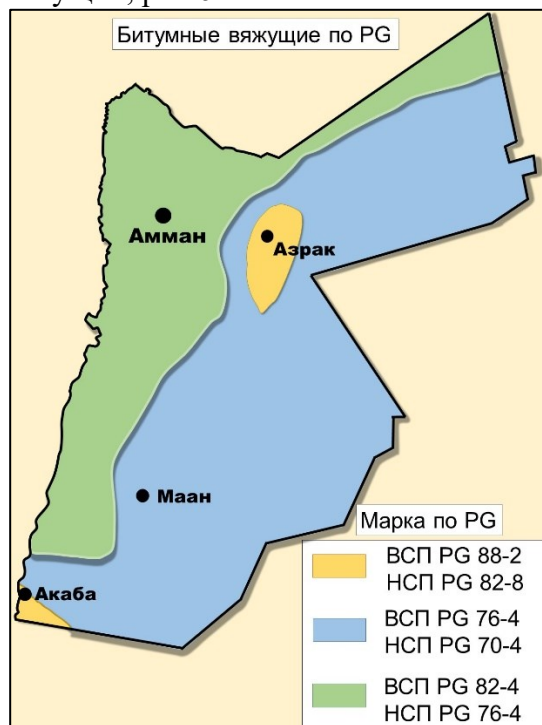


Рис. 6. Карта районирования Иордании по PG маркам битумных вяжущих

Fig. 6. Zoning map of Jordan by PG grades of bitumen binders

Стоит отметить, что в процессе анализа было выявлено 4 характерные климатические зоны, а расчет марок PG битумного вяжущего сократил зонирование до 3.

Вывод. Анализ климатических условий Иордании выявил, что с точки зрения строительства и эксплуатации транспортных объектов – это регион с экстремально высокими температурами. Было выделено 4 характерных типа климата, определивших целесообразные марки битумного вяжущего PG для верхних и нижних слоев покрытия дорожной одежды (ВСП и НСП). На основе выполненных теоретического анализа климатических условий страны и обширных расчетных операций по определению марок битумного вяжущего была разработана карта районирования Иордании по PG маркам битумных вяжущих.

Важным пунктом заключения, необходимо выделить, что вопрос перехода дорожников Иордании полностью на систему Supergravel – неоднозначен, для этого необходимы не только полный пересмотр технической базы отрасли и значительные инвестиции в нее (оборудование, материалы, обучение), но и всей производственной культуры

и философии. Переход же на использование в технологии приготовления асфальтобетонных смесей битумных вяжущих с фактическим диапазоном температур эксплуатации, позволит совершить значимый рывок на пути увеличения межремонтных сроков покрытий автомобильных дорог и сокращения образования и накопления на них пластических деформаций.

Принимая во внимание довольно высокие требуемые верхние значения PG-марок (88, 82 и 76), при разработке в лабораторных условиях рецептов битумных вяжущих целесообразно использовать модификаторы: резиновый порошок, СБС-полимеры, EVA, воска. Также возможна реализация концепции «Mix Design» в битумных системах и асфальтобетонных смесях на их основе. Основная идея концепции состоит в достижении синергетического эффекта посредством использования многокомпонентной системы вводимых добавок, каждая из которых выполняет свой функционал, а в совокупности рационально подобранной комбинации усиливает проектируемый эффект. В рассматриваемом случае, для получения высокомодифицированного битумного вяжущего, целесообразность использования комплексов, сложенных из пар компонентов «полимер-полимер», «полимер-воск» или «воск-резиновый модификатор» для достижения обозначенной цели – однозначна.

Библиографический список:

1. Koudougou S., Tubreoumya G., Toguyeni D. and Zaida T. Experimental Alternative to the Determination of the Thermal Dependence of the Complex Modulus of Asphalt Mixes in Dry Tropical Areas // *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2022. № 10. Pp. 275-286. DOI: 10.4236/jmmce.2022.103021.
2. Ilboudo P., Soro B., Dabilgou D., Kaboré B., Compaoré J., Kam S. and Bathiebo D. Experimental Study of the Evolution of Temperatures in Pavement Structures and Influence of Traffic on the RN1 in Burkina Faso in a Hot and Dry Climate // *Open Journal of Civil Engineering*. 2023. № 13. Pp. 303-316. DOI: 10.4236/ojce.2023.132023.
3. Koudougou S.M. and Toguyeni D.Y.K. Modeling of Pavement Behavior in Tropical Hot and Dry Conditions: Numerical Approach and Comparison on Road Section // *Journal of Materials Science & Surface Engineering*. 2020. № 7(1). Pp. 919-927.
4. Manal A. Impact of Aggregate Gradation and Type on Hot Mix Asphalt Rutting in Egypt // *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. 2013. № 3. 10 p.
5. Diouf B., Dione A., Faye P. and Cissé K. Influence of the Temperature on Coated Bituminous of Road Structures in Senegal (West Africa) // *Open Journal of Civil Engineering*. 2020. № 10. Pp. 321-336. DOI: 10.4236/ojce.2020.104025.
6. Ширяев А.О., Обухов А.Г., Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Полимерные модификаторы битумных вяжущих // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 11. С. 48-54. DOI 10.12737/article_5a001ab17b16b5.53910446.
7. Руденский А.В. Хромов А.С., Марьев В.А. Применение резиновой крошки для повышения качества дорожных битумов и асфальтобетонов // *Дороги России XXI века*. 2004. № 5. С. 62-71.
8. Zhu Y., Wang G., Tang M. and Zhang J. Advances in Aging and Anti-Aging Research on Rubber-Modified Asphalt and Asphalt Mixtures // *World Journal of Engineering and Technology*. 2022. № 10. Pp. 502-510. DOI: 10.4236/wjet.2022.103030.
9. Onoja A. and Alhassan H. The Effect of Evotherm on Hot Mix Asphalt // *Engineering*. 2019. № 11. Pp. 557-575. DOI: 10.4236/eng.2019.119039.
10. Mbida P., Kunwufine D., Bwemba C. and Mbessa M. Influence of the Partial Substitution of Bitumen by a Mixture of Sulphur and Tyre and Plastic Bottle Powders on the Behaviour of Bituminous Concrete // *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2023. № 11. Pp. 213-223. DOI: 10.4236/jmmce.2023.116016.
11. Ahmadiania E., Zargar M., Karim M.R., Abdelaziz M. and Shafigh P. Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt // *Materials & Design*. 2011. № 32. Pp. 4844-4849. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.06.016.
12. Manguene H., Squillace A., Filimone H. and Muiambo H. Physical and Thermo-Oxidative Characterization of Asphalt Modified with High Density Polyethylene and Recycled Engine Oil // *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2022. № 10. Pp. 73-86. DOI: 10.4236/msce.2022.105005.

13. Mr. Robert B. McGennis, Dr. Scott ShuEer, Dr. Hussain U. Bahia. Справочные данные по методам тестирования Битумных вяжущих Суперпейв (Superpave) в США № FHWA-SA-94-069 // Федеральное управление шоссейных дорог. США: Министерство транспорта США, 1994. 118 с.
14. Joffe G., Joffe E.G.H. Jordan in Transition. London: C. Hurst & Co. (Publishers) Lt, 2001. 240 p.
15. Гуреев А.А., Тюкилина П.М. Об эволюции нормативных требований к реологическим характеристикам дорожных вяжущих в России // Химия и технология топлив и масел. 2021. № 1(623). С. 46-48. DOI 10.32935/0023-1169-2021-623-1-46-48.
16. Дамье Е.Л., Зверева У.Е. Мнения: Практическое внедрение системы Superpave в России // Мир дорог. 2021. № 137. С. 84-87.
17. Blazejowski K., Olszacki Ja., Peciakowski H. Bitumnyj Spravocnik // ORLEN Asphalt sp. z o.o. – Plock, 2014. 142 p.
18. Scott S. A Improving Durability of Asphalt Mixtures // Applied Research and Innovation Branch. Department of Transportation Colorado, 2019. 42 p.
19. John I., Bangi M.R. and Lawrence M. Effect of Filler and Binder Contents on Air Voids in Hot-Mix Asphalt for Road Pavement Construction // Open Journal of Civil Engineering. 2021. № 11. Pp. 255-289. DOI: 10.4236/ojce.2021.113016.
20. Gismeteo прогноз погоды. Дневник погоды в Аммане [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/5409/> (дата обращения 07.11.2023)
21. Климат Иордании [Электронный ресурс] // World-globe.ru. URL: <http://www.world-globe.ru/countries/jordan/climate/?ysclid=lnsilhmuoy122468287> (дата обращения 07.11.2023)
22. Иордания. Годовое испарение [Электронный ресурс] // Bangkokbook.ru. URL: <https://bangkokbook.ru/galereya/iordaniya-karta-83-foto> (дата обращения 08.11.2023)
23. Ignite the spirit of exploration [Электронный ресурс] // National Geographic Society. URL: <https://education.nationalgeographic.org/> (дата обращения 08.11.2023)
24. Донин С. Дороги Ближнего Востока: от науки до практики [Электронный ресурс]. URL: <https://rmm.ru/dorozhnoe-stroitelstvo/23323-dorogi-blizhnego-vostoka-ot-nauki-do-praktiki.html> (дата обращения 07.11.2023)
25. Поспелов Е.М. Географические названия мира. Топонимический словарь / отв. ред. Р. А. Агеева. – 2-е изд., стереотип. М.: Русские словари, Астрель, АСТ, 2002. 512 с.
26. Густерин П.В. Города Арабского Востока. М.: Восток - Запад, 2007. 352 с.

References:

1. Koudougou S., Tubreoumya G., Toguyeni D. and Zaida T. Experimental Alternative to the Determination of the Thermal Dependence of the Complex Modulus of Asphalt Mixes in Dry Tropical Areas. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2022; 10: 275-286. DOI: 10.4236/jmmce.2022.103021.
2. Ilboudo P., Soro B., Dabilgou D., Kaboré B., Compaoré J., Kam S. and Bathiebo D. Experimental Study of the Evolution of Temperatures in Pavement Structures and Influence of Traffic on the RN1 in Burkina Faso in a Hot and Dry Climate. *Open Journal of Civil Engineering*. 2023; 13: 303-316. DOI: 10.4236/ojce.2023.132023.
3. Koudougou S.M. and Toguyeni D.Y.K. Modeling of Pavement Behavior in Tropical Hot and Dry Conditions: Numerical Approach and Comparison on Road Section. *Journal of Materials Science & Surface Engineering*. 2020; 7(1): 919-927.
4. Manal A. Impact of Aggregate Gradation and Type on Hot Mix Asphalt Rutting in Egypt. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. 2013; 3: 10.
5. Diouf B., Dione A., Faye P. and Cissé K. Influence of the Temperature on Coated Bituminous of Road Structures in Senegal (West Africa). *Open Journal of Civil Engineering*. 2020; 10: 321-336. DOI: 10.4236/ojce.2020.104025.
6. Shiryaev A.O., Obukhov A.G., Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. Polymer modifiers of bitumen binders. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017; 11: 48-54. DOI 10.12737/article_5a001ab17b16b5.53910446. (In Russ)
7. Rudensky A.V., Khromov A.S., Maryev V.A. Using crumb rubber to improve the quality of road bitumen and asphalt concrete. *Roads of Russia of the XXI century*. 2004; 5: 62-71. (In Russ)
8. Zhu Y., Wang G., Tang M. and Zhang J. Advances in Aging and Anti-Aging Research on Rubber-Modified Asphalt and Asphalt Mixtures. *World Journal of Engineering and Technology*. 2022; 10: 502-510. DOI: 10.4236/wjet.2022.103030.
9. Onoja A. and Alhassan H. The Effect of Evotherm on Hot Mix Asphalt. *Engineering*. 2019; 11: 557-575. DOI: 10.4236/eng.2019.119039.
10. Mbida P., Kunwufine D., Bwemba C. and Mbessa M. Influence of the Partial Substitution of Bitumen by a Mixture of Sulphur and Tyre and Plastic Bottle Powders on the Behaviour of Bituminous Concrete.

- Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering.* 2023; 11: 213-223. DOI: 10.4236/jmmce.2023.116016.
11. Ahmadi E., Zargar M., Karim M.R., Abdelaziz M. and Shafigh P. Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt. *Materials & Design.* 2011; 32: 4844-4849. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.06.016.
 12. Manguene H., Squillace A., Filimone H. and Muiaambo H. Physical and Thermo-Oxidative Characterization of Asphalt Modified with High Density Polyethylene and Recycled Engine Oil. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering.* 2022; 10: 73-86. DOI: 10.4236/msce.2022.105005.
 13. Mr. Robert B. McGennis, Dr. Scott ShuEer, Dr. Hussain U. Bahia. US Superpave Asphalt Binder Test Method Reference Data No. FHWA-SA-94-069. Federal Highway Administration. USA: US Department of Transportation. 1994; 118 p. (In Russ)
 14. Joffé G., Joffe E.G.H. Jordan in Transition. London: C. Hurst & Co. (Publishers) Lt. 2001; 240 p.
 15. Gureev A.A., Tyukilina P.M. On the evolution of regulatory requirements for the rheological characteristics of road binders in Russia. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils.* 2021; 1(623): 46-48. DOI 10.32935/0023-1169-2021-623-1-46-48. (In Russ)
 16. Damier E.L., Zvereva U.E. Opinions: Practical implementation of the Superpave system in Russia. *World Road.* 2021; 137: 84-87. (In Russ)
 17. Blazejowski K., Olszacki Ja., Peciakowski H. Bitumnyj Spravocnik. ORLEN Asphalt sp. z o.o. Plock. 2014; 142 p.
 18. Scott S. A Improving Durability of Asphalt Mixtures. Applied Research and Innovation Branch. Department of Transportation Colorado. 2019; 42 p.
 19. John I., Bangi M.R. and Lawrence M. Effect of Filler and Binder Contents on Air Voids in Hot-Mix Asphalt for Road Pavement Construction. *Open Journal of Civil Engineering.* 2021; 11: 255-289. DOI: 10.4236/ojce.2021.113016.
 20. Gismeteo weather forecast. Amman Weather Diary [Electronic resource]. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/5409/> (date of application 07.11.2023) (In Russ)
 21. Climate of Jordan [Electronic resource]. World-globe.ru. URL: <http://www.world-globe.ru/countries/jordan/climate/?ysclid=lnsilhmuoy122468287> (date of application 07.11.2023) (In Russ)
 22. Jordan. Annual evaporation [Electronic resource]. Bangkokbook.ru. URL: <https://bangkokbook.ru/galereya/iordaniya-karta-83-foto> (date of application 08.11.2023) (In Russ)
 23. Ignite the spirit of exploration [Electronic resource]. National Geographic Society. URL: <https://education.nationalgeographic.org/> (date of application 08.11.2023)
 24. Donin S. Roads of the Middle East: from science to practice [Electronic resource]. URL: <https://rcmm.ru/dorozhnoe-stroitelstvo/23323-dorogi-blizhnego-vostoka-ot-nauki-do-praktiki.html> (date of application 07.11.2023) (In Russ)
 25. Pospelov E.M. Geographical names of the world. Toponymic dictionary. resp. ed. R. A. Ageeva. – 2nd ed., stereotype. Moscow: Russian dictionaries, Astrel, AST. 2002; 512 p. (In Russ)
 26. Gusterin P.V. Cities of the Arab East. Moscow: East – West. 2007; 352 p. (In Russ)

Сведения об авторах:

Атоут Хассан Абделлатиф тахсин, аспирант, кафедра автомобильных и железных дорог; asdfghjklkjhgfdsa.8@yandex.ru

Катрич Ярослав Михайлович, аспирант, кафедра автомобильных и железных дорог; yaroslavkatrich@mail.ru

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра автомобильных и железных дорог; roruri@rambler.ru

Information about authors:

Atout Hassan Abdellatif tahsin, Post-graduate Student, Department of Automobile and Railways; asdfghjklkjhgfdsa.8@yandex.ru

Yaroslav M. Katrich, Post-graduate Student, Department of Automobile and Railways; yaroslavkatrich@mail.ru

Marina A. Vysotskaya, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Automobile and Railways; roruri@rambler.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 22.01.2024.

Одобрена после рецензирования / Reviced 17.02.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 17.02.2024.