

УДК 625.7

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
ТЕМПЕРАТУР ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

THE METHOD AND OUTCOMES OF AN EXTREME ROAD SURFACE
TEMPERATURES ESTIMATION FOR VARIOUS REGIONS
OF THE REPUBLIC OF BELARUS

ЛЕОНОВИЧ Иван Иосифович, Ivan Leonovich

доктор технических наук, БНТУ, г. Минск, Беларусь

МЕЛЬНИКОВА Ирина Сергеевна, Iryna Melnikova

магистр технических наук, аспирант БНТУ, г. Минск, Беларусь

тел. моб. + (375 29) 747 86 87; e-mail: rin_m@mail.ru

Погодно-климатические условия местности (температура воздуха, солнечная радиация, осадки и др.) оказывают большое влияние на работу автомобильных дорог и в частности асфальтобетонного покрытия. Их воздействие вызывает сдвиговые деформации при высоких положительных температурах и возникновение трещин при низких отрицательных температурах.

В конце 80-х годов в США при проектировании асфальтобетонных покрытий в системе «Superpave» впервые были учтены температурные пределы работы покрытия при выборе вяжущего через показатель «Performance grade (PG)». На основании многолетних климатических данных, зафиксированных на метеорологических станциях Республики Беларусь такие пределы установлены, а некоторые из них представлены в настоящей статье.

Climatic conditions of territory of a highway passage (air temperature, solar radiation) influence work of asphalt concrete pavements. Their influence causes shear deformations at high positive temperatures and occurrence of cracks at low negative temperatures.

In the end of 80th years in the USA asphalt pavements designing system «Superpave» defined temperature limits of pavement work. There has been introduced the «Performance grade (PG)» parameter associated with the choice of binder. On the basis of long-term climatic data on territory of the Republic of Belarus such limits are determined.

ВВЕДЕНИЕ

Дорожные покрытия из теплых и горячих асфальтобетонных смесей подвержены не только нагрузкам от движущегося транспорта. Значительное влияние на их работу оказывают погодно-климатические условия района дислокации автомобильной дороги.

Как известно асфальтобетон проявляет свойства вязко-пластичного материала при положительных температурах и обладает свойствами упругого материала при отрицательных температурах. В летний период наиболее высоких температур воздуха поверхность асфальтобетонных покрытий нагревается до 50-60°C. В результате повышения температуры покрытия выше температуры плавления битума, происходит размягчение

асфальтобетона, что ведет к образованию волн, наплывов и колеи. В зимний период в результате охлаждения покрытия и расширении-сжатии возникают трещины температурного характера, проявляются отраженные трещины. В связи с этими неблагоприятными явлениями, при разработке мер по борьбе с образованием дефектов дорожных покрытий важной является оценка реальных температурных условий работы асфальтобетонных покрытий с учетом многолетних наблюдений, которые ведутся в Республике Беларусь РУП «Белдорцентр», Гидрометцентром, ГП «БелдорНИИ», БНТУ и другими организациями.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Погодно-климатические условия оказывают непосредственное влияние на выбор технологии и организации производства дорожных работ. На дороги воздействуют температура воздуха, солнечная радиация, атмосферные осадки, ветер, туман, гололедица и другие природные явления, которые являются объективной реальностью и в ряде случаев не могут быть устранены людьми. В этом случае необходимо искать инженерные решения, которые бы обеспечивали сооружениям необходимые технические и эксплуатационные качества, а также разрабатывать рекомендации дорожникам в виде мер, учитывающих особенности погодно-климатических факторов [1].

В летний период высоких положительных температур многократное воздействие солнечной радиации и температуры приводит, прежде всего, к возникновению сдвиговых дефектов дорожного покрытия в виде волн и колеи вследствие расплавления свободного битума в размягченном асфальтобетонном слое. Повреждение покрытия образуется под действием нормальной (вертикальной) F_n и сдвигающей (горизонтальной) F_t сил со стороны автомобиля (рис. 1) [2].

В зимний период воздействие погодно-климатических факторов вызывает в асфальтобетонных покрытиях растяжение от несвободного сжатия при охлаждении, деформации от изменения влажности асфальтобетона при частом переходе температуры через 0°C , изгиб покрытий вследствие неравномерного поднятия при промерзании и пучении грунта земляного полотна, а также из-за невозможности искривления монолитного покрытия при разности температур вверху и внизу покрытия [3]. Суточные колебания температур вызывают в асфальтобетонных слоях на цементобетонном основании не только горизонтальное перемещение в цементобетонном слое, но также являются причиной изгиба и коробления самой плиты, что создает сдвиговые и растягивающие напряжения в нижней части асфальтобетонного слоя над швом или трещиной (рис. 2) [4].

В общем случае в результате суточного колебания температур, явления расширения-сжатия, воздействия на дорожное покрытие солнечного излучения в покрытии сверху вниз возникают температурные трещины и проявляются отраженные трещины. Более того, несоответствие деформативных свойств битума реальным температурным условиям работы покрытий обуславливает недостаточную трещиностойкость асфальтобетонных слоев [5].

В связи с этими явлениями необходимо выявить степень влияния природных факторов на автомобильную дорогу в процессе ее эксплуатации, а также разработать конструктивные, материаловедческие и технологические рекомендации по усовершенствованию проектирования и строительства дорожных одежд, предотвращению возникновения повреждений покрытий под действием природно-климатических факторов.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ СОГЛАСНО МЕТОДИКЕ SUPERPAVE

Неудовлетворительное состояние автомобильных дорог в США привело в 80-х годах прошлого века к созданию специального комитета для решения этой проблемы. В состав комитета вошли ведущие специалисты транспортных компаний, работники с производства, ученые в области автомобильных дорог (эксперты в области проектировании, строительстве и эксплуатации дорог). В течение пяти лет, с октября 1987 по март 1993 гг., в рамках программы «The Strategic Highway Research Program (SHRP)» (стратегической программы исследований в области автомобильных дорог) ведущие специалисты по новейшим технологиям строительства, материалам и содержанию дорог искали технические решения для повышения безопасности дорог, улучшения их качества и сроков службы, а также экономии средств на строительство и содержание [6].

Стремление обеспечить максимальный срок службы асфальтобетонных покрытий ставило во главу угла подбор состава асфальтобетона с одновременным учетом двух факторов. Первый из них – летняя эксплуатация, когда материал, нагреваясь свыше 50°C, теряет свои прочностные свойства и образует колею, наплывы, сдвиги. Второй фактор – зимнее содержание, когда при низких температурах асфальтобетон становится очень прочным, но в то же время жестким, что ведет к образованию трещин в покрытии [7].

Исследования в рамках программы SHRP привели к созданию целой системы проектирования асфальтобетонных покрытий под названием «Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave)». Это система классификации материалов для приготовления асфальтобетонной смеси, проектирования самой смеси и анализа полученного состава, а также

оценки и прогнозирования работы слоя асфальтобетона в устроенном дорожном покрытии.

При эксплуатации автомобильных дорог функционально очень важно знать, в каких условиях «работает» асфальтобетонное покрытие – знать состав и интенсивность движения, погодно-климатические условия. В зависимости от значений климатических факторов и факторов условий движения существуют некоторые граничные пределы, в которых покрытие работает лучше всего, с меньшей вероятностью появления повреждений. Такая функциональная классификация асфальтобетона в зависимости от температуры окружающего воздуха и самого покрытия и была разработана в США в конце 80-х гг.

Пределы температур, в которых работает асфальтобетон, установлены в ходе работы по вышеупомянутой программе SHRP. Их отражает показатель «Performance grade» (PG), так называемый функциональный тип асфальтобетона, который характеризуется двумя температурами: максимальной и минимальной температурой покрытия. Например, в обозначении «PG 64–22» «64» – это максимальная температура покрытия, при которой может использоваться данное вяжущее в условиях невысокой интенсивности движения, «–22» – минимальная температура покрытия, при которой используемое вяжущее в любом случае не приведет к отказу. Таким образом, цифры показателя представляют собой наиболее экстремальные температуры, в пределах которых работает подбираемое по проекту вяжущее.

Главная цель классификации асфальтобетона и выбора вяжущего в соответствии с показателем PG – удостовериться, что битум будет работать корректно, определить тип асфальтобетона, который следует применять в данных климатических условиях. Суть системы PG:

- связать требования, предъявляемые к вяжущему, с требованиями к функционированию покрытия;
- учесть влияние климата через температуру покрытия и температуру при устройстве верхнего слоя покрытия;
- учесть явление технологического (кратковременного) и эксплуатационного (долговременного) старения.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ТЕМПЕРАТУР (ЭКТ)

Определение значений экстремального критерия температур (ЭКТ), он же – показатель PG в системе проектирования асфальтобетонных покрытий «Superpave», сводится к четырем основным шагам: анализу климатических данных, определению температуры покрытия, определению значений показателя функционального типа асфальтобетона (PG или ЭКТ), корректировке полученных значений.

1) Анализ климатических данных.

Климатические параметры, так называемые средние семидневные максимальные температуры воздуха и минимальные температуры воздуха каждого года, определяются в соответствии с данными метеорологических станций минимум за 20 лет. В США, на основании результатов измерений 6500 станций составлена карта температур PG для всей территории страны. Подобный анализ проделан для территории Республики Беларусь по данным «Белгидрометцентра» (рис. 3). По результатам измерений температуры воздуха в течение суток с 1989 по 2010 гг. определены максимальная средняя температура воздуха для периода семи календарных дней в каждом году и минимальная температура воздуха для каждого года. Далее определялась вероятность, с которой в одном году не будет превышен экстремум температуры. Расчет произведен статистическими методами, с использованием понятия обеспеченности. Для расчета принимались два порога – 50% и 98%.

Например, при анализе климатических данных за последние 20 лет 7-мидневный максимум в среднем для территории г. Минска установлен на уровне 28°C со стандартным отклонением 2°C, вычисленным по формуле (1), что означает – вероятность появления в году средней семидневной температуры выше 28°C составляет 50%. Но вероятность появления периода с температурой выше 32°C (28°C + 2 стандартных отклонения) составляет лишь 2%. Расчет аналогичен для минимальных температур: средняя температура составляет –22°C со стандартным отклонением 4°C, а для вероятности 98% минимальная температура составляет –30°C (–22°C – 2 стандартных отклонения).

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где s – стандартное отклонение; x_i – i -й элемент выборки; \bar{x} – среднее арифметическое выборки; n – объем выборки.

2) Определение температуры покрытия.

По полученным температурам воздуха рассчитывается температура дорожного покрытия по классической методике «Supergave». Расчетную максимальную летнюю температуру асфальтобетонного покрытия определяют на основе теоретического анализа условий эксплуатации автомобильных дорог с использованием математических моделей тепловых потоков и энергетического баланса, допущения типичных значений для солнечной адсорбции, передачи радиации через воздух, атмосферной радиации и скорости ветра. Рассчитывается она на глубине 20 мм от поверхности (2).

$$T_{\max(20.мм)} = 0,9545 \cdot (T_{\text{воз}} - 0,00618\varphi^2 + 0,2289\varphi + 42,2) - 17,78, \quad (2)$$

где T_{max} – максимальная расчетная температура асфальтобетонного покрытия на глубине 20 мм, °С; $T_{воз}$ – средняя из абсолютно максимальных температур воздуха в тени в семидневный период, °С; φ – северная широта в градусах. При выводе этой формулы приняты коэффициент поглощения солнечной радиации 0,9, коэффициент пропускания атмосферой солнечного излучения 0,81, атмосферное изменение 0,7 и скорость ветра 4,5 м/сек [8].

Минимальная температура покрытия определяется по двум методикам. Согласно первой, классической методике, температура на поверхности асфальтобетонного покрытия равна температуре окружающего воздуха. По второй методике, разработанной по «Стратегической программе дорожных исследований» SHRP, широко распространенной в США и Канаде, минимальная температура покрытия определяется по формуле (3).

$$T_{min} = 0,859T_{воз} + 1,7, \quad (3)$$

где T_{min} – минимальная температура покрытия, °С; $T_{воз}$ – минимальная температура воздуха, °С.

Результаты определения температуры покрытия для Минского района на основании климатических данных представлены в таблице 1.

3) Определение значений показателя ЭКТ.

На основании заранее определенных экстремальных температур определяется функциональный тип асфальтобетона PG или экстремальный критерий температур. Согласно техническим условиям «Superpave» спецификация по функциональному типу осуществляется в соответствии с табл. 2 с интервалом в 6°С [9].

В нашем случае значения ЭКТ (PG) составляют (рис. 4):

- для вероятности 50% установлены пределы от 44°С до –22°С;
- для вероятности 98% установлены пределы от 48°С до –30°С.

В обоих случаях минимальная температура определена классическим методом.

Согласно спецификации «Superpave» с учетом округления получим следующие функциональные пределы для условий г. Минска:

- для вероятности 50% ЭКТ 47–28;
- для вероятности 98% ЭКТ 52–28.

Как видим, принятые вероятности появления экстремальных температур имеет большое значение. Кроме этого статистического параметра, влияние на выбор значений ЭКТ также оказывает способ определения минимальной температуры покрытия – классический, либо расчетный.

4) Корректировка полученных значений.

Найденные на предыдущих этапах значения экстремального критерия температур для территории г. Минска учитывает только климатические условия без учета нагрузок от движения транспорта. Как известно,

длительные циклические нагрузки ведут к повышению жесткости вяжущего, т.е. в такому же эффекту, как при повышении температуры. Первоначальная система подбора функционального типа асфальтобетона предполагает так называемые «нормальные» условия движения, например, скорость движения транспортных средств 90 км/ч.

Однако было установлено, что в некоторых случаях необходимо повышение верхнего предела в значениях функционального типа. Эти случаи представлены в таблице 3.

Приведенные выше особые условия движения не влияют на требования по низким температурам для вяжущего.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПОКРЫТИЯ

В результате расчета на основе климатических характеристик Республики Беларусь установлены предельные значения температур, в которых работает асфальтобетонное покрытие. С учетом статистической обработки показатель функционального типа асфальтобетона в среднем для территории нашей республики составил с вероятностью 50% 46–34 и 98% 52–34.

Две цифры в показателе характеризуют экстремальные высшее и низшее значения температуры покрытия, при которых предполагается, что вяжущее будет работать соответствующим образом. Важно понимать, как получены эти значения.

Как упоминалось выше, за наибольшее значение температуры принят семидневный средний максимум температуры покрытия на глубине 20 мм от поверхности (так называемая максимальная температура, выбираемая при проектировании асфальтобетонной смеси). Однако в связи с тем, что температуры могут значительно отличаться из года в год, необходимо применять статистические методы обработки климатических данных, используя понятие обеспеченности. Обеспеченность данной максимальной температуры обозначает вероятность того, что конкретное значение не будет превышено в любой другой год [9].

К примеру, среднее значение наивысшей температуры покрытия для г. Бреста по результатам 20-летних наблюдений и расчетов составляет 46,4°C. Это означает, что в любом году существует 50% вероятность появления фактической температуры покрытия ниже данного значения и 50% шанс появления температуры покрытия выше полученного значения. Поэтому наивысшая температура покрытия для Бреста уровня 50% обеспеченности составляет 46,4°C. При 98% уровне обеспеченности высшая температура составит 50,1°C. Другими словами, в любом году существует 98% вероятность того, что максимальная температура покрытия в Бресте будет ниже 50,1°C.

Аналогичный подход используется в случае с низкими температурами. В этом случае, наименьшее значение температуры определяется как минимальная температура покрытия в определенном городе в рассматриваемом году. Например, для г. Гомеля средняя наименьшая температура покрытия составляет $-20,0^{\circ}\text{C}$. Следовательно, сама низкая температура покрытия на уровне обеспеченности 50% составляет $-20,0^{\circ}\text{C}$. При уровне обеспеченности в 98% эта температура будет равна $-24,7^{\circ}\text{C}$.

Также следует обратить внимание на то, что максимальная температура покрытия не совпадает с максимумом температуры воздуха, а определяется по формуле (2). В то же время минимальная температура покрытия принимается по классической методике равной минимальной температуре воздуха. В рассмотренном выше г. Гомеле, к примеру, средняя наивысшая температура воздуха составляет $37,5^{\circ}\text{C}$, что значительно ниже рассчитанной максимальной температуры покрытия в $53,5^{\circ}\text{C}$.

На рис. 5 показано распределение асфальтобетонов по показателю ЭКТ (функциональному типу PG) с учетом климатических особенностей для г. Минска. Уровню обеспеченности, к примеру, 76% соответствуют температуры $45,5^{\circ}\text{C}$ и $-23,8^{\circ}\text{C}$.

Важным также является вопрос, какой именно уровень надежности (обеспеченности) необходимо использовать при выборе вяжущего. Инженеры должны помнить, что при 50% обеспеченности существует шанс 50/50, что в любом году температура превысит или будет ниже запроектированной. В этом случае наиболее вероятно проявление сдвиговых деформаций или наоборот низкотемпературного трещинообразования через несколько лет. Поэтому необходимо определять значения температур при более высоком уровне обеспеченности, не менее 90%. В методике «Superpave» это не менее 95% для крупнейших магистралей.

Для определения значений температур с определенной обеспеченностью необходимо:

1) рассчитать по климатическим данным не менее чем за 20 лет, средние температуры самых теплых в году семи дней, определить самые низкие в году температуры;

2) рассчитать максимальные температуры покрытия на глубине 20 мм от поверхности по формуле (2);

3) полученные значения максимальных положительных и отрицательных температур округлить до десятых и расположить в порядке возрастания, каждому значению присваивая порядковый номер; в случае, когда несколько численных значений совпадают, этому значению присваивают средний порядковый номер.

4) по формуле Гаусса (4) рассчитать значения интегральных вероятностей для каждого члена полученного ряда;

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где P – эмпирическая обеспеченность, вычисляемая для каждого i -го значения переменной в зависимости от ее порядкового номера в ранжированном ряду; m – порядковый номер членов климатологического ряда; n – число членов ряда.

5) построить график кривой обеспеченности с координатами (P_i , x_i), по которой определяются значение параметра x (в нашем случае – температуры) в зависимости от значения вероятности P .

В условиях Республики Беларусь предлагается при определении показателя ЭКТ на республиканских автомобильных дорогах принимать уровень обеспеченности 95%, причем на магистральных дорогах считать этот показатель равным 98%.

По результатам расчета на основании климатических данных «Белгидрометцентр» за последние 20 лет для областных центров также были установлены пределы температур «работы» асфальтобетонного покрытия. Определены также эти пределы в соответствии с методикой «Supergave» (по табл. 2). Результаты представлены в табл. 4.

Таким образом, в зависимости от расположения областного центра, значения температурных пределов работы асфальтобетона в условиях нашей республики имеют некоторые отличия. Кроме того, можно выделить температурные зоны по показателю экстремального критерия температур (ЭКТ) (рис. 6).

Учитывать полученные критические «рабочие» температуры асфальтобетона необходимо на стадии проектирования смеси при выборе вяжущего с учетом вида смеси (горячая щебеночная, гравийная или песчаная, щебеночно-мастичная, теплая или холодная) и категории будущей автомобильной дороги [10, 11, 12, 13].

Что касается системы проектирования состава асфальтобетонной смеси «Supergave», то верхний температурный предел по показателю PG используется как температура проведения испытаний вяжущих реометром динамического сдвига (DSR), а нижний температурный предел – в испытаниях реометром изгиба балки (BBR) и прямого растяжения (DDT).

В работе [14] описано соотношение между максимальной и минимальной критическими температурами и широко известным нам испытанием на температуру размягчения. Однако следует учитывать, что эта зависимость была получена в ходе исследований компании BP Bitumen на асфальтобетонных образцах, производимых самой компанией. Поэтому необходимо с осторожностью относиться к полученным зависимостям, особенно с позиции того, что асфальтобетон производится по различным технологиям и битум используется из различных видов нефти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Погодно-климатические условия территории дислокации автомобильной дороги (температура воздуха, солнечная радиация, осадки) оказывают большое влияние на работу асфальтобетонного покрытия. Высокие температуры в летний период приводят к сдвиговым деформациям, а низкие отрицательные температуры зимой часто способствуют образованию трещин в покрытии.

2. Созданная в США система проектирования асфальтобетонных покрытий «Supergrave» ставила во главе подбор состава битумов с одновременным учетом летней эксплуатации и зимнего содержания дорог, реальных условий эксплуатации дорог. Были установлены температурные пределы, в которых работает асфальтобетонное покрытие для различных регионов страны, что в итоге привело к созданию спецификации асфальтобетонов по функциональному типу.

3. Применительно к условиям Республики Беларусь на основании климатических данных за последние 20 лет расчет по методике «Supergrave» показал, что наши асфальтобетонные покрытия работают в среднем по республике в пределах от 52°C до –34°C при уровне обеспеченности 98%, который соответствует дорогам первой, второй и третьей категорий, и в пределах от 46°C до –34°C с уровнем обеспеченности 50%, что соответствует дорогам ниже третьей категории.

4. При проектировании состава асфальтобетонной смеси, в частности для выбора вяжущего, необходимо рассматривать также и температурные режимы работы покрытия с учетом экстремального критерия температур (ЭКТ). В этом случае с определенной уверенностью можно говорить о долгой работе вяжущего в покрытии без образования повреждений, особенно в летний период и зимой.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Леонович, И. И., Мельникова, И. С. Погодно-климатические условия и их учет при выборе технологии и организации дорожных работ // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть.

2. Бонченко, Г. А. Асфальтобетон: сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. – М. : Машиностроение, 1994. – 176 с.

3. Веренько, В.А. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В.А. Веренько. – Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2008. – 304 с.

4. Nunn, M., An investigation of reflection cracking in composite pavements in the United Kingdom, Proceedings of 1st International RILEM

Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control, Liege University, Belgium, Edited by J. M. Rigo et al., March 1989.

5. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог: В 2 т. – Т. 2: / А. П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия». 2010. – 320 с.

6. McDonnell, Anne-Marie, Strategic Highway Research Program (SHRP). Activities in Connecticut. Connecticut Department of Transportation, Report № СТ-1213-F-01-10, November 2002.

7. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв / Б. С. Радовский // Дорожная техника. – 2007. – № 1. – С. 86-99.

8. Телтаев, Б. Б. Учет климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей / Б. Б. Телтаев, Е. В. Калинович, Г. Г. Измайлова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – С. 17-20.

9. A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. National cooperative highway research program, Report № 673. Transportation research board, Washington, D. C., 2011.

10. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033-2004. – Введ. 01.01.2005. – Минск: Минстройархитектуры, 2005. – 40 с.

11. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия: ГОСТ 22245-90. – Введ. 01.01.1991. – Министерство нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР, 1991. – 12 с.

12. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия: СТБ 1062-97. – Введ. 01.07.1997. – Минск: Минстройархитектуры, 1997. – 28 с.

13. Битумы модифицированные дорожные. Технические условия: СТБ 1220-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 24 с.

14. Claxton M. J., Green P. J. The Classification of Bitumens and Polymer Modified Bitumens Within the SHRP Performance Grading System. UK Institute of Asphalt Technology Yearbook, 1999.

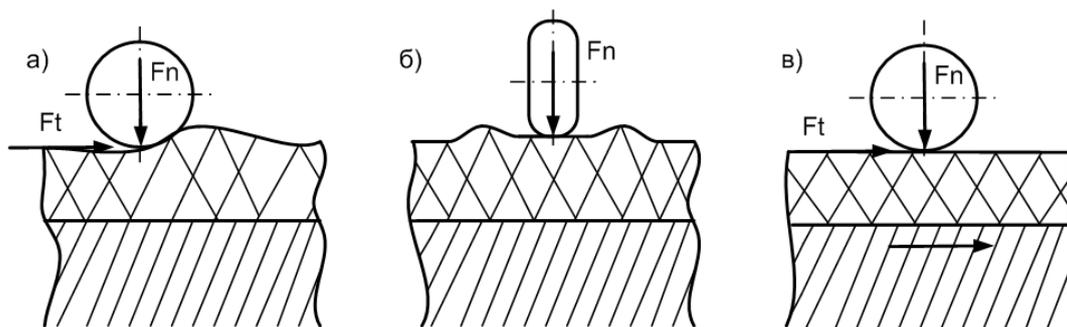


Рисунок 1 – Сдвиг дорожного покрытия под действием сил со стороны колеса автомобиля: а – на участках торможения, образуются поперечные волны; б – на перегонах, образуется остаточная деформация в виде колеи; в – при торможении, скольжение покрытия относительно основания.

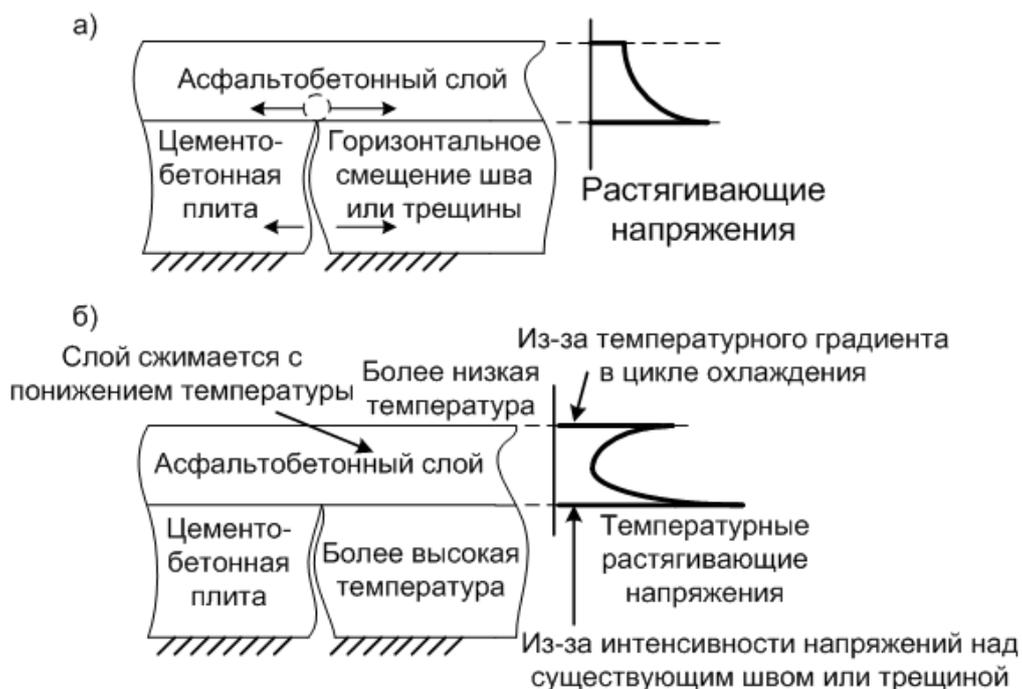


Рисунок 2 – Напряжения в асфальтобетонном слое покрытия на цементобетонном основании, вызванные суточными колебаниями температуры: а – при сжатии основания; б – при сжатии верхнего слоя покрытия.

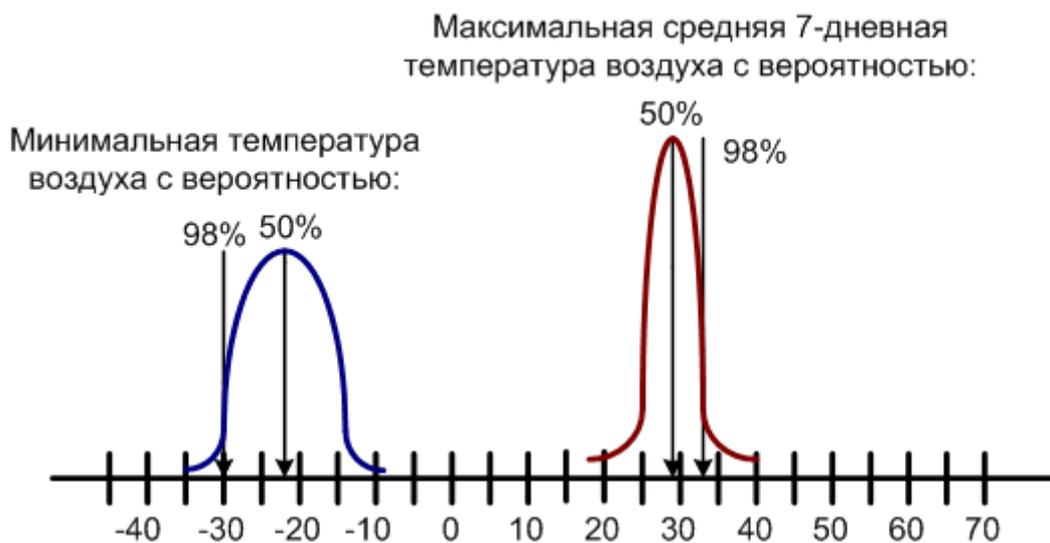


Рисунок 3 – Минимальные и максимальные температуры воздуха в зависимости от принятой вероятности для территории г. Минска

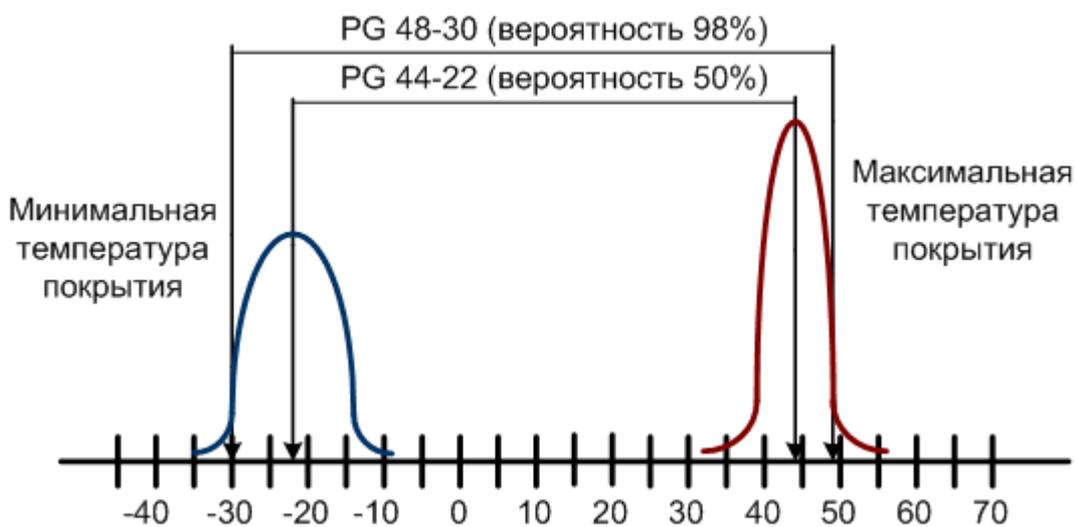


Рисунок 4 – Минимальные и максимальные температуры покрытия для г. Минска

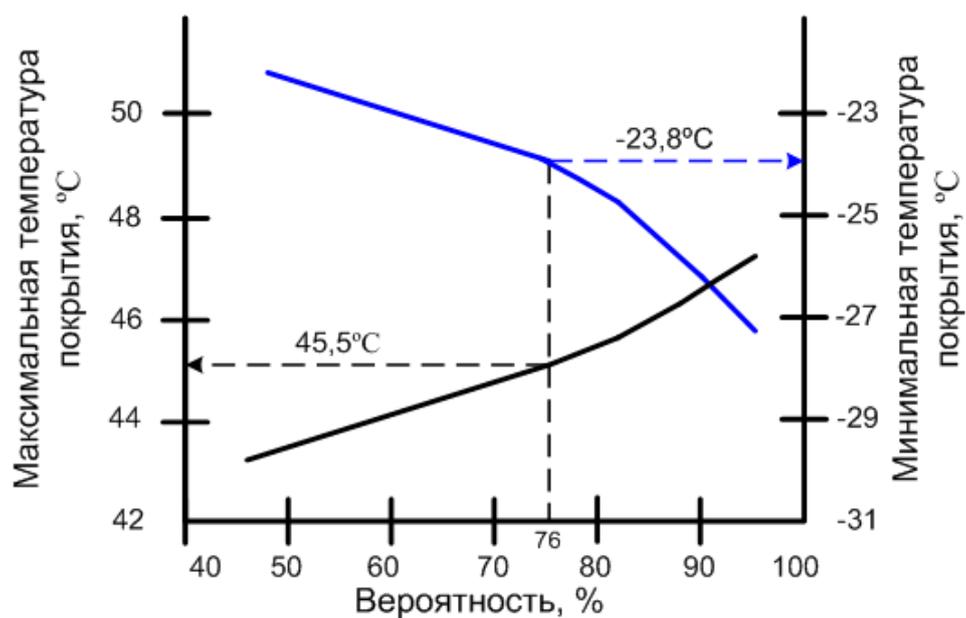


Рисунок 5 – Пределы «работы» асфальтобетона в климатических условиях г. Минска

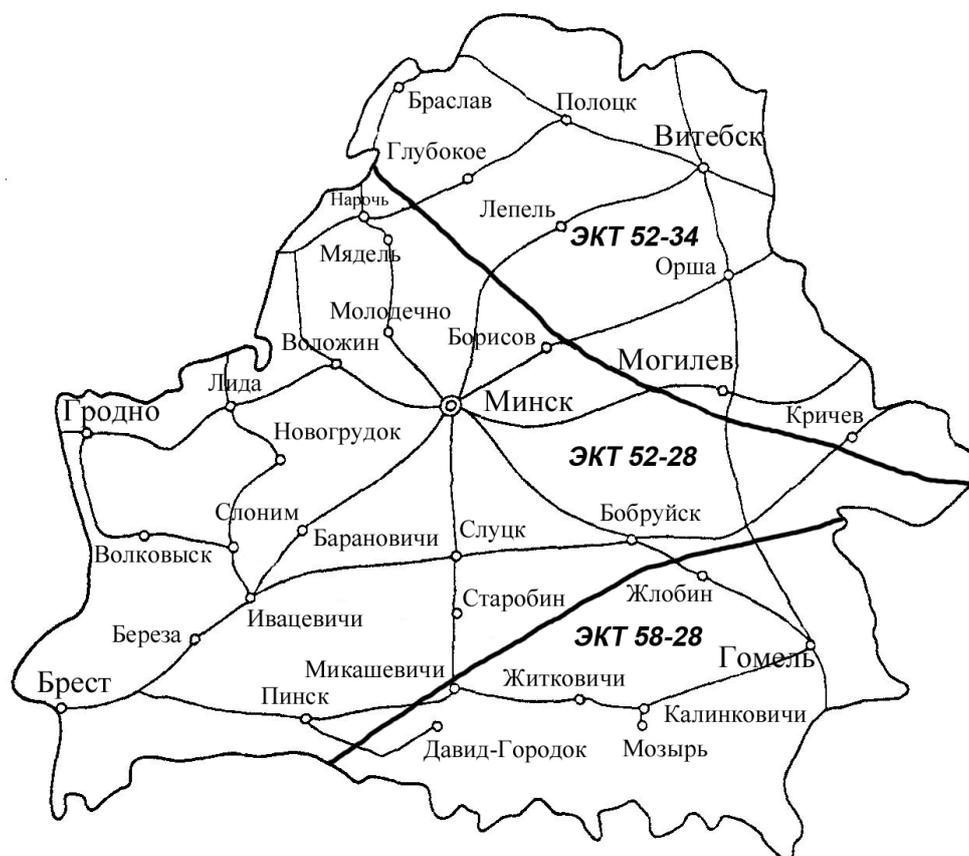


Рисунок 6 – Районирование территории Республики Беларусь по показателю ЭКТ

Таблица 1 – Результаты расчета температуры покрытия для территории г. Минска

Температура воздуха		Температура покрытия	
Средняя максимальная температура 7-ми дней, °С		Максимальная температура покрытия на глубине 20 мм, °С	
вероятность 50%	28	44	
вероятность 98%	32	48	
Минимальная температура воздуха, °С		Минимальная температура покрытия, °С	
вероятность 50%	-22	-22	классически
		-17	по расчету
вероятность 98%	-30	-30	классически
		-24	по расчету

Таблица 2 – Спецификация функционального типа асфальтобетона по «Superpave»

Максимальная температура покрытия, закладываемая при проектировании, °С	Минимальная температура покрытия, закладываемая при проектировании, °С
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

Таблица 3 – Корректировка верхнего предела PG (ЭКТ)

Особые условия движения	Повышение верхнего предела, °С
Ожидается медленное движение транспортных средств	6
Ожидается остановка транспортных средств	12
Ожидается (по проекту) интенсивное движение транспортных средств:	
- 10–30 млн. ESAL	6
- свыше 30 млн. ESAL	12
Ожидается медленное интенсивное движение транспортных средств	12

Примечание: ESAL – Equivalent Single Axle Load – стандартная нагрузка на одиночную ось 80 кН.

Таблица 4 – Полученные значения экстремального критерия температур (ЭКТ)

Областной центр	ЭКТ по расчету	Скорректированный ЭКТ
г. Брест	ЭКТ 51-26	ЭКТ 52-28
г. Гродно	ЭКТ 49-28	ЭКТ 52-28
г. Витебск	ЭКТ 51-31	ЭКТ 52-34
г. Могилев	ЭКТ 49-31	ЭКТ 52-34
г. Гомель	ЭКТ 54-25	ЭКТ 58-28
г. Минск	ЭКТ 47-28	ЭКТ 52-28