

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ**

*Жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн жыйынтыгы боюнча асфальбетондук каптамдарын долбоорлоодо тоо аймагынын мүнөздүү өзгөчөлүктөрүн эске алууну сунуштаган.*

*По результатам проведенных исследований предлагается учитывать характерные особенности горной местности при проектировании асфальтобетонных покрытий.*

*By results of the spent researches it is offered to consider prominent features of mountain district at designing asphalt concreteac`s coverings.*

Одна из характерных тенденций в строительстве асфальтобетонных покрытий — дифференциация требований к прочностным и деформативным характеристикам конструктивных слоев покрытий на основе детального учета особенностей климатических условий района строительства и ожидаемых условий эксплуатации. Для обеспечения научной основы назначения эффективных конструктивных и технологических решений необходимо развивать методы моделирования работы асфальтобетонных покрытий в разных условиях.

Значительное разнообразие климатических и эксплуатационных условий, сложный характер деформационного поведения асфальтобетона, наличие переменного температурного градиента в слое покрытия, широкий диапазон вариаций свойств асфальтобетона в зависимости от температуры и режима нагружения, а также нестационарный режим изменения несущей способности в период эксплуатации всей конструкции в целом вызывают необходимость проведения многофакторного анализа с применением электронно-вычислительной техники при исследовании работы асфальтобетонных покрытий. Алгоритмы и программы для этих целей создаются в ряде стран .

В общем виде блок-схема алгоритма должна обеспечивать установление эквивалентности транспортных нагрузок различного значения и расчетной интенсивности движения, определение температурного режима покрытия, учет совместного воздействия транспорта и климатических факторов, учет вариаций свойств применяемых материалов, определение приведенной продолжительности работы рассматриваемой конструкции в расчетных условиях, определение требуемых показателей качества материалов, срока службы и состояния конструкции и т.п.

Алгоритм программы по анализу влияния климатических и эксплуатационных условий на работу асфальтобетона в дорожных покрытиях, разработанный в ГипродорНИИ, включает определение: приведенной интенсивности движения (блок № 1), температурного режима

покрытий (блок № 2), вариаций свойств асфальтобетона в покрытии (блок № 3), напряжений и деформаций в покрытиях из асфальтобетона (блок № 4), приведенного срока службы покрытия в расчетных режимах (блок № 5), расчетных характеристик асфальтобетона (блок № 6), требуемой прочности и деформативности асфальтобетона (блок № 7), роста повреждений асфальтобетонных покрытий за срок службы (блок № 8), требуемых характеристик битумов (блок № 9). Кроме того, этот алгоритм обеспечивает сравнительный технико-экономический анализ вариантов строительства покрытий (блок № 10).

В блок № 1 вводят следующие исходные данные: фактическая интенсивность по  $i$  группам автомобилей, коэффициент приведения 1-й группы автомобилей, ширина проезжей части, число полос движения, годовой прирост интенсивности движения, срок службы покрытия. Определяемая величина — фактическая приведенная интенсивность движения, которая рассматривается по известным интенсивности и составу движения на участке.

Для упрощения расчетов неоднородный поток реальных автомобилей приводят к однородному расчетному потоку. Значения коэффициентов приведения автомобилей разного веса при расчете на трещиностойкость применяют в соответствии с инструкцией ВСН 46-82. При анализе асфальтобетонных покрытий на сдвигоустойчивость это приведение основано на том, что пластическая деформация прямо пропорциональна действующей нагрузке. В общем случае фактическая интенсивность движения и число расчетных автомобилей принимают в зависимости от категории дорог. Необходимо учитывать, что транспортный поток распределяется по ширине проезжей части и расчетные усилия возникают в каждой точке только от некоторой части проезжающих автомобилей. Поэтому фактическую интенсивность движения умножают на коэффициент распределения дорог в поперечном направлении, который зависит от ширины проезжей части, интенсивности и числа полос движения.

Годовой прирост интенсивности движения принимают согласно усредненным проектным данным, срок службы асфальтобетонных покрытий (в качестве расчетного) — равным сроку между двумя капитальными ремонтами, что составляет 15-20 лет. При расчете прочности покрытия на длительный срок учитывают возрастание интенсивности движения во времени. Поэтому фактическая приведенная интенсивность должна быть увеличена на коэффициент, учитывающий рост интенсивности движения в течение срока службы.

В блоке № 2 по определению температурного режима асфальтобетонных покрытий расчет ведут на основе следующих положений: 1) температура покрытия зависит главным образом от температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации; 2) изменение температур воздуха, а следовательно, и покрытий, имеет нестационарный циклический характер с длительностью периода колебаний 1 день, 1 месяц, 1 год; 3) изменение температур воздуха и поверхности покрытия зависит от значительного числа

факторов. Анализ радиационного режима приземного воздуха и поверхности покрытия позволил выявить, что основным фактор, определяющий температурный режим воздуха и покрытий, в течение года — высота солнца над горизонтом. Температура покрытия на глубине изменяется по экспоненциальному закону и зависит главным образом от температурного перепада на поверхности покрытия. В качестве исходных данных в блок № 2 вводят среднемесячную температуру воздуха в градусах Цельсия, высоту солнца над горизонтом для различных широт в полдень, вероятность солнечного сияния, продольный уклон дороги и азимут, отсчитываемый от линии север — юг.

Определяемые величины — температуры поверхности покрытия в солнечную погоду (для каждого месяца года), температуры покрытия на глубине в солнечную, а также в пасмурную погоду.

В качестве исходных данных в блоке № 3 по определению вариаций свойств асфальтобетонов задают коэффициент теплоустойчивости асфальтобетона, динамический модуль упругости при 0 °С, динамический модуль упругости основания (эквивалентный). Кроме того, вводят из других узлов значения среднемесячной суточной температуры воздуха и значения температуры покрытия в солнечную и пасмурную погоду на различной глубине (из блока № 2).

Определяемые величины — динамические и статические модули упругости при различных температурах, пластичность асфальтобетона, вязкость при различных температурах и эквивалентный динамический модуль упругости основания (в зависимости от его типа). Динамический модуль упругости асфальтобетона при 0° С задают с учетом типа смеси и расчетной длительности загрузения. Динамический модуль упругости основания определяют с учетом его вариаций из-за промерзания зимой и размягчения при переувлажнении. Пластичность асфальтобетона в различные периоды срока службы покрытия устанавливают в зависимости от температуры покрытия по месяцам года. Динамические модули упругости покрытия и его вязкости на различной глубине определяют с учетом температуры асфальтобетона в данном слое.

В блоке № 4 по определению напряжений и деформаций в слое покрытия в качестве исходных данных задают коэффициент линейного температурного расширения, давление в шинах расчетного автомобиля, ровность в продольном направлении (характеризуется просветом под 3-метровой рейкой), диаметр следа колеса расчетного автомобиля, коэффициент перехода от растягивающих напряжений в нижнем слое к верхнему, коэффициент перегрузки для верхнего слоя, коэффициент Пуассона для асфальтобетона, коэффициент, определяемый характером движения на участке, коэффициент, характеризующий влияние продольного уклона, продольный уклон участка дороги. Кроме того, из других узлов вводят значения статических и динамических модулей упругости покрытия, динамических модулей упругости основания, средние дневные температуры

покрытия на разной глубине, среднесуточную температуру воздуха, толщину покрытия.

Определяемые величины: суммарные напряжения в асфальтобетоне, а также относительная деформация его растяжения, динамические прогибы и напряжение сдвига в покрытии.

В качестве исходных данных в блоке № 5 по определению приведенного срока службы покрытия задают число рабочих дней в году, вероятность солнечного сияния по месяцам, долю интенсивности, приходящейся на утренние часы, длительность однократного нагружения при проходе расчетного автомобиля, коэффициент усталости асфальтобетона. Кроме того, вводят из других блоков значения модулей упругости и напряжения в асфальтобетоне на различной глубине, среднесуточную интенсивность движения на 1-й год службы, вязкость асфальтобетона при 50 °С и при температурах поверхности покрытия.

Число циклов приложения нагрузки до разрушения для 1-го периода при известных значениях модуля упругости и напряжений для верхней и нижней части слоя определяют с учетом коэффициента напряженности дорожного покрытия для каждого отдельного периода эксплуатации, а также для приведенного числа циклов приложения нагрузки в солнечные и пасмурные дни. Приведенный срок службы по условию сдвигоустойчивости определяют также суммированием продолжительности расчетного периода для условий солнечной и пасмурной погоды.

В блоке № 6 по определению расчетных характеристик асфальтобетона в качестве исходных данных задают параметр, учитывающий релаксационные явления в асфальтобетоне, коэффициент, определяемый технической категорией дороги, и коэффициент условий работы покрытия. Кроме того, вводят из других узлов значения толщины слоя покрытия, динамические модули упругости асфальтобетона при 0 °С и модули слоев основания, диаметр следа колеса расчетного автомобиля, расчетное давление колеса, коэффициент усталости и теплоустойчивости асфальтобетона.

Расчетный модуль упругости асфальтобетона, характеризующий общие условия работы его в данном климатическом районе при заданном сочетании эксплуатационных факторов, определяют с учетом коэффициента условий работы.

В качестве исходных данных в блоке № 7 по определению требуемой прочности и деформативности асфальтобетона задают коэффициент неоднородности асфальтобетона, коэффициент, зависящий от заданного уровня эксплуатационной надежности, расчетный срок службы асфальтобетона, допустимую высоту неровностей на покрытии, шаг неровностей и коэффициент, учитывающий условия испытания. Кроме того, вводят из других узлов расчетное напряжение в асфальтобетоне и коэффициент усталости асфальтобетона, число расчетных циклов нагружения в год, годовую расчетную длительность действия нагрузки, толщину покрытия и напряжения сдвига на поверхности покрытия.

Коэффициент неоднородности асфальтобетона по прочности задают в соответствии с фактическими данными об однородности материала или по средним значениям, характерным для данного состава и способа приготовления смеси.

Коэффициент, характеризующий заданный уровень эксплуатационной надежности, определяют в зависимости от требований к условиям поезда и используют для установления коэффициента запаса прочности. Статический расчет показывает, что задавая коэффициент эксплуатационной надежности равным 1, 2 и 3, уровень надежности покрытия при коэффициенте надежности 0,13 обеспечивается соответственно равным 68,7; 95 и 99 %.

Расчетный срок службы асфальтобетонного покрытия задают в программе равным 6, 12, 18 и 24 годам, что соответствует нормативным срокам службы между средними (6 и 12 лет) и капитальным (18 лет) ремонтами покрытий, а также среднему максимальному сроку службы (24 года) асфальтобетона по усредненным данным наблюдений.

Допустимую высоту неровностей покрытия определяют в программе из следующего допущения — высота неровностей по соображениям динамики взаимодействия автомобиля с дорогой должна быть такой, чтобы коэффициент динамичности возрастал за срок службы не более чем на 50 %.

Показатель прочности асфальтобетона определяют по критерию трещиностойкости дорожного покрытия, а прочность асфальтобетона при сжатии - по критерию сдвигоустойчивости с учетом расчетного срока службы, уровня надежности и показателя однородности асфальтобетона.

В блоке № 8 по расчету роста повреждений асфальтобетонных покрытий за срок службы в качестве исходных данных задают требуемые прочности асфальтобетона при изгибе и сжатии, расчетный срок службы покрытия, коэффициент неоднородности асфальтобетона, среднюю прочность асфальтобетона соответственно при изгибе и сжатии. В результате расчета определяют развитие повреждений покрытия за сроки службы от 1 года до 24 лет.

Зная вариации прочности асфальтобетона в покрытии и задавая в качестве исходных данных среднюю прочность образцов асфальтобетона и коэффициент неоднородности, по формуле функции нормального распределения вычисляют данные о распределении прочностных показателей асфальтобетона по площади покрытия.

Площадь повреждений в процентах от общей площади покрытия устанавливают последовательной подстановкой значений прочности, соответствующих различной длительности эксплуатации.

В качестве исходных данных в блоке № 9 по определению требуемых реологических характеристик битумов используют величины, вводимые из других узлов: среднемесячные температуры на поверхности покрытия в июне и температуру воздуха в январе, высоту солнца над горизонтом на 15 января, расчетное напряжение в верхнем слое покрытия, расчетный модуль упругости верхнего слоя покрытия, число циклов приложения нагрузки за расчетный срок службы покрытия, коэффициент усталости асфальтобетона.

Кроме того, задаются объемной концентрацией битума в асфальтобетоне, в которой определяемыми величинами служат требуемый интервал пластичности битума, оптимальная марка битума и требуемая предельная растяжимость битума.

Требуемый интервал пластичности битума вычисляют как разность между расчетными температурами поверхности покрытия в июле в солнечную погоду и зимой. Марку битума устанавливают исходя из требуемой вязкости битума при 60 °С.

Предельную деформацию растяжения битума определяют в зависимости от типа смеси, т.е. от объемной концентрации битума в смеси. Разнообразие климатических и эксплуатационных условий работы асфальтобетонных покрытий с учетом характера движения, расположения слоя и капитальности дорожной одежды обуславливает необходимость дифференцирования требований к свойствам асфальтобетонов покрытия.

В связи со значительным влиянием свойств битумов на свойства асфальтобетонов, определяющих в немалой степени такие показатели, как пластичность, прочность, теплоустойчивость и другие, необходим также дифференцированный выбор и битумов.

Основные реологические параметры, определяющие эксплуатационное поведение битума в конкретных условиях, - интервал пластичности, консистенция (вязкость) и предельная растяжимость.

Для строительства дорожных одежд необходимо применять битумы, интервал пластичности которых соответствует реальному диапазону температур, характерному для данного конструктивного слоя в период эксплуатации дорожной одежды.

Учитывая изменение вязкости асфальтобетона по толщине слоя, для обеспечения одинаковой консистенции материала необходимо через каждые 5 см глубины переходить на битум с вязкостью в 5-8 раз меньшей. Так как в пасмурную погоду и зимой градиент температур в слое покрытия незначителен, то при установлении марки битума нужно учитывать приведенную продолжительность периодов эксплуатации с различным градиентом температур.

В то же время, как показывает анализ напряженного состояния материала в покрытии, сжимающие напряжения снижаются с глубиной, а растягивающие в нижнем слое тем меньше, чем меньше жесткость асфальтобетона в этом слое. Следовательно, целесообразно применять маловязкие и жидкие битумы для нижних слоев, граничащих с несвязанными слоями дорожной конструкции. Так, в целях обеспечения равных условий работы по напряженному состоянию для устройства асфальтобетонных слоев, расположенных на глубине 8-10 см, нужно использовать битум с вязкостью в 5-10 раз меньшей, чем в верхнем слое, а на глубине 10-20 см — в 10-20 раз меньшей. На основании данных анализа работы асфальтобетона в покрытиях могут быть определены требования к вязкости битума при температуре испытания, например 60 °С, и установлена его марка,

рекомендуемая для конкретного района территории страны на дорожно-климатические зоны по грунтово-гидрологическим условиям.

Необходимость в дифференцированном выборе вяжущего по конструктивным слоям дорожной одежды очевидна. Выбор вяжущего определяется условиями работы материала в конструкции дорожной одежды. Учет температурного режима и напряженного состояния в конструктивных слоях дорожной одежды обуславливает правильный выбор марки вяжущего. В среднем с увеличением глубины слоя на каждые 5 см следует применять битум на одну-две марки ниже по консистенции.

Выбор марки битума и рекомендация в отношении интервала пластичности должны быть дифференцированы с учетом климатических условий района строительства дороги.

При отсутствии температурного градиента для обеспечения эквивалентной работоспособности слоев, подвергающихся воздействию разных по значению напряжений (убывающих с глубиной), тоже целесообразно применять битум на одну-две марки ниже при увеличении глубины расположения слоя на 5 см.

Анализ температурного режима работы асфальтобетонных покрытий и определения необходимых характеристик битумов для различных климатических условий позволил выявить географические зоны с близкими условиями, для каждой из которых могут быть установлены определенные средние значения этих характеристик. Выявление такой зональности показало, что применительно к дорожным битумам и асфальтобетонам необходимо районированием учитывать не только географическую широту жесткости, но и континентальность климата. При расчетах была принята типовая конструкция дорожной одежды, средние показатели качества асфальтобетона, «стандартные» условия движения (прямой горизонтальный участок дороги без перекрестков) при заданном сроке службы 18 лет.

Так, например, увеличение интенсивности движения вдвое потребует повышения прочности асфальтобетона на 10-15 % во всех климатических зонах. Срок службы покрытия следует учитывать при выборе асфальтобетона только для устройства покрытий, расчетный срок службы которых может отличаться от нормативного, принятого для дорог общей сети, в континентальности климата в пределах зон, оказывающих существенное влияние на работу асфальтобетонных покрытий.

Дифференцирование требований к деформативности и прочности асфальтобетонов дает основу для оптимальных проектных и технологических решений при строительстве дорог с асфальтобетонными покрытиями с учетом климатических и эксплуатационных условий региона. Дифференцирование требований к асфальтобетону, проводимое по критериям трещиностойкости покрытия и сдвигустойчивости и учитывающее особенности условий эксплуатации, опирается на анализ прочности и деформативности асфальтобетона для различных климатических и эксплуатационных условий.

Обследования состояния асфальтобетонных дорожных покрытий показывают, что один из наиболее распространенных видов повреждений — трещины. Как отмечалось, в районах II—III климатических зон трещины составляют до 80 % от общего числа дефектов дорожных покрытий; причем появление трещин нередко наблюдается уже на 2-3-й год эксплуатации, что свидетельствует о недостаточной (для данных условий) эксплуатации прочности и деформативности асфальтобетона. Преимущественное появление пластических деформаций на асфальтобетонном покрытии в IV климатической зоне и интенсивное их развитие (нередко уже в первые годы эксплуатации) указывает на недостаточную вязкость и деформационную устойчивость асфальтобетона.

С целью разработки дифференцированных требований к прочности асфальтобетона с учетом особенностей климатических условий, интенсивности и состава движения и других факторов на основе результатов обследований определены требуемые показатели прочности асфальтобетона на растяжение при динамическом изгибе при 0 °С и вязкости при 50 °С для обеспечения заданных уровней эксплуатационной надежности. Результаты расчета прочности горячего асфальтобетона по условию его трещиностойкости позволяют сделать вывод о целесообразности применения в восточных районах страны асфальтобетонов каркасного типа, так как при плотных пластичных составах, например типа «В» или литого асфальтобетона, трудно обеспечить высокую прочность для заданного уровня эксплуатационной надежности.

Повышение эластичности асфальтобетона, проявляющееся в снижении модуля упругости без ухудшения усталостных свойств, позволяет снизить требования к прочности асфальтобетона. Следует отметить, что повышение эластичности дает эффект во всех климатических районах. В то же время ухудшение усталостных характеристик асфальтобетона, например, за счет большей пористости, приводит к резкому росту требуемой прочности. Большое влияние на прочность оказывают качество приготовления (показатель однородности) асфальтобетонной смеси, улучшение коэффициента неоднородности.

Приведенные данные позволяют оценить влияние отдельных параметров на прочность асфальтобетона в различных климатических районах страны и могут быть использованы при обосновании выбора рационального типа асфальтобетона для конкретных условий строительства.

Дифференцирование требований к деформационной устойчивости асфальтобетонов проведено на основе результатов расчетов необходимой вязкости асфальтобетона по условию обеспечения сдвигоустойчивости покрытия. Значения вязкости асфальтобетона при 50 °С определены из условия обеспечения 68,7%-ного уровня эксплуатационной надежности покрытия по образованию пластических деформаций в различных климатических районах страны для II категории дороги



Повышение эффективности и качества строительства асфальтобетонных покрытий достигается путем решения следующих основных технических задач: 1) повышения качества верхних слоев покрытий (их прочности, деформативности, стабильности текстуры поверхности); 2) повышения темпов строительства (в частности, укладка асфальтобетонных смесей толстыми слоями, сокращение числа разнородных конструктивных слоев); 3) применения местных материалов и отходов промышленности при строительстве покрытий.

Качество верхних слоев асфальтобетонных покрытий можно повышать путем повышения качества приготовления (повышение однородности), укладки и уплотнения смеси, повышения стабильности свойств асфальтобетона, его прочности и деформативности путем рационального подбора состава и введения улучшающих добавок

Одно из наиболее эффективных средств повышения трещиностойкости дорожных асфальтобетонных покрытий - увеличение эластичности и интервала пластичности битумов, достигаемое введением добавок высокомолекулярных соединений, использование материалов, занимающих промежуточное положение между полимерами и мономерами, - олигомеров — перспективно для расширения ресурсов органических вяжущих. Олигомеры вследствие относительно невысокого молекулярного веса имеют, как правило, жидкую консистенцию, что обеспечивает технологические преимущества использования их по сравнению с полимерами, исключая трудности, связанные с растворением полимеров. В то же время по характеру воздействия на битум олигомеры приближаются к полимерам. Модификация ими битумов позволяет повысить эластичность вяжущего и его прочность при динамических воздействиях, расширить интервал пластичности, понизить температуру хрупкости.

Использование способности ряда олигомеров к частичной полимеризации при воздействии относительно невысоких температур (обычных для приготовления асфальтобетонных смесей) обуславливает возможность простой и эффективной технологии производства комплексных олигомербитумных вяжущих, заключающейся в введении в битум жидкого олигомера, перемешивании и выдерживании компаунда в течение времени, необходимого для частичной полимеризации олигомера. Введение их с последующей полимеризацией в битуме позволяет существенно упростить технологию модификации битума и одновременно обеспечивает непрерывность молекулярно-вещного распределения компонентов вяжущего, что способствует их большей стабильности, чем известных битумополимерных композиций. В частности, опыт использования олигомерной добавки коре, представляющей собой смесь продуктов различной степени полимеризации стирола (в основном олигомерных), а также моностирола, стирбена, циклогексана и других показал, что таким образом достигается повышение ряда показателей физико-механических свойств вяжущего и асфальтобетонной смеси. При введении добавки коре в соответствии с разработанной технологией улучшаются реологические

свойства битума, повышается теплоустойчивость и деформативность асфальтобетона. Принципиальная технологическая схема введения добавки коре опробована в производственных условиях. Схема предусматривает введение добавки коре в битумный дозатор впрыскиванием под давлением 0,4-1,0 МПа и может быть рекомендована и при введении добавок жидких каучуков. Она исключает утечку паров углеводородов в атмосферу, обеспечивает точность дозировки добавки, хорошее смещение добавки с битумом, соблюдение требований безопасности проведения работ и сжигание газообразных отходов.

В то же время тенденция к все более широкому применению местных материалов и отходов промышленности побуждает к изучению возможного использования их для приготовления асфальтобетонных смесей, в частности, малопрочного щебня карбонатных пород.

Сочетание требований шероховатости поверхности и высокой плотности асфальтобетона может быть достигнуто применением плотных составов на основе щебня разной прочности.

Для обеспечения в процессе эксплуатации необходимой шероховатости дорожных покрытий изнашиваемость крупных частиц щебня в асфальтобетоне должна быть ниже изнашиваемости асфальтового раствора. Как правило, это достигается применением высокопрочного щебня изверженных пород при приготовлении асфальтобетонов, основу растворной части которых составляет весьма износостойкий кварцевый песок, который придает высокую износостойкость и растворной части асфальтобетона.

В условиях дефицита высокопрочного щебня это ограничивает возможность применения асфальтобетонов, обладающих достаточно высокой и стабильной шероховатостью, и следовательно, требует дополнительного устройства поверх покрытия специальных слоев шероховатой поверхностной обработки.