

УДК 625.72 (575.2) (04)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ДЛЯ УСЛОВИЙ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

Аль-Маабрих Хайсам – аспирант, КТУ, Иордания

Automated designing methods of smooth road coating are analyzed. The accounts with allowance for idiosyncrasies of dry, hot climate are offered.

Дорожная одежда, устраиваемая на земляном полотне в условиях сухого жаркого климата, обычно состоит из нескольких конструктивных слоев разной прочности и является одним из наиболее дорогих и ответственных элементов автомобильных дорог, во многом определяющих их стоимость, долговечность и транспортно-эксплуатационные качества.

В настоящее время конструкцию дорожных одежд назначают в зависимости от категории дороги, интенсивности и состава движения, наличия тех или иных местных, дорожно-строительных материалов, а также в зависимости от грунтовых, гидрогеологических и природно-климатических условий.

Конструкция дорожной одежды должна удовлетворять следующим требованиям [1–7]:

- *прочность*, в целом, и прочность покрытия, даже в самые неблагоприятные, по степени увлажнения земляного полотна сезоны года;
- *ровность*, обеспечивающую безопасное и комфортабельное движение автомобилей с расчетными скоростями;
- *шероховатость*, обеспечивающую эффективное торможение автомобилей в случае экстренной необходимости, а также безопасное движение (без заносов) с расчетными скоростями по закруглениям минимальных радиусов;
- *беспыльность*. Дорожные одежды, не отвечающие этому требованию, ухудшают видимость, создают дискомфорт при эксплуатации автомобильных дорог и т.д.;

- *надежность*. Дорожные одежды должны выполнять свои функции в течение длительного отрезка времени (до очередного капитального ремонта);

- *экономичность*. Поскольку дорожные одежды являются одним из наиболее дорогих элементов автомобильных дорог, то поиск наиболее экономичных конструкций является важным этапом проектирования дорог, в сильной степени определяющей строительную стоимость и эффективность капиталовложений.

Дорожные одежды состоят из конструктивных слоев различного назначения, прочность которых убывает с глубиной, соответствующим уменьшению напряжений от подвижной нагрузки.

Для автоматизации проектирования в различных природно-климатических условиях были разработаны специальные программные средства, позволившие совершенствовать процесс проектирования, с учетом характерных условий сухого, жаркого климата.

Программные средства предназначены для расчетов нежестких дорожных одежд автомобильных дорог общей сети в условиях сухого, жаркого климата. Они применимы для проектирования вновь сооружаемых дорожных одежд в автоматизированном режиме и реконструируемых (усиляемых), а также для оценки прочности существующих конструкций дорожных одежд. В программных средствах в интерактивном режиме реализованы следующие расчеты: на прочность, по упругому

прогибу; по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев [1–7].

Согласно общепринятой методике, в качестве исходных данных задаются интенсивность движения по видам транспорта на любой год эксплуатации дороги и коэффициент ежегодного прироста интенсивности движения с учетом изменения состава движения.

При этом требуемый модуль упругости и допускаемое напряжение на изгиб определяются с учетом суммарного количества проходов транспорта по одному следу за определенный срок службы дорожной одежды в условиях сухого, жаркого климата.

Программа позволяет автоматизировать процесс выполнения перебора толщин различных вариантов конструктивных слоев дорожной одежды в заданных пределах и с заданным шагом. При этом варианты дорожных конструкций, отвечающие условиям прочности, в процессе расчетов упорядочиваются по критерию стоимости.

Итерация конструктивных расчетов дорожной одежды нежесткого типа в условиях сухого и жаркого климата выполняется в полном соответствии с действующими нормативными документами стран СНГ и включает прочностной расчет конструкций при новом строительстве; обоснование расчетами конструкций при проектировании; укрепление обочин; остановочных полос; тротуаров на воздействие технологического транспорта; учет влияния прочностных характеристик дренажных и теплоизоляционных слоев на общий уровень прочности; конструирование и расчет дренажных слоев [1–7].

Задача оптимального проектирования дорожных одежд нежесткого типа для условий сухого, жаркого климата формируется следующим образом: необходимо спроектировать такую оптимальную конструкцию дорожной одежды, в которой общий модуль упругости конструкции дорожной одежды должен быть не менее требуемого модуля:

$$E_{\text{общ}}(H_{\text{общ}}) \geq E_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где $H_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n H_i$.

При этом наибольшее растягивающее напряжение при изгибе в монолитном слое должно быть не более расчетного:

$$\sigma_{\text{ги}}(H_i) \leq R_i. \quad (2)$$

В подстилающем грунте и слабосвязанных материалах конструктивные слои напряжения не должны превышать предельное равновесие по сдвигу, т.е. действующее в грунте или слабосвязанном материале наиболее активное напряжение сдвига должно быть не более допускаемого напряжения сдвига [6, 7]:

$$\tau_i(H_i) \leq \tau_{\text{доп } i}. \quad (3)$$

Толщина каждого конструктивного слоя должна быть не менее минимально допустимого для данного материала слоя и не более максимально заданного:

$$H_{i \text{ min}} \leq H_i \leq H_{i \text{ max}}. \quad (4)$$

Толщина каждого слоя принимает определенные дискретные значения и должна соответствовать технологически возможной точности устройства каждого слоя:

$$H_i = H_{i \text{ max}} + \Delta h_i. \quad (5)$$

При этом должна быть обеспечена минимальная строительная стоимость конструкции дорожной одежды:

$$S = \sum_{i=1}^n (c_i H_i + \Delta C_i \cdot \Delta H_i) \rightarrow \min. \quad (6)$$

В формулах (1) – (6):

$E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости конструкции дорожной одежды;

$H_{\text{общ}}$ – общая толщина слоев конструкции дорожной одежды;

$E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль упругости;

H_i – толщина i -го слоя конструкции;

n – количество слоев конструкции;

$\sigma_{\text{ги}}$ – наибольшее растягивающее напряжение при изгибе в монолитном слое;

R_i – предельно допустимое растягивающее напряжение при изгибе;

τ_i – наибольшее активное напряжение сдвига;

$\tau_{\text{доп } i}$ – допускаемое напряжение сдвига;

$H_{i \text{ min}}$ – минимально допустимая для данного материала толщина слоя;

Δh_i – величина приращения толщины каждого слоя;

S – строительная стоимость варианта конструкции;

C_i – единичная стоимость устройства i -го слоя конструкции толщиной H_i ;

ΔH_i – изменение толщины слоя по отношению к H_i ;

ΔC_i – изменение единичной стоимости, соответствующей ΔH_i .

Сформулированная задача представляет собой задачу математического программирования с целевой функцией дискретного типа и сложной структурой ограничивающих функций. Для решения поставленной задачи разработан эффективный итерационный оптимизационный метод, максимально использующий специфику данной задачи. При разработке оптимизационного метода были рассмотрены и проанализированы существующие способы решения данной задачи [6, 7].

Отличительная особенность настоящего оптимизационного метода – учет предыдущих недостатков и достоинств и разработка нового эффективного оптимизационного метода, максимально учитывающего требования проектировщиков при проектировании производственных объектов с учетом технологии производства работ строительными организациями.

Метод поиска оптимального решения заключается в последовательном анализе вариантов дорожной одежды с шагом, обусловленным дискретностью переменных Δh_i , в зависимости от технологической возможности устройства каждого из слоев. При этом конструирование и расчет вариантов, удовлетворяющих техническим требованиям, т.е. нахождение допустимых решений, производится не путем перебора всех возможных вариантов, а только определенного их количества, в которых возможно оптимальное решение.

Множество допустимых решений рассматриваемой задачи и принадлежность этому множеству определяются не конечной системой равенств и неравенств, а задаются алгоритмом задачи.

Формирование возможных вариантов конструкции дорожной одежды осуществляется следующим образом:

на первом шаге итерационного процесса формируется вариант конструкции, соответствующий минимальным толщинам.

$$H_{\text{общ } j} = \sum_{i=1}^n H_{i \text{ min}}, \text{ при } j = 1, \quad (7)$$

где j – шаг итерационного процесса.

Последующее формирование вариантов начинается с нижнего слоя:

$$H_{i j+1} = H_{i \text{ min}} + \Delta h_i.$$

На следующем шаге $H_{i j+2} = H_{i j+1} + \Delta h_i$ и т.д., при этом должно быть выполнено ограничение (4).

При достижении по i -му слою максимальной величины осуществляется переход на формирование следующих направлений вышележащего слоя. Для каждого варианта слоя H_{j+1} , начиная от $H_{j+1 \text{ min}}$ до $H_{j+1 \text{ max}}$ с шагом Δh_{j+1} рассматриваются все варианты предыдущего слоя H_j в заданном пределе и с заданным шагом. Такая процедура формирования вариантов предусматривается для всех слоев конструкции и позволяет не упускать из рассмотрения ни одного из них.

Количество возможных вариантов по каждому слою определяется по формуле:

$$m_i = \frac{H_{i \text{ max}} - H_{i \text{ min}}}{\Delta h_i}, \quad (8)$$

где m_i – возможное количество вариантов по i -му слою.

Количество вариантов, формируемых при переборе всех возможных вариантов, определяется по формуле:

$$K = \prod_{i=1}^n (m_i + 1), \quad (9)$$

где K – количество вариантов.

Климат района строительства, а также данные о рельефе, гидрологические и грунтово-геологические условия, приведены на картах, имеющихся в программе, а также данные о характеристиках поперечного профиля и продольных уклонов рассматриваемого участка, о заданном уровне надежности конструкции, степени ее капитальности и принятом сроке службы.

При назначении в конструкции дорожной одежды таких слоев, как дренирующий, теплоизоляционный, вводится дополнительная информация по параметрам этих слоев:

состав и интенсивность движения автомобильного потока на исходный год, темпы роста интенсивности или величина заданной перспективной интенсивности.

При назначении расчетного состава движения используется нормативно-справочная база по автомобилям, содержащая характеристики по маркам автомобилей и позволяющая редактировать и дополнять информацию. Для

наглядности каждому автомобилю соответствует его изображение.

При конструировании расчетных слоев дорожной одежды используются данные из нормативно-справочной базы физико-механических характеристик конструктивных слоев, созданной на основе отраслевых нормативов и являющейся открытой для корректировки и дополнения [1–7].

При назначении диапазонов варьирования конструктивных слоев можно воспользоваться справочной информацией о назначении минимальной и максимальной толщины слоев, входящих в конструкцию.

После ввода исходных данных и выполнения расчета на рабочем экране появляется следующая информация:

- полное наименование конструктивных слоев;
- принятые основные расчетные характеристики физико-механических свойств конструктивных слоев;
- допустимые и действующие напряжения и усилия в расчетных слоях;
- назначенные по результатам расчета толщины варьируемого слоя основания, дренарующего слоя;
- показатели оценки достигнутого коэффициента прочности по критерию упругого прогиба и показатели оценки запаса (недостатка) прочности в расчетных слоях конструкции.

Протокол расчета формируется для предварительного просмотра на экране и вывода на печатающее устройство.

При проектировании дорожных одежд программой возможны и решаются также следующие задачи:

- прочностной расчет усиления конструкции дорожной одежды при известном модуле упругости или при исследованном состоянии конструктивных слоев существующего покрытия;
- расчет и конструирование асфальтобетонных слоев с применением трещинопрерывающих прослоек на бетонном, железобетонном основании, на основании материалов, укрепленных неорганическим вяжущим материалом;
- конструирование и расчет асфальтобетонных слоев с применением трещинопрерывающих прослоек на трещиноблочной основе из асфальтобетона, дегтебетона, слоев основания из каменных материалов, укрепленных неорганическим вяжущим материалом;

➤ прочностные расчеты дорожной одежды местных проездов, жилых улиц, поселковых и внутрихозяйственных дорог в конструкциях из тонкослойных асфальтобетонных покрытий с вариантным проектированием трещинопрерывающих прослоек на основаниях, укрепленных неорганическим вяжущим материалом;

- повышение несущей способности дорожных одежд за счет применения в конструкциях армирующих и защитных прослоек из синтетических материалов;
- оперативная оценка возможности пропуска сверхтяжелых транспортных средств с возможностью определения условий снижения их разрушающего влияния.

Литература

1. ВСН 46-83 // Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.
2. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Под ред. Н.Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
3. Корсунский М.Б. Практические методы определения напряженно-деформированного состояния конструкций дорожных одежд // Тр. СоюздорНИИ. – Вып. 6. – М.: Транспорт, 1996.
4. Корсунский М.Б. Определение напряжений и перемещений в основании сооружения, создающего на грунт вертикальное равномерное давление по площади круга // Тр. СоюздорНИИ оснований и подземных сооружений. – Вып. 55. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 80 с.
5. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. – Ч. 1. – М.: Транспорт, 1987. – 368 с.
6. Наумов Б.М. Автоматизированное проектирование дорожных одежд нежесткого типа с применением ППП-1 САПР-АД. – М.: МАДИ, 1984. – 38 с.
7. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1986. – 317 с.