МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Москва 1988

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Утверждены зам.директора Союздорни
канд.техн.наук В.М.Юмашевым

МОСКВА 1988

УДК 625.855.3.001.24(083.171)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА. Союздорнии. М., 1988.

Изложены основные принципы расчета дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок. Составлен алгоритм для разработки программы применительно к любой ЭВМ. Алгоритм предназначен для расчета перегонных участков автомобильных дорог на прочность при кратковременном воздействии подвижных нагрузок. Приведены таблицы исходных расчетных характеристик грунтов и материалов, а также основные расчетные зависимости и таблицы для расчета дорожных одежд.

Табл.23, рис.3.

© Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт, 1988.

УДК 625.855.3.001.24(083.171)

Предисловие

В настоящее время введена в действие "Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-83 (М.: Транспорт, 1985), которая содержит ряд новых, по сравнению с ВСН 46-72, положений: учитываются заданный уровень надежности при назначении минимально допустимого значения коэффициентов прочности и при определении расчетного значения сопротивления растяжению при изгибе асфальтобетона и влажности грунта, длительность и динамичность воздействия нагрузки на покрытие; принимаются особые температурные условия для расчета покрытий на изгиб, осуществляемого с учетом сил трения на контакте покрытия с основанием, и т.п. В связи с этим требуется переработка рабочих программ для ЭВМ, по которым выполняются расчеты дорожных одежд в проектных организациях.

В данной работе кратко изложены основные принципы расчета дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок в соответствии с ВСН 46-83, составлен алгоритм для разработки программы применительно к любой ЭВМ, приведены таблицы исходных расчетных характеристик грунтов и материалов, а также основные расчетные зависимости и таблицы для расчета, намечены пути реализации рекомендаций.

Алгоритм предусматривает поиск наиболее экономичного по строительным затратам варианта дорожной одежды.

Настоящие Методические рекомендации составили канд. техн.наук П.И.Теляев, инж. В.А.Мазуров, канд.техн. наук А.Е.Мерзликин, инженеры Е.И.Масленкова, Г.А.Муромова, И.Н.Налобин, Т.Е.Полтаранова.

Замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 143900, Московская обл., г.Балашиха-6, Союздорнии или 191065, Ленинград, Д-65, ул.Герцена, 19, Ленинградский филиал Союздорнии.

1. Основные положения

1.1. Алгоритм разработан для расчета на прочность дорожных одежд перегонных участков при кратковременном многократном воздействии подвижных нагрузок.

Расчет дорожной одежды ведут с учетом надежности, под которой подразумевают вероятность безотказной работы конструкции в течение всего периода между капитальными ремонтами. Количественным показателем надежности является уровень надежности K_n

Конструкция дорожной одежды должна удовлетворять следующим трем критериям прочности.

1.2. В грунте и слабосвязных материалах не должны возникать остаточные деформации, вызванные пластическими смещениями.

Сдвиг в грунте земляного полотна не возникнет, если

$$K_{пр} \leq \frac{T_{доп}}{T}, \qquad (1)$$

где $K_{пр}$ – коэффициент прочности, определяемый с учетом заданного уровня надежности по табл. 2 прил. 1;

$T_{доп}$ – допустимое напряжение сдвига, обусловленное сцеплением в грунте;

T – активное напряжение сдвига в грунте или слабосвязном материале; $T = \tau_н + \tau_в$,

$\tau_н, \tau_в$ – активные напряжения сдвига соответственно от временной нагрузки и от собственного веса дорожной одежды.

Допустимое напряжение сдвига в грунте или слабосвязном материале определяется по формуле

$$T_{доп} = C K_1 K_2 K_3, \qquad (2)$$

где C – сцепление в материале слоя или в грунте активной зоны земляного полотна в расчетный период, МПа;

K_1 – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления сдвигу под действием подвижных нагрузок; $K_1 = 0{,}6$;

K_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы конструкций;

K_3 – коэффициент, учитывающий особенности работы слоев в условиях защемления, дилатансии, сопряжения слоев на контактах (табл.11 прил.1).

1.3. Напряжения, возникающие в монолитных слоях под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны приводить к образованию трещин. Для этого должно быть обеспечено следующее условие:

$$K_{пр} \leq \frac{R_{доп}}{\sigma_ч}, \qquad (3)$$

где $R_{доп}$ – предельное допустимое растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений;

$\sigma_ч$ – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, найденное путем расчета.

1.4. Упругий прогиб поверхности покрытия от колеса расчетного автомобиля не должен превосходить некоторого нормированного значения. Это условие удовлетворяется, если

$$K_{пр} \leq \frac{E_{общ}}{E_{тр}}, \qquad (4)$$

где $E_{общ}$ – общий модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{тр}$ – требуемый модуль упругости конструкции с учетом капитальности одежды и интенсивности воздействия нагрузки, МПа.

1.5. Для определения напряжений и деформаций, входящих в выражения (2)-(4), используют решения теории упругости для слоистых сред с корректировкой их по условиям сопряжения слоев на контактах и по принятому методу приведения многослойной системы к двухслойной. В связи с этим решения теории упругости для многослойных сред со спаянными или скользкими контактами между слоями для непосредственных вычислений напряжений и деформаций не применимы. В этом случае следует пользоваться составленными по расчетным номограммам ВСН 46-83 вспомогательными таблицами, интерполируя приведенные в них данные для промежуточных значений входных параметров.

В качестве расчетной нагрузки принимают нагрузку от колеса наиболее тяжелых автомобилей, систематическое обращение которых возможно в расчетный для дорожной одежды период.

1.6. Одежды рассчитывают на состав и интенсивность перспективного движения, ожидаемого на последний год службы покрытия перед капитальным ремонтом.

Все автомобили приводят к расчетным путем умножения числа автомобилей с данной нагрузкой на ось на коэффициент приведения $\eta_{jсумм}$ (см.прил.3). При определении последнего учитывают взаимное влияние колес соседних осей автомобиля.

1.7. При расчете по трехкритерийному методу свойства материалов конструктивных слоев дорожной одежды и грунта характеризуются следующими показателями: деформационными (модуль упругости E) и прочностными (сопротивление растяжению при изгибе $R_{изг}$ - для монолитных материалов, угол внутреннего трения φ и сцепление C - для грунтов и слабосвязных материалов).

Расчетные значения сопротивления растяжению при изгибе асфальтобетона и влажности грунта определяют с учетом уровня надежности $K_н$.

1.8. При расчете на прочность дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием учитывают особенности его поведения при эксплуатации в зависимости от температуры. В то время как покрытие наиболее напряженно работает при низких положительных температурах, грунт земляного полотна и слои одежды из слабосвязных материалов испытывают большие напряжения при повышенных температурах, когда модуль упругости асфальтобетона существенно снижается. Поэтому при расчете самого асфальтобетонного покрытия на растяжение при изгибе используют его характеристики, соответствующие низким весенним температурам (табл.6 прил.1). При расчете слоев из слабосвязных материалов и грунта на сопротивление сдвигу принимается модуль упругости асфальтобетона в покрытии, соответствующий весенним повышенным температурам (табл. 7 прил.1).

2. Составление алгоритма

2.1. Расчетная схема

2.1.1. Общая расчетная схема дорожной одежды нежесткого типа применительно для ЭВМ (рис. 1) включает девять конструктивных слоев дорожной одежды и грунтовое полупространство. Конструктивными слоями являются:

1 - покрытие усовершенствованного типа, устраиваемое преимущественно из плотного асфальтобетона,

2 - верхний слой основания, устраиваемый чаще всего из пористого или высокопористого асфальтобетона;

3 - покрытие облегченного типа либо при наличии слоя 2 - слой основания; слой 3 устраивают из материалов, обработанных органическим вяжущим;

4-9 - слои основания, которые устраиваются из следующих материалов:

4 - из щебеночных материалов, шлакового щебня;

5 и 6 - из материалов и грунтов, укрепленных цементом или другим неорганическим вяжущим. Если в конструкции имеется всего один слой из материала, укрепленного цементом, то слою присваивают индекс 5;

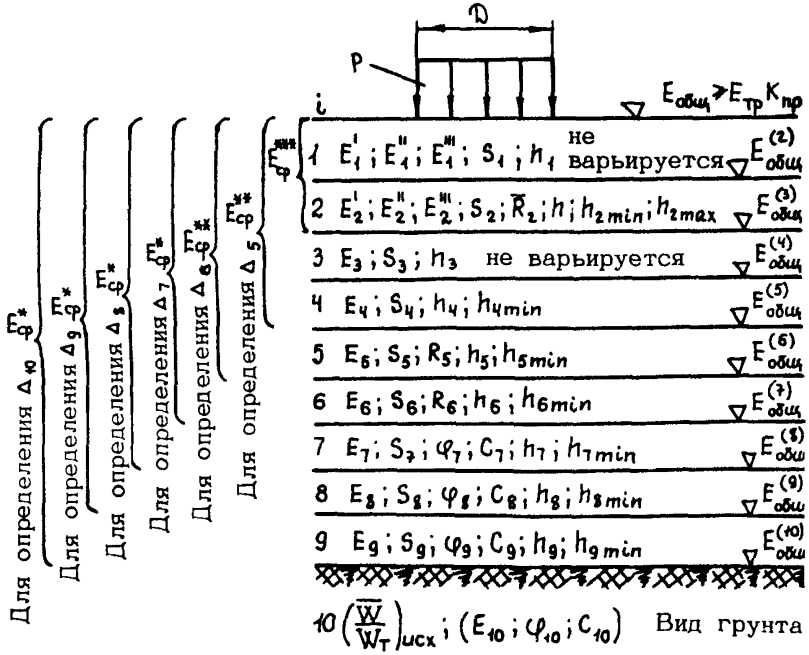

Рис.1. Расчетная схема дорожной одежды нежесткого типа для ЭВМ

7 - из местных неукрепленных малопрочных каменных материалов (гравий, щебень, гравийные, щебеночные и гравийно(щебеночно)-песчаные смеси, в которых содержится или может образоваться в процессе строительства и эксплуатации основания избыточное по сравнению с действующими нормами количество мел-

ких частиц с числом пластичности до 7; природные или искусственно составленные смеси с содержанием зерен гравия (щебня) крупнее 5 мм не менее 20%; щебень из осадочных пород марок по дробимости 400, 300 и 200; щебень из изверженных и метаморфических пород марки по дробимости 600, дресва, опоки, грунто - щебень и др.);

8 - из песков крупных, гравелистых, средней крупности или мелких;

9 - из грунтов, укрепленных жидким органическим вяжущим.

2.1.2. Слои 2, 5 и 6 рассчитывают на растяжение при изгибе, слои 7, 8 и 9 из слабосвязных материалов и грунтовое полупространство 10 - исходя из условия недопущения сдвига. Проверять напряженное состояние слоев 1 и 3 обычно нет необходимости: надежность этих материалов, если они отвечают современным техническим требованиям, в достаточной мере доказана практикой. Не проверяют расчетом также возможность возникновения сдвига в слое 4.

2.1.3. Расчетной схемой предусматривается, что толщины слоев 1 и 3 назначаются по конструктивным соображениям и в процессе расчета не изменяются. Толщины остальных слоев варьируют в зависимости от расчетных характеристик материалов и грунта, а также от затрат на устройство слоев. В процессе варьирования толщина слоя не должна назначаться ниже минимальной конструктивной (табл.15 прил.1), регламентированной технологией укладки и условиями формирования слоя.

2.1.4. Полагая в общей расчетной схеме толщины отсутствующих слоев равными нулю, можно получать практически все обычно встречающиеся при проектировании варианты конструкций дорожных одежд. Например, дорожная одежда из двухслойного асфальтобетона, уложенного на слой обработанного битумом щебня, лежащего, в свою очередь, на двухслойном основании из

укрепленного цементом материала и грунта земляного полотна, будет обозначаться так: 1, 2, 3, 5, 6, 10.

2.2. Исходная информация

2.2.1. В качестве исходной информации вводятся следующие данные:

тип расчетной нагрузки и ее параметры: среднее давление колеса на покрытие p (МПа) и диаметр следа колеса D (м) (табл.1 прил.1);

расчетная перспективная интенсивность воздействия нагрузки на полосу движения N_p (ед./сут) (см.прил.3);

тип одежды и покрытия, категория дороги, дорожно-климатическая зона, тип местности по условиям увлажнения[x];

допустимый уровень надежности $K_н$ проектируемой конструкции к концу периода между капитальными ремонтами и минимальное значение коэффициента прочности $K_{пр}$, которое дорожная одежда в зависимости от категории дороги и типа покрытия может иметь к концу срока службы между капитальными ремонтами (см. табл.2 прил.1);

требуемый общий модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$ (МПа);

вид материалов конструктивных слоев (индекс слоя i) и исходные толщины h_i (заведомо больше требуемых). Для слоев 1 и 2 – тип асфальтобетона и марка битума (см.табл.6,7 прил.1). Для слоя 7 – содержание в материале частиц размером мельче 0,63 мм m (%) (или показатель дробимости малопрочного щебня, %) и число пластичности n,

деформационные и прочностные характеристики для слоев 1 и 2:

---

[x] Дорожно-климатическая зона и тип местности по условиям увлажнения принимаются согласно "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-83.

а) расчетные модули упругости E_i', E_i'', E_i''' (где E_i' – модуль упругости при расчете прочности слоя 2 на изгиб (при определении показателя прочности слоя $2\Delta_2$) (см. табл.6 прил.1); E_i'' – модуль упругости при расчете по упругому прогибу (при определении общего показателя прочности Δ_o) (см.табл.7 прил.1); E''' – модуль упругости при расчете промежуточных слоев 5 и 6 на растяжение при изгибе и при расчете слоев одежды по сдвигу (при определении Δ_5-Δ_{10} (см. табл.7 прил.1));

б) расчетное значение сопротивления материала слоя 2 растяжению при изгибе;

деформационные и прочностные характеристики материалов промежуточных слоев:

а) расчетные модули упругости E_i слоев 3 и 4 (табл.8 прил.1);

б) модули упругости E_i и сопротивление растяжению при изгибе R_i слоев 5 и 6 (табл.9 прил.1);

в) расчетный модуль упругости E_i угол внутреннего трения φ_i и сцепление C_i для слоя 7;

г) расчетные модули упругости E_i, углы внутреннего трения φ_i и сцепления C_i для слоев 8 и 9 (см. табл.8 прил.1);

вид грунта и его расчетные характеристики:

а) если грунт – песок (кроме пылеватого) или супесь легкая крупная, – расчетный модуль упругости E_{10}, угол внутреннего трения φ_{10} и сцепление C_{10} (табл.10 прил.1);

б) если грунты глинистые, – исходная относительная средняя многолетняя влажность $(\bar{W}/W_T)_{исх}$ (табл. 12 прил.1), назначаемая в зависимости от дорожно-климатической зоны и типа местности по условиям увлажнения (где W_T – влажность на границе текучести; $\bar{W}$ – средняя влажность). К исходной относительной средней влажности грунта вводится поправка $(\bar{W}/W_T)_{попр}$, учитывающая особые условия работы дорожной конструкции (табл.13 прил.1). Принимается значение коэф-

фициента K_3 для использования в формуле (2) (см. табл. 11 прил. 1);

минимальные конструктивные толщины слоев дорожной одежды $h_{i\,min}$ (см.табл. 15 прил. 1);

максимальная толщина второго слоя $h_{2\,max}$;

суммарная толщина стабильных слоев дорожной одежды $h_{min\,мор}$, рассчитанная из условия обеспечения морозоустойчивости конструкции (см.п.2.3.19) согласно ВСН 46-83;

затраты S_i на устройство 1 м^2 конструктивного слоя толщиной 1 см, руб.·см/м^2;

номера конструктивных слоев d, f, j, толщины которых попарно варьируют (покрытие-основание, покрытие-дополнительные слои основания, основание-дополнительные слои основания) при выборе оптимального по затратам варианта конструкции (где d - индекс варьируемого слоя покрытия, f - основания, j - морозозащитного слоя).

2.2.2. Требуемый общий модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$ (МПа) вычисляют по формуле

$$E_{тр} = a \lg N_p + b, \qquad (5)$$

где a, b - коэффициенты, зависящие от типа расчетной нагрузки (табл. 4 прил. 1).

Требуемый общий модуль упругости, рассчитанный по формуле (5), не должен быть меньше значений, указанных в табл. 5 прил. 1.

2.2.3. Расчетное сопротивление материала слоя 2 растяжению при изгибе R_2 (МПа) определяется в зависимости от уровня проектной надежности $K_н$:

$$R_2 = \bar{R}_2 (1 - t\ 0{,}1) K_y K_m , \qquad (6)$$

где $\bar{R}_2$ - среднее значение сопротивления растяжению при изгибе материала слоя 2 (см.табл. 6 прил. 1);

t – коэффициент нормированного отклонения; определяется по табл.3 прил.1 в зависимости от заданного уровня проектной надежности $K_н$;

$K_у$ – коэффициент усталости, определяемый в зависимости от расчетной интенсивности воздействия нагрузки $N_р$,

$$K_у = \left(\frac{N_р}{1000}\right)^{-f_у}; \qquad (7)$$

$f_у$ – показатель усталостной зависимости; для асфальтобетонов на битумах БНД 130/200 и БНД 200/300, высокопористых асфальтобетонов и дегтебетона $f_у = 0,27$; для плотных и пористых асфальтобетонов на битумах БНД 40/60, БНД 60/90 и БНД 90/130 $f_у = 0,16$;

K_m – коэффициент снижения прочности от воздействия природных факторов; для асфальтобетонных смесей I–II марок на щебне из изверженных пород $K_m = 1$, III марки – $K_m = 0,8$; для асфальтобетонных смесей I марки на гравийных материалах и на щебне из осадочных пород – $K_m = 0,9$, II–III марок – $K_m = 0,7$; для дегтебетонов – $K_m = 0,7$.

2.2.4. Расчетное сопротивление растяжению при изгибе $R_{расч(i)}$ вычисляют по выражению

$$R_{расч(i)} = R_i K_у, \qquad (8)$$

где $K_у$ – коэффициент усталости, определяемый по формуле (7) при $f_у = 0,06$.

2.2.5. Расчетный модуль упругости E_i, угол внутреннего трения φ_i и сцепление C_i для слоя 7 определяют по формулам:

$$E_7 = 200 \exp\left[n\left(0,1 - \frac{m}{100}\right)\right]; \qquad (9)$$

$$\varphi_7 = 20 \exp\left[n\left(0,1 - \frac{m}{100}\right)\right] + 25; \qquad (10)$$

$$C_7 = 0,04 \exp\left[n\left(0,1 - \frac{m}{10}\right)\right]. \qquad (11)$$

2. 3. Последовательность операций при расчете дорожной одежды

2.3.1. Блок-схема алгоритма для отыскания оптимальных толщин слоев дорожной одежды (рис. 2) состоит из пяти блоков:

I – введение исходной информации;

II – оценка прочности конструкции;

III – корректировка толщин слоев одежды с целью обеспечения условий прочности;

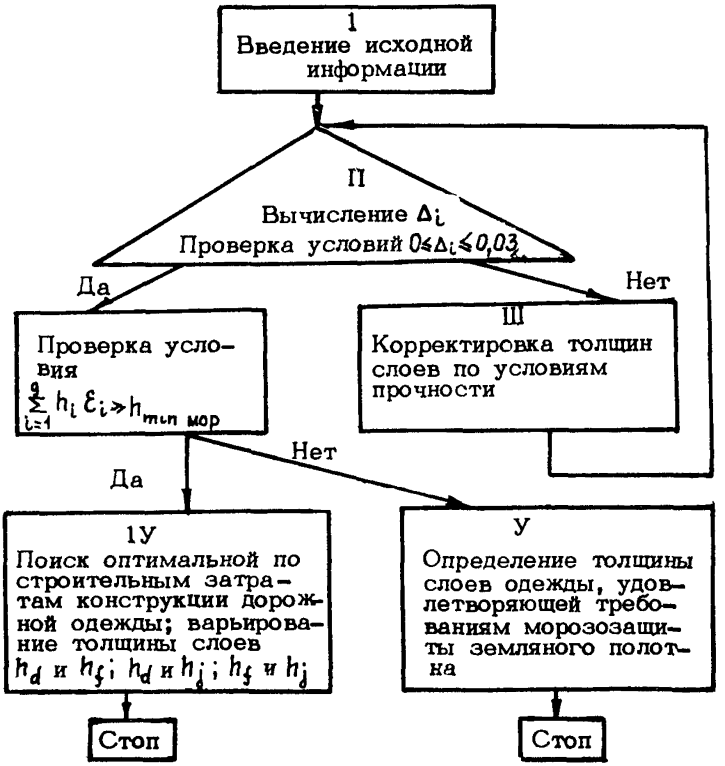

Рис.2. Блок-схема алгоритма для расчета толщин слоев дорожной одежды

1У –нахождение оптимального по строительным затратам варианта дорожной одежды методом покоординатного спуска;

У – определение толщины слоев одежды, удовлетворяющей требованиям морозозащиты земляного полотна.

Расчет дорожных одежд на прочность в блоке II

2.3.2. В процессе расчетов все предусмотренные блоком II операции повторяются многократно. Для программы этот блок является стандартным и на схемах обозначается треугольником с цифрой II внутри.

Блок II включает следующие операции.

2.3.3. Вводимые в блок толщины слоев сопоставляются с минимальными конструктивными. Если $h_i \leq h_{i\,min}$ то принимается $h_i = h_{i\,min}$.

2.3.4. Для глинистых грунтов и пылеватых песков по заданной исходной относительной средней многолетней влажности с учетом заданного уровня надежности и поправки на условия работы вычисляют исходную относительную влажность

$$\left(\frac{W}{W_т}\right)_{исх} = \left[\left(\frac{\bar{W}}{W_т}\right)_{исх} - \left(\frac{\bar{W}}{W_т}\right)_{попр}\right] (1 + t \cdot 0{,}1) \qquad (12)$$

Полученную исходную влажность принимают за расчетную, если выполняются условия:

$$\sum_{i=1}^{g} h_i \leq 0{,}75\,м \quad и \quad \left(\frac{W}{W_т}\right)_{исх} \leq 0{,}75 \qquad (13)$$

В противном случае расчетную влажность грунта $(W/W_т)_{расч}$ вычисляют по формуле

$$\left(\frac{W}{W_T}\right)_{расч} = 10^{-4} \cdot a \left(\sum_{i=1}^{9} h_i\right)^2 - 10^{-2} \cdot b \left(\sum_{i=1}^{9} h_i\right) + c \,, \qquad (14)$$

где $$a = -0{,}967 \left(\frac{W}{W_T}\right)^2_{исх} + 1{,}956 \left(\frac{W}{W_T}\right)_{исх} - 0{,}924 \,;$$

$$b = -2{,}531 \left(\frac{W}{W_T}\right)^2_{исх} + 5{,}745 \left(\frac{W}{W_T}\right)_{исх} - 2{,}885 \,;$$

$$c = -2{,}029 \left(\frac{W}{W_T}\right)^2_{исх} + 5{,}319 \left(\frac{W}{W_T}\right)_{исх} - 2{,}098 \,.$$

При расчетной относительной влажности согласно табл.14 прил.1 определяют расчетные значения модуля упругости E_{10}, сцепления C_{10} и угла внутреннего трения φ_{10} глинистых грунтов и пылеватых песков (рис. 3).

2.3.5. Для каждого рассчитываемого слоя, включая слой 10, вычисляют показатель прочности Δ_i. Под показателем прочности понимают отклонение коэффициента прочности данной конструкции (фактического) по какому-либо критерию от минимально допустимого при заданном уровне надежности. В общем виде показатель прочности выражается формулой

$$\Delta_i = \frac{[\sigma] - \sigma_i K^0_{пр}}{\sigma_i K^0_{пр}} \,, \qquad (15)$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение ($R_{доп(i)}$ или $T_{доп(i)}$) для i -го слоя;

σ_i – фактическое напряжение сдвига или растягивающее напряжение при изгибе в i -м слое;

$K^0_{пр}$ – минимальное допустимое значение коэффициента прочности, назначаемое в зависимости от уровня заданной надежности.

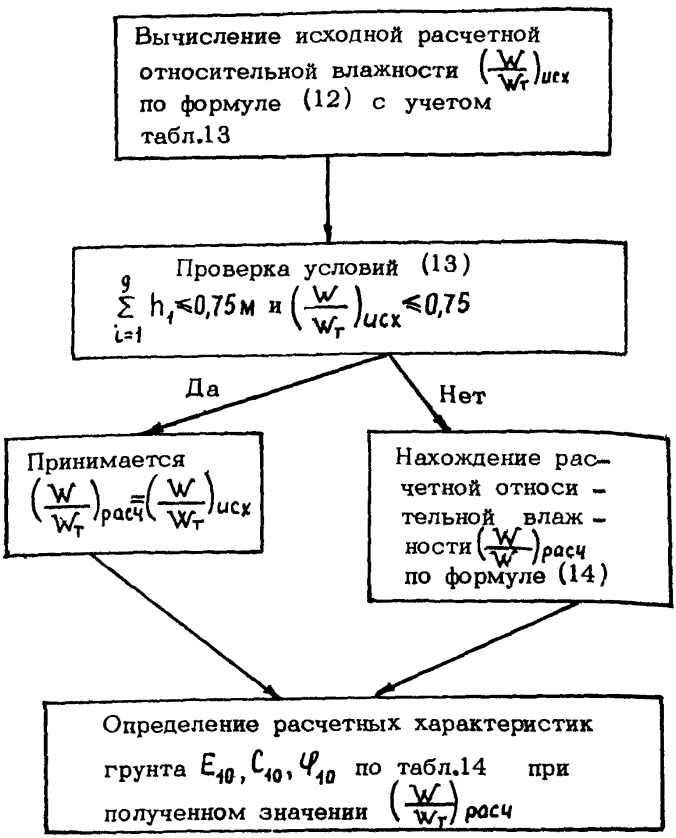

Рис. 3. Схема определения нормативных характеристик глинистых грунтов и пылеватых песков

Знак "минус" у Δ_i означает, что прочность слоя недостаточна, "плюс" - что условия прочности в слое удовлетворительны.

Если $h_i = 0$, то принимается $\Delta_i = 0$.

Условия прочности конструкции в целом оценивают величиной общего показателя прочности Δ_0:

$$\Delta_0 = \frac{E_{общ}^{(1)} - E_{тр} K_{пр}^{0}}{E_{тр} K_{пр}^{0}} . \qquad (16)$$

Ниже приведена последовательность операций по вычислению показателей прочности.

2.3.6. Определение Δ_0. Полагая модуль упругости грунта равным $E_{общ}^{(10)}$ (см. рис. 1), последовательно рассчитывают двухслойные системы, состоящие из очередного конструктивного слоя одежды и нижележащего полупространства. При этом:

определяют отношение модуля упругости подстилающего полупространства $E_{общ}^{(i+1)}$ к модулю слоя E_i (см. рис. 1) при $i = 9, 8, 7, \ldots, 1$;

вычисляют отношение толщины слоя h_i к расчетному диаметру D;

для вычисленных отношений h_i / D и $E_{общ}^{(i+1)} / E_i$ по табл. 1 прил. 2 находят отношение общего модуля на поверхности рассматриваемого слоя $E_{общ}^{(i)}$ к модулю слоя E_i. Отношение $E_{общ}^{(i)} / E_i$ может быть вычислено и по формулам:

а) при $0 \leq \frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i} \leq 0{,}5$

$$\frac{E_{общ}^{(i)}}{E_i} = \frac{\left[1{,}05 - 0{,}125 \frac{h_i}{D}\left(1 - \sqrt[3]{\frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}}\right)\right]}{0{,}71 \sqrt[3]{\frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}} \operatorname{arctg}\left(1{,}35 \frac{h_э}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{общ}^{(i+1)}}\left(1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h_э}{D}\right)} M; \qquad (17)$$

б) при $0,5 < \frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i} \leq 2,0$

$$\frac{E_{общ}^{(i)}}{E_i} = \frac{\frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i} M}{1 - \frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}(1 - M_1)}, \qquad (18)$$

где

$$\frac{h_э}{D} = \frac{2 h_i}{D} \sqrt[3]{\frac{E_i}{6 E_{общ}^{(i+1)}}};$$

$$M = 1 - 1,1 \exp\left(-2,5 \frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}\right)\left\{\frac{0,045}{0,4 + \frac{h_i}{D}} \sin\left[3,58 \frac{h_i}{D} \exp\left(-0,65 \frac{h_i}{D}\right)\pi\right] + \right.$$

$$\left. + 0,20 \exp\left(-10 \frac{h_i}{D}\right)\right\};$$

$$M_1 = \sqrt{1 + \left(2 \frac{h_i}{D}\right)^2 \sqrt[3]{\left(\frac{E_i}{E_{общ}^{(i+1)}}\right)^2}};$$

вычисляют общий модуль на поверхности двухслойной системы

$$E_{общ}^{(i)} = \frac{E_{общ}^{(i)}}{E_i} E_i$$

и заносят его в память;

производя такой расчет столько раз, сколько конструктивных слоев в одежде, доходят до верхнего слоя и определяют $E_{общ}^{(1)}$. Если какие-либо из девяти слоев отсутствуют, то принимают

$$E_{общ}^{(i+1)} = E_{общ}^{(i)};$$

вычисляют общий показатель прочности Δ_0 по формуле (16), где $E_{тр}$ определен по формуле (5).

2.3.7. Определение Δ_2. Слой 2 рассчитывают на растяжение при изгибе. Порядок расчета следующий определяют средний модуль упругости слоев 1 и 2:

$$E_{cp}^{***} = \frac{\sum_{i=1}^{2} E_i' h_i}{\sum_{i=1}^{2} h_i}. \qquad (19)$$

В случае отсутствия слоя 1 $E_{cp}^{***} = E_2'$;

находят отношение $E_{cp}^{***} / E_{общ}^{(3)}$. Общий модуль упругости под слоем 2 $E_{общ}^{(3)}$ принимают согласно приведенному выше расчету для определения Δ_0;

вычисляют отношение $(\sum_{i=1}^{2} h_i)/D$;

по табл.2 прил.2 в зависимости от $(\sum_{i=1}^{2} h_i)/D$ и $E_{cp}^{***}/E_{общ}^{(3)}$ находят растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_{z(2)}$ в рассчитываемом слое от единичной нагрузки. Напряжение $\bar{\sigma}_z$ может быть также определено по формулам:

а) при $\frac{\sum_{i=1}^{2} h_i}{D} > \frac{1,42}{E_{cp}^{***}/E_{общ}^{(3)}} + 0,127$

$$\bar{\sigma}_z = 1,28 \frac{E_{cp}^{***}}{E_{общ}^{(3)}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{2} h_i}{D} \left(1 - 0,637 \operatorname{arc\,tg} C\right) \left(\operatorname{arc\,tg} \frac{1}{C}\right)^2; \qquad (20)$$

б) при $\frac{\sum_{i=1}^{2} h_i}{D} \leq \frac{1,42}{E_{cp}^{***}/E_{общ}^{(3)}} + 0,127$

$$\bar{\sigma}_z = \left(1,818 + 0,162 \frac{E_{cp}^{***}}{E_{общ}^{(3)}}\right) \left(1 - 0,637 \operatorname{arc\,tg} C_1\right) \left(\operatorname{arc\,tg} \frac{1}{C_1}\right)^2, \qquad (21)$$

где $$C = a\left(\frac{\sum_{i=1}^{2} h_i}{D}\right)^{0,4} + b \;;$$

$$a = 0{,}083\left(\ln\frac{E_{ср}^{***}}{E_{общ}^{(3)}}\right)^{2,2} + 1{,}870 \;;$$

$$b = 0{,}00004\left(\frac{E_{ср}^{***}}{E_{общ}^{(3)}}\right)^{1,4} + 0{,}007 \;;$$

$$C_1 = a\left[\frac{1{,}42}{E_{ср}^{***}/E_{общ}^{(3)}} + 0{,}127\right]^{0,9} + b \;;$$

вычисляют полное растягивающее напряжение

$$\sigma_{ч(2)} = \rho\bar{\sigma}_ч\ 0{,}85 \;. \tag{22}$$

рассчитывают показатель прочности

$$\Delta_2 = \frac{R_{доп(2)} - \sigma_{ч(2)}\,K_{пр}^{0}}{\sigma_{ч(2)}\,K_{пр}^{0}} \;, \tag{23}$$

где $R_{доп(2)}$ – допустимое значение растягивающего напряжения слоя 2, вычисленное по формуле (6).

2.3.8. Определение Δ_5 и Δ_6. Слой 6 рассчитывают на растяжение при изгибе. Расчет слоя 5 аналогичен расчету слоя 6, поэтому в излагаемом порядке расчета номера слоев 5 и 6 заменяются индексом n

вычисляют средний модуль упругости слоев, лежащих над рассчитываемым:

$$E_{ср}^{**} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} E_i''' h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \;; \tag{24}$$

находят отношение этой величины к модулю упругости рассчитываемого слоя $E_{ср}^{**} / E_n$,

определяют отношение суммы толщин вышележащих слоев и толщины рассчитываемого слоя $\sum_{i=1}^{n} h_i$ к D;

по известным отношениям $E_{ср}^{**} / E_n$ и $(\sum_{i=1}^{n} h_i)/D$ находят величину y с помощью табл. 3 прил. 2 или по формуле

$$y = a \exp\left(b \frac{E_{ср}^{**}}{E_n}\right) + C \quad , \tag{25}$$

где $a = 6{,}37701 \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{D}\right)^{-0{,}87057} - 1{,}88424$;

$b = -0{,}124$;

$C = 4{,}54964 \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{D}\right)^{-1{,}4951} - 0{,}73075$;

вычисляют отношение модуля упругости рассчитываемого слоя E_n к общему модулю упругости нижележащих слоев конструкции $E_{общ}^{(n+1)}$.

Значение $E_{общ}^{(n+1)}$ было найдено при определении Δ_0;

рассчитывают растягивающее напряжение при изгибе

$$\sigma_{r\,n} = p y \frac{\left(\frac{E_n}{E_{общ}^{(n+1)}}\right)^2}{9{,}83\left(\frac{E_n}{E_{общ}^{(n+1)}}\right)^2 + 79{,}6\,\frac{E_n}{E_{общ}^{(n+1)}} - 5{,}80} \quad ; \tag{26}$$

вычисляют показатель прочности

$$\Delta_n = \frac{R_{доп(n)} - \sigma_{r(n)}\, K_{пр}^{o}}{\sigma_{r(n)}\, K_{пр}^{o}} \quad , \tag{27}$$

где $R_{gon(n)}$ – заданное допустимое напряжение растяжения при изгибе.

2.3.9. Определение $\Delta_7, \Delta_8, \Delta_9, \Delta_{10}$. Слои 7, 8, 9 и грунтовое полупространство рассчитывают исходя из условия, чтобы в материале слоя или в грунте не возникал сдвиг. Расчет всех слоев ведется по одной схеме, поэтому излагается порядок расчета для слоя с индексом ℓ:

находят суммарную толщину $\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i$ и средний модуль упругости слоев $E^*_{ср}$, лежащих над рассчитываемым:

$$E^*_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} E'''_i h_i}{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i};$$

вычисляют отношение среднего модуля упругости $E^*_{ср}$ слоев, лежащих над рассчитываемым, к модулю упругости E_ℓ рассчитываемого слоя;

определяют отношение суммарной толщины слоев, лежащих над рассчитываемым, $\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i$ к D;

находят активное напряжение сдвига от временной нагрузки $\tau_{n(\ell)}$. Для этого сначала определяют z по табл.4 прил.2 или по формулам:

а) при $0{,}1 \leq \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} < 1$

$$z = \frac{1}{a + b\,(E^*_{ср}/E^{(\ell)}_{общ})}; \qquad (28)$$

б) при $1 \leq \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} < 3$

$$z = a'\,(E^*_{ср}/E^{(\ell)}_{общ})^{b'}; \qquad (29)$$

в) при $3 \leq \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} < 4$

$$z = \alpha' \left(\frac{E^{*}_{ср}}{E^{(\ell)}_{общ}} \right)^{\beta'} \left(0{,}325 \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} + 0{,}025 \right), \qquad (30)$$

где $\alpha = 0{,}01041 + 0{,}05461 \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} - 0{,}2029 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^2 +$

$$+ 0{,}25405 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^3 - 0{,}092 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^4 ;$$

$$\beta = 10^{-4} \left[4{,}7102 - 47{,}39 \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} + 230{,}25 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^2 - \right.$$

$$\left. - 221{,}29 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^3 + 75{,}73 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^4 \right] ;$$

$$\alpha' = 275{,}48 - 334{,}12 \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} + 162{,}32 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^2 -$$

$$- 35{,}4 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^3 + 2{,}87 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^4 ;$$

$$\beta' = -0{,}461 - 0{,}568 \frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} + 0{,}507 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^2 - 0{,}17 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^3 +$$

$$+ 0{,}019 \left(\frac{\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i}{D} \right)^4$$

Затем вычисляют $\tau_{н(\ell)}$ (МПа) по выражению

$$\tau_{н(\ell)} = 0{,}00459 \, z p \cdot 10^{-0{,}0132 \varphi_\ell}, \qquad (31)$$

где p – равномерно распределенная нагрузка на по - верхности покрытия, МПа;

φ_ℓ – угол внутреннего трения, град;

находят активное напряжение сдвига от веса выше-лежащих слоев толщиной $\sum_{i=1}^{\ell-1} h_i$:

$$\tau_\beta = 10^{-5} \left(5 - 0{,}3 \varphi_\ell \right) \sum_{i=1}^{\ell-1} h_i ; \qquad (32)$$

определяют полное активное напряжение сдвига в рассчитываемом слое:

$$\tau_\ell = \tau_{н(\ell)} + \tau_\ell \ ;$$

находят допустимое напряжение сдвига $\tau_{доп(\ell)}$ при расчете слоев 7, 8 и 9:

$$\tau_{доп(\ell)} = C_\ell K_1 K_2 K_3 = C_\ell \cdot 0{,}6\,(0{,}345\,\lg N_p + 1{,}816)\,K_3 \qquad (33)$$

Допустимое напряжение сдвига $\tau_{доп(10)}$ при расчете грунта определяют также по формуле (33). Значение коэффициента K_3 находят по табл.11 прил.1;

вычисляют показатель прочности

$$\Delta_\ell = \frac{\tau_{доп(\ell)} - \tau_\ell K^{o}_{пр}}{\tau_\ell K^{o}_{пр}} \qquad (34)$$

2.3.10. Определяют, из какого блока (из исходного, II или 1У) конструкция поступила в блок II.

В блоке II после вычисления всех показателей прочности проверяется индекс итерации ($K=0$ или $K\neq 0$).

Если $K=0$, конструкция с вычисленными показателями прочности вновь поступает в блок 1У для последующих операций без каких-либо дополнительных проверок.

Если $K\neq 0$, то организуется проверка условий прочности по следующей схеме.

2.3.11. Проверяют, удовлетворяются ли условия прочности во всех слоях и в конструкции в целом.

Принимают, что конструкция прочная, если $\Delta_i \geq 0$.

При несоблюдении этого условия хотя бы по одному показателю прочности конструкция вновь поступает в блок III на корректировку толщин слоев 1-9.

Если все показатели прочности больше нуля (конструкция прочная), то устанавливают, нет ли в конструкции явно излишних запасов прочности. Для этого проверяют условие, вписывается ли хотя бы один какой-либо показатель прочности в пределы:

$$0 \leq \Delta_i \leq 0{,}03. \qquad (35)$$

Если условие (35) хотя бы для одного показателя прочности удовлетворяется, то конструкция поступает в блок 1У; если нет – в блок III.

Каждый раз при прохождении конструкции через блок III ей присваивается индекс К, отмечающий номер итерации.

Расчет в блоке III

2.3.12. Блок III предназначен для корректировки толщин слоев одежды в целях обеспечения прочности конструкции или ликвидации излишних запасов прочности.

Коррективы в толщины слоев вносятся по формулам, полученным на основе обобщения многочисленных расчетов дорожных одежд в различных условиях. Корректировка толщин слоев производится в зависимости от показателей прочности.

В блоке III производятся следующие операции.

2.3.13. Толщины слоев на каждой последующей итерации (К+1) рассчитывают по приводимым ниже формулам:

слой 2:

$$h_{2,(K+1)} = h_{2,K} - 5\,\Delta_{2,K} - 10\,\Delta_{\alpha,K}\ , \qquad (36)$$

где $\Delta_{\alpha,K}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,K}$, $\Delta_{2,K}$ и $\Delta_{10,K}$

При отсутствии слоев 4 и 6 показатель $\Delta_{\alpha,K}$ в формуле (36) выбирается из $\Delta_{0,K}$, $\Delta_{2,K}$, $\Delta_{10,K}$ и $\Delta_{7,K}$. Если к тому же окажется, что $\Delta_{2,K} < 0$ и $h_{2,K} = h_{2\ max}$, то необ-

ходимо вывести на печать отметку, что исходные условия не позволяют выбрать конструкцию. Затем принимают $h_{2\ max} = h_{2\ max} + 1$ (см) и полагают для дальнейших расчетов

$$h_{2,(K+1)} = h_{2\ max} ,$$

слой 4:

$$h_{4,(K+1)} = h_{4,K} - 15\Delta_{\alpha,K} , \qquad (37)$$

где $\Delta_{\alpha,K}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,K}; \Delta_{2,K}; \Delta_{7,K}; \Delta_{8,K}; \Delta_{9,K}; \Delta_{10,K}$ Здесь и далее в сопоставлении участвуют показатели прочности только тех слоев, толщины которых не равны нулю;

слой 5:

$$h_{5,(K+1)} = h_{5,K} - 5\Delta_{6,K} - 3\Delta_{7,K} - 3\Delta_{8,K} - 3\Delta_{9,K} - 10\Delta_{\alpha,K} , \qquad (38)$$

где $\Delta_{\alpha,K}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,K}; \Delta_{2,K}; \Delta_{6,K}; \Delta_{7,K}; \Delta_{8,K}; \Delta_{9,K}; \Delta_{10,K};$

слой 6:

$$h_{6,(K+1)} = h_{6,K} - 5\Delta_{6,K} - 3\Delta_{7,K} - 3\Delta_{8,K} - 3\Delta_{9,K} - 10\Delta_{\alpha,K} , \qquad (39)$$

где $\Delta_{\alpha,K}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,K}; \Delta_{2,K}; \Delta_{6,K}; \Delta_{7,K}; \Delta_{8,K}; \Delta_{9,K}; \Delta_{10,K};$

слой 7:

$$h_{7,(K+1)} = h_{7,K} - 15\Delta_{\alpha,K} , \qquad (40)$$

где $\Delta_{\alpha,K}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,K}; \Delta_{2,K}; \Delta_{6,K}; \Delta_{8,K}; \Delta_{9,K}; \Delta_{10,K};$

слой 8:

$$h_{8,(\kappa+1)} = h_{8,\kappa} - 3\left[h_{2,(\kappa+1)} - h_{2,\kappa}\right] - 1{,}5\left[h_{4,(\kappa+1)} - h_{4,\kappa}\right] -$$

$$- 2\left[h_{5,(\kappa+1)} - h_{5,\kappa}\right] - 2\left[h_{6,(\kappa+1)} - h_{6,\kappa}\right] - 40\Delta_{\alpha,\kappa}\ , \quad (41)$$

где $\Delta_{\alpha,\kappa}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,\kappa}$, $\Delta_{2,\kappa}$, $\Delta_{6,\kappa}$, $\Delta_{10,\kappa}$;

слой 9:

$$h_{9,(\kappa+1)} = h_{9,\kappa} - 3\left[h_{2,(\kappa+1)} - h_{2,\kappa}\right] - 1{,}5\left[h_{4,(\kappa+1)} - h_{4,\kappa}\right] -$$

$$- 2\left[h_{5,(\kappa+1)} - h_{5,\kappa}\right] - 2\left[h_{6,(\kappa+1)} - h_{6,\kappa}\right] - 40\Delta_{\alpha,\kappa}\ , \quad (42)$$

где $\Delta_{\alpha,\kappa}$ – наименьшее значение показателя прочности из $\Delta_{0,\kappa}$; $\Delta_{2,\kappa}$; $\Delta_{6,\kappa}$; $\Delta_{10,\kappa}$.

2.3.14. Проверяют, удовлетворяют ли абсолютные значения поправок для слоев $i = 2; 4; 5; 6; 7$ условию

$$\left| h_{i,(\kappa+1)} - h_{i,\kappa} \right| \geq 1 \text{ см}. \quad (43)$$

Если неравенство (43) не удовлетворяется, то полагают

$$h_{i,(\kappa+1)} = h_{i,\kappa} \pm 1 \text{ см}.$$

Знак "+" или "–" принимается обратным знаку показателя прочности $\Delta_{\alpha,\kappa}$.

2.3.15. Проверяют, выполняется ли условие

$$h_i \geq h_{i\,min},\ i = 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9. \quad (44)$$

Если неравенство (44) для какого-либо слоя не

удовлетворяется, то для этого слоя принимают $h_i = h_{i\,min}$

2.3.16. Проверяют, удовлетворяется ли неравенство

$$h_i \leq h_{i\,max}, \quad i = 2;\ 4;\ 5;\ 6;\ 7;\ 8;\ 9. \qquad (45)$$

Если для какого-либо слоя условие (45) оказывается нарушенным, то для этого слоя принимают

$$h_i = h_{i\,max}.$$

2.3.17. Вычисляют индекс итерации в блоке III: $K = K+1$.

2.3.18. Расчет любой конструкции дорожной одежды с подбором толщины по блоку III и с удовлетворением условий прочности по второй части блока II всегда будет завершен максимально за 25 итераций. Если расчет не завершится, то это означает, что неудовлетворительно заданы исходные условия. Такая конструкция должна быть выведена в блок 1У с соответствующей отметкой. Поэтому завершающим этапом расчетов в блоке III должна быть проверка условия $K \geq 25$.

Если оно выполняется, то конструкция поступает в блок 1У; если нет - то, в зависимости от условий прочности, она либо возвращается в блок II, либо поступает в блок 1У.

Проверка конструкции дорожной одежды по условию морозоустойчивости

2.3.19. Конструкция дорожной одежды (толщины слоев), рассчитанная по условию прочности в блоке II, проверяется на морозоустойчивость. Для этого толщина одежды, необходимая по условиям прочности всей конструкции и приведенная по теплопроводности к толщине слоя гранитного щебня $\left(\sum_{i=1}^{i=9} h_i \varepsilon_i\right)$, сопоставляется с требуемой толщиной одежды $(h_{min\,мор})$ по условию морозоустойчивости дорожной конструкции (здесь ε_i -

эквивалент теплотехнических свойств материала (по отношению к гранитному щебню) (см.прил.6).

Если $\sum_{i=1}^{q} h_i \mathcal{E}_i \geq h_{min\,мор}$, то толщины слоев одежды, рассчитанной по условиям прочности, поступают в блок 1У.

Если $\sum_{i=1}^{q} h_i \mathcal{E}_i < h_{min\,мор}$, то проводится их корректировка в блоке У.

Расчет в блоке 1У

2.3.20. Блок 1У предназначен для нахождения оптимального по строительным затратам варианта дорожной одежды методом покоординатного спуска.

Последовательность операций в блоке 1У представлена в прил.4.

2.3.21. Предусматривается проводить расчеты в три этапа (индекс этапа ν). На каждом этапе варьируют попарно толщины двух из заданных слоев с индексом d, f, j , оставляя толщину третьего неизменной. На схеме варьируемые толщины выше- и нижележащего слоев обозначены индексами соответственно u и v . На первом этапе варьируют толщины покрытия h_d и верхнего слоя основания h_f, на втором - толщины покрытия h_d и нижнего слоя основания h_j, на третьем - толщину верхнего слоя основания h_f с подбором толщины нижнего подстилающего слоя h_j .

2.3.22. Для каждой итерации строительные затраты $S_к$ определяются по формуле

$$S_к = \sum_{i=1}^{q} S_i\, h_i \qquad (46)$$

Значение S_i задано в исходной информации.

2.3.23. Для расчетов на каждом последующем этапе принимается вариант с наименьшим значением $S_{к\,min}$ из всех, встречавшихся на данном и предыдущих этапах. Если две или несколько конструкций имеют минимальные затраты, то для дальнейших расчетов автома-

тически выбирается вариант с наименьшим значением h_d. Если встречаются варианты с одинаковыми минимальными затратами и равными значениями h_d, то за основу принимают конструкцию с меньшей толщиной верхнего слоя основания h_1.

2.3.24. Проведение расчетов по первым трем этапам ($\gamma = 3$) составляет первое приближение ($q = 1$) к конструкции, имеющей минимальные строительные затраты. Для нахождения такой конструкции осуществляются второе и последующие приближения, для чего толщины конструкции с минимальными затратами, полученными на предыдущем приближении, снова поступают в начало блока 1У.

Если толщины слоев, определенные на предыдущем и последующем приближениях, отличаются менее чем на 1 см, расчет считается оконченным. При этом на выход должны быть поданы из памяти данные не только по варианту конструкции с наименьшим значением $S_{к\ min}$, но и по всем остальным удовлетворяющим условиям прочности вариантам, встречавшимся при поиске оптимального соотношения толщин слоев.

На основании этих данных из конструкций, незначительно отличающихся между собой по строительным затратам, может быть выбрана наиболее целесообразная в данных условиях по натуральным показателям (энергоемкости, необходимости расхода дефицитных материалов, индустриальности и т.д.).

Расчет в блоке У

2.3.25. В блоке У определяются толщины слоев дорожной одежды для случая, когда их общая толщина должна удовлетворять требованиям морозозащиты земляного полотна. При этом экономические требования к соотношению толщин слоев становятся второстепенными, так как конструкция проектируется по принципу подбора минимально допустимых толщин покрытия и

верхнего слоя основания при значительном развитии толщины наиболее дешевого морозозащитного слоя. Этот принцип и реализуется в блоке У.

2.3.26. Алгоритм расчетов по блоку У представлен в прил.5. Алгоритм предусматривает введение коррективов в толщины покрытия h_d верхнего слоя основания h_f и нижнего слоя основания (морозозащитного) h_j, если

$$\sum_{i=1}^{i=9} h_i \varepsilon_i < h_{min\ мор}, \qquad (47)$$

где $h_{min\ мор}$ – минимальная толщина слоя одежды, требуемая по условиям морозозащиты; определяется по составленным заранее таблицам либо рассчитывается в соответствии с ВСН 46-83.

Пример расчета дорожной одежды приведен в прил.7.

Таблицы для введения исходной информации

Таблица 1

Параметры расчетных нагрузок

Тип нагрузки	Среднее давление колеса на покрытие p, МПа	Диаметр следа колеса автомобиля D, см
Автомобили:		
группы А	0,6	37
группы Б	0,5	32
Автобусы:		
группы А	0,6	39
группы Б	0,5	34

Таблица 2

Допустимый уровень надежности $K_н$ и минимальное значение коэффициента прочности $K_{пр}$

Тип дорожной одежды	Категория дороги	$K_н$	$K_{пр}$
Капитальный с усовершенствованным покрытием	I, II, Ic, III, IIc	0,95 0,90	1,00 0,94
Облегченный с усовершенствованным покрытием	III, IУ, IIc	0,85	0,90
Переходный	IУ, У, IIc, IIIc	0,60	0,63

Таблица 3

Значения коэффициента нормированного отклонения t

$K_н$	0,60	0,85	0,90	0,95
t	0,25	1,06	1,32	1,71

Таблица 4

Коэффициенты a и b для расчета $E_{тр}$ по формуле (5) для 1-1У дорожно-климатических зон

Тип расчетной нагрузки	a	b
Автомобили:		
группы А	70	56
группы Б	70	0
Автобусы:		
группы А	77	62
группы Б	77	0

Примечание. Для У дорожно-климатической зоны требуемые значения модуля упругости $E_{тр}$, вычисленные по формуле (5), уменьшают на 15%.

Таблица 5

Минимальные значения требуемого модуля упругости $E_{тр}$

Категория дороги	Расчетная интенсивность $N_р$, ед./сут		Требуемый модуль упругости $E_{тр}$, МПа, для дорожной одежды типа		
	Группа А	Группа Б	капитального	облегченного	переходного
I	500	-	230	-	-
II	250	-	220	180	-
III	70	-	180	160	-
1У	-	70	-	125	65
У	-	50	-	100	50

Таблица 6

Характеристики материалов слоев 1 и 2 при определении Δ_2

Материал	Марка битума	Расчетный модуль упругости E_i, МПа	Среднее значение сопротивления растяжению при изгибе $\bar{R}$, МПа
Плотные асфальтобетонные смеси I-III марок	БНД 40/60	6000	3,2
	БНД 60/90	4500	2,8
	БНД 90/130	3600	2,4
	БНД 130/200	2600	2,0
	БНД 200/300	2000	1,8
	БГ 70/130	1700	1,7
	СГ 130/200	1500	1,6
Пористый асфальтобетон	БНД 40/60	3600	1,8
	БНД 60/90	2800	1,6
	БНД 90/130	2200	1,4
	БНД 130/200	1800	1,2
	БНД 200/130	1400	1,1
Высокопористый щебеночный асфальтобетон, в том числе битумопесчаная смесь по ТУ 218 РСФСР 395-79	БНД 40/60	3000	1,1
	БНД 60/90	2100	1,0
	БНД 90/130	1700	0,9
Плотный дегтебетон	-	10000	2,5
Пористый дегтебетон	-	5000	1,5

Таблица 7

Расчетные модули упругости E_i'' и E_i''' материалов слоев 1 и 2

Материал	Марка битума	Значения модулей упругости, МПа				
		E_i'' (при определении Δ_0)	E_i''' (при определении Δ_5, $\Delta_6, \Delta_7, \Delta_8, \Delta_9, \Delta_{10}$)			
			Дорожно-климатическая зона			
			I–II	III	IУ	У
Плотные асфальтобетонные смеси	БНД 40/60	4400	2600	1300	690	430
	БНД 60/90	3200	1800	900	550	380
	БНД 90/130	2400	1200	660	440	350
	БНД 130/200	1500	800	560	380	320
	БНД 200/300	1200	600	420	350	300
	БГ 70/130	1000	400	350	300	300
	СГ 70/130	800	350	300	250	250
	СГ 130/200	900	400	350	300	300
	МГ 70/130	800	350	300	250	250

Пористый и высокопористый асфальтобетон, в том числе битумопесчаная смесь по ТУ 218 РСФСР 395-79	БНД 40/60	2800	1700	900	540	390
	БНД 60/90	2000	1200	700	460	360
	БНД 90/130	1400	800	510	380	350
	БНД 130/200	1100	590	410	340	340
	БНД 200/300	950	460	350	330	330
Плотный дегтебетон	-	3800	1500	800	500	350
Пористый дегтебетон	-	2000	800	400	350	300

Примечания: 1. Модули упругости плотного асфальтобетона даны для смесей типа Б. Для III-1У дорожно-климатических зон модули упругости для смесей типа А следует увеличить на 20%, типов В, Г и Д - уменьшить на 20%.

2. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетонов даны для средне- и мелкозернистых смесей. Для III-1У дорожно-климатических зон. модули упругости крупнозернистых смесей следует увеличить на 20%.

Таблица 8

Расчетные значения характеристик неукрепленных и укрепленных на дороге материалов и грунтов

Материал	Угол внутреннего трения φ, град	Сцепление C, МПа	Модуль упругости E, МПа	Примечание
Черный щебень, уложенный по способу заклинки	–	–	600–900	Большие значения – для покрытий, меньшие – для оснований
Щебень 1–II классов прочности, укрепленный вязким битумом по способу пропитки	–	–	400–600	То же
Щебень фракционированный 1–III классов прочности, уложенный по способу заклинки, из пород:				
прочных осадочных	–	–	350–450	–"–
изверженных	–	–	250–350	–"–
Щебень фракционированный, укрепленный цементопесчаной смесью по способу пропитки	–	–	500	–

Шлак 1-1У классов прочности, однородный по качеству, с подобранным зерновым составом:				Большие значения – при устойчивой структуре шлака
активный	–	–	350–450	
малоактивный	–	–	200–300	
Щебень рядовой шлаковый	–	–	150–200	–
Каменная мостовая, пакеляж	–	–	400–500	–
Грунт, укрепленный жидким битумом:				Большие значения – при смешении в установке и при применении битумной эмульсии
супесь непылеватая	25–35	0,02–0,035	150–200	
суглинок, супесь пылеватая	15–25	0,02–0,035	80–150	
Песчано-гравийные смеси №1, 2, 4 по ГОСТ 2507-83	180	45	0,03	–
Песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТов:				Показатели C и E при остаточной пористости песка, уплотненного до максимальной плотности при $26\% < n < 32\%$, при $n < 26\%$ увеличиваются на 20%, при $n > 32\%$ уменьшаются на 20%
крупный и гравелистый	42	0,007	130	
средней крупности	40	0,006	120	
мелкий	38	0,005	100	

Таблица 9

Характеристики материалов и грунтов, укрепленных вяжущими

№ п/п	Материал или грунт, класс прочности	Модуль упругости E, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R_5, R_6, МПа
1	Щебень и гравий, обработанные цементом марок:		
	75	1000	0,7
	60	900	0,6
	40	700	0,5
2	Крупнообломочные грунты и гравийно-песчаные смеси оптимального или близкого к оптимальному составов, укрепленные:		
	а) комплексными вяжущими:		
	I	900-700	0,55-0,45
	II	650-500	0,42-0,35
	III	450-300	0,32-0,25
	б) цементом:		
	I	800-550	0,46-0,34
	II	530-350	0,33-0,25
	III	320-280	0,22-0,20
	в) активной золой уноса или гранулированным шлаком, известью, фосфатными вяжущими и другими композиционными вяжущими, из них с добавками или без добавок ПАВ, дегтем и т.п.:		
	I	700-530	0,40-0,32
	II	500-330	0,31-0,22
	III	300-250	0,20-0,18
	г) вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	350-250	0,35-0,30

Продолжение табл. 9

№ п/п	Материал или грунт, класс прочности	Модуль упругости E, МПа	Прочность на растяжение при изгибе $R_б$, $R_б$, МПа
3	Крупнообломочные грунты и гравийно-песчаные смеси неоптимального состава, пески (кроме мелких, пылеватых и одноразмерных), супесь легкая крупная, щебень малопрочных пород и отходы камнедробления, укрепленные:		
	а) комплексными вяжущими:		
	I	800–650	0,50–0,42
	II	600–450	0,40–0,32
	III	420–280	0,31–0,24
	б) цементом:		
	I	700–500	0,40–0,30
	II	480–330	0,28–0,22
	III	300–250	0,19–0,18
	в) вяжущими, указанными в поз. 2, в:		
	II	450–300	0,25–0,17
	III	280–200	0,16–0,12
	г) вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	300–200	0,30–0,25
4	Пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и пылеватая, укрепленные:		
	а) комплексными вяжущими:		
	I	750–600	0,47–0,40
	II	550–400	0,37–0,30
	III	380–250	0,28–0,22
	б) цементом:	650–480	0,35–0,26
	I	450–300	0,25–0,18
	II	260–220	0,16–0,13
	III		

Продолжение табл.9

№ п/п	Материал или грунт, класс прочности	Модуль упругости E, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R_5, R_6, МПа
	в) вяжущими, указанными в поз.2, в:		
	II	430-280	0,22-0,11
	III	230-180	0,08-0,07
	г) вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	300-220	0,25-0,20
5	Побочные продукты промышленности (каменные материалы и крупнообломочные грунты, сопутствующие рудным ископаемым; золошлаковые смеси, формовочные смеси; фосфоритные "хвосты" и т.п.), укрепленные:		
	а) комплексными вяжущими:		
	I	700-550	0,45-0,37
	II	530-350	0,36-0,28
	III	320-200	0,26-0,12
	б) цементом:		
	I	600-420	0,30-0,22
	II	400-250	0,20-0,14
	III	220-180	0,12-0,09
	в) вяжущими, указанными в поз.2, в:		
	II	350-220	0,15-0,09
	III	200-130	0,08-0,06
	г) вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	250-180	0,20-0,15

Окончание табл. 9

№ п/п	Материал или грунт, класс прочности	Модуль упругости E, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R_5, R_6, МПа
6	Супеси тяжелые пылеватые, суглинки легкие, укрепленные:		
	а) комплексными вяжущими:		
	I	600–500	0,40–0,35
	II	450–300	0,32–0,25
	III	280–150	0,24–0,10
	б) минеральными вяжущими – цементом, золой уноса или гранулированным шлаком:		
	I	500–350	0,22–0,16
	II	350–230	0,16–0,12
	III	200–120	0,09–0,07
	в) вяжущими, указанными в поз. 2, в:		
	II	300–200	0,12–0,08
	III	180–100	0,06–0,05
	г) эмульсией на вязком битуме	250–180	0,17–0,10
7	Суглинки тяжелые и пылеватые, глины песчанистые и пылеватые, укрепленные минеральными и комплексными вяжущими:		
	II	330–200	0,12–0,08
	III	180–80	0,06–0,05

Примечание. Большие значения следует принимать при укреплении: битумом – для I–III дорожно-климатических зон; неорганическими вяжущими – для IУ–У дорожно-климатических зон; комплексным вяжущим – в случае использования битумной эмульсии или жидкого битума совместно с цементом, а также битумной эмульсии совместно с карбамидными смолами.

Таблица 10

Расчетные характеристики песчаных грунтов (кроме песка пылеватого) и супеси легкой крупной

Грунт	E_{10}, МПа	φ_{10}, град
Песок крупный, гравелистый	130	42
Песок средней крупности	120	40
Песок мелкий	100	38
Песок одномерный (барханный, дюнный и т.п.)	75	33
Супесь легкая крупная	65	40

Примечание. Сцепление для указанных видов грунта C = 0,005 МПа.

Таблица 11

Значение коэффициента K_3, учитывающего особенности работы подстилающего грунта

Грунт	K_3
Пески крупные	7,0
Пески средней крупности	6,0
Пески мелкие	5,0
Пески пылеватые, супеси легкие крупные	3,0
Глинистые грунты (глины, суглинки, супеси, кроме легкой крупной)	1,5

Таблица 12

Исходная средняя многолетняя влажность $(\bar{W}/W_T)_{исх}$ пылеватых песков и глинистых грунтов

Дорожно-климатическая зона	Тип местности по условиям увлажнения	Влажность $(\bar{W}/W_T)_{исх}$			
		супеси легкой	песка пылеватого	суглинка легкого и тяжелого, глины	супеси пылеватой и тяжелой пылеватой, суглинка легкого пылеватого и тяжелого пылеватого
I_1	1	0,53	0,57	0,62	0,65
	2	0,55	0,59	0,65	0,67
	3	0,57	0,62	0,67	0,70
I_2	1	0,57	0,57	0,62	0,65
	2	0,59	0,62	0,67	0,70
	3	0,62	0,65	0,70	0,75
I_3	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,62	0,65	0,70	0,75
	3	0,65	0,70	0,75	0,80
II_1	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75

Продолжение табл. 12

Дорожно-климатическая зона	Тип местности по условиям увлажнения	Влажность $(\tilde{W}/W_T)_{ucx}$			
		супеси легкой	песка пылеватого	суглинка легкого и тяжелого, глины	супеси пелеватой и тяжелой пылеватой, суглинка легкого пылеватого и тяжелого пылеватого
II_2	1	0,57	0,59	0,62	0,67
	2	0,60	0,62	0,65	0,70
	3	0,62	0,64	0,67	0,72
III	1	0,55	0,57	0,60	0,63
	2–3	0,59	0,61	0,63	0,67
IУ	1	0,53	0,55	0,57	0,60
	2–3	0,57	0,58	0,60	0,64
У	1	0,52	0,53	0,54	0,57
	2–3	0,55	0,56	0,57	0,60

Примечания: 1. Средние значения влажности грунта приведены для толщины одежды 75 см.

2. Для дорог, проходящих в неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях – в выемках и нулевых отметках, данные таблицы следует увеличивать на 0,03.

3. Для предгорных (до 1000 м) районов данные таблицы увеличиваются на 0,03 и для горных (свыше 1000 м) на 0,05.

Таблица 13

Поправка $(\bar{W}/W_т)_{попр}$ к относительной средней влажности грунта $(\bar{W}/W_т)_{исх}$

Конструктивное мероприятие	$(\bar{W}/W_т)_{попр}$ для дорожно-климатической зоны			
	I	III	IУ	У
Устройство одежды (на границе раздела с грунтом земляного полотна) из укрепленных материалов и грунтов на основе:				
крупнообломочного грунта и песка	0,04	0,04	0,03	0,03
супеси	0,05	0,05	0,05	0,04
пылеватого песка и супеси, суглинка, зологрунтов	0,08	0,08	0,06	0,05
Укрепление обочин (не менее чем на 2/3 их ширины):				
асфальтобетоном	0,05	0,04	0,03	0,02
щебнем (гравием)	0,03	0,02	0,02	0,02
Обеспечение безопасного расстояния от уреза застаивающейся воды до бровки земляного полотна	0,03	0,02	-	-
Дренаж с продольными трубчатыми дренами	0,05	0,03	-	-
Устройство в земляном полотне гидроизолирующих прослоек из полимерных рулонных материалов	0,05	0,05	0,03	0,03
Устройство обоймы для грунта активной зоны земляного полотна	Снизить расчетную влажность грунта до оптимального значения			

Таблица I4

Расчетные значения деформационных и прочностных характеристик глинистых грунтов и пылеватого песка

Грунт	Характеристика грунта	Расчетные характеристики при влажности грунта, доли W_T									
		0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
Супесь легкая	$\bar{E}_{w}$, МПа	70	60	56	53	49	45	43	42	4I	40
	$\bar{\varphi}_{w}$, град	37	36	36	36	35	35	34	34	33	33
	$\bar{C}_{w}$, МПа	0,0I5	0,0I4	0,0I4	0,0I3	0,0I2	0,0II	0,0I0	0,009	0,008	0,007
Песок пылеватый	$\bar{E}_{w}$, МПа	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
	$\bar{\varphi}_{w}$, град	38	38	37	37	36	35	34	33	32	3I
	$\bar{C}_{w}$, МПа	0,026	0,024	0,022	0,0I8	0,0I4	0,0I2	0,0II	0,0I0	0,009	0,008
Суглинок легкий и тяжелый, глина	$\bar{E}_{w}$, МПа	I08	90	72	50	4I	34	29	25	24	23
	$\bar{\varphi}_{w}$, град	32	27	24	2I	I8	I5	I3	II	I0	9
	$\bar{C}_{w}$, МПа	0,060	0,048	0,040	0,032	0,022	0,0I7	0,0I3	0,0I0	0,007	0,005
Супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый	$\bar{E}_{w}$, МПа	I08	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	$\bar{\varphi}_{w}$, град	32	27	24	2I	I8	I5	I3	II	I0	9
	$\bar{C}_{w}$, МПа	0,060	0,048	0,040	0,033	0,022	0,0I7	0,0I3	0,0I0	0,007	0,005

Таблица 15

Минимальные толщины $h_{i\,min}$ конструктиных слоев дорожной одежды

Материал конструктивного слоя одежды	$h_{i\,min}$, см для дорог категории	
	I–II	III–IУ
Асфальтобетон:		
крупнозернистый	6	7
мелкозернистый	3	5
песчаный	3	4
холодный	3	3
Щебеночные (гравийные) материалы и грунты, укрепленные органическими вяжущими	8	8
Щебень, обработанный по способу пропитки	8	8
Щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими, на основании:		
песчаном	15	15
прочном (каменном или из укрепленного грунта)	8	8
Грунты и малопрочные каменные материалы, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10	10
Грунты повышенной плотности	50	50

Расчетная таблица для
двух

$\frac{E^{(k+1)}_{обм}}{E}$	Значение									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,85	0,85	0,852	0,856	0,867	0,878	0,888	0,898	0,905	-	-
0,80	0,80	0,805	0,816	0,829	0,845	0,859	0,872	0,882	0,891	0,898
0,75	0,75	0,758	0,772	0,791	0,811	0,829	0,844	0,857	0,868	0,877
0,70	0,70	0,711	0,728	0,751	0,776	0,797	0,816	0,831	0,844	0,855
0,65	0,65	0,662	0,683	0,711	0,739	0,764	0,785	0,803	0,818	0,831
0,60	0,60	0,614	0,638	0,669	0,700	0,729	0,753	0,773	0,791	0,806
0,55	0,55	0,564	0,592	0,626	0,660	0,692	0,718	0,741	0,761	0,778
0,50	0,50	0,514	0,544	0,581	0,619	0,652	0,682	0,707	0,728	0,747
0,45	0,45	0,464	0,496	0,536	0,575	0,611	0,642	0,670	0,693	0,714
0,40	0,40	0,414	0,448	0,488	0,529	0,567	0,600	0,629	0,654	0,677
0,35	0,35	0,364	0,398	0,439	0,481	0,520	0,554	0,585	0,612	0,636
0,30	0,30	0,313	0,347	0,388	0,430	0,470	0,505	0,537	0,565	0,590
0,25	0,25	0,262	0,295	0,336	0,377	0,415	0,451	0,483	0,512	0,538
0,20	0,20	0,211	0,242	0,280	0,319	0,357	0,391	0,423	0,451	0,478
0,15	0,15	0,159	0,188	0,222	0,258	0,292	0,324	0,354	0,382	0,407
0,10	0,10	0,108	0,132	0,161	0,191	0,220	0,248	0,274	0,299	0,322
0,05	0,05	0,055	0,073	0,093	0,114	0,135	0,158	0,174	0,193	0,211
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Приложение 2

НО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Таблица I

определения общего модуля упругости
слойной системы $E_{общ}$

$E_{2m}^{(1)}/E_1$ при h_1/D										
I,0	I,I	I,2	I,3	I,4	I,5	I,6	I,7	I,8	I,9	2,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,904	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,885	0,892	0,897	0,902	-	-	-	-	-	-	-
0,864	0,872	0,880	0,886	0,89I	0,896	0,900	-	-	-	-
0,842	0,852	0,860	0,867	0,874	0,879	0,884	0,889	0,893	0,896	0,900
0,8I8	0,829	0,839	0,847	0,855	0,86I	0,867	0,872	0,877	0,882	0,886
0,792	0,804	0,8I5	0,825	0,834	0,84I	0,848	0,854	0,860	0,865	0,870
0,763	0,777	0,790	0,800	0,8I0	0,8I9	0,827	0,834	0,840	0,846	0,85I
0,73I	0,747	0,76I	0,773	0,784	0,794	0,802	0,8II	0,8I8	0,824	0,83I
0,696	0,7I3	0,728	0,742	0,754	0,765	0,775	0,784	0,792	0,800	0,807
0,656	0,675	0,692	0,707	0,720	0,732	0,743	0,753	0,763	0,77I	0,779
0,6I2	0,632	0,650	0,666	0,68I	0,694	0,706	0,7I7	0,728	0,737	0,746
0,56I	0,582	0,60I	0,6I8	0,634	0,649	0,662	0,674	0,686	0,696	0,706
0,50I	0,523	0,543	0,56I	0,578	0,594	0,608	0,622	0,634	0,646	0,656
0,43I	0,453	0,473	0,492	0,509	0,525	0,540	0,554	0,568	0,580	0,592
0,344	0,364	0,384	0,402	0,4I8	0,435	0,450	0,464	0,478	0,49I	0,503
0,228	0,244	0,26I	0,275	0,290	0,304	0,3I7	0,330	0,343	0,355	0,366
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2

Максимальные растягивающие напряжения при изгибе $\bar{\sigma}_{ч\,(2)}$ в монолитном покрытии (слой 2)

$E^{***}_{ср}/E^{(э)}_{общ}$	Значение $\bar{\sigma}_{r(2)}$ при $(\sum_{i=1}^{2} h_i)/D$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
5	0,892	0,892	0,892	0,845	0,750	0,648	0,554	0,471	0,401	0,342
7	1,248	1,248	1,248	1,126	0,964	0,815	0,689	0,580	0,491	0,419
10	1,673	1,673	1,668	1,434	1,194	0,990	0,827	0,694	0,586	0,499
20	3,029	3,029	2,581	2,063	1,648	1,338	1,099	0,913	0,766	0,650
25	3,550	3,542	2,898	2,279	1,802	1,452	1,187	0,983	0,824	0,697
30	4,020	3,995	3,171	2,456	1,929	1,545	1,258	1,039	0,870	0,735
40	4,860	4,769	3,620	2,743	2,131	1,691	1,370	1,127	0,940	0,792
50	5,690	5,419	3,989	2,973	2,287	1,806	1,456	1,194	0,994	0,837
70	–	6,460	4,553	3,325	2,524	1,977	1,584	1,294	1,075	0,904
100	–	7,628	5,169	3,698	2,773	2,153	1,717	1,398	1,157	0,971

Таблица 3

Значения ψ для расчета слоев 5 и 6

$\left(\sum_{i=1}^{n} h_i\right)/D$	Значение ψ при E_{cp}^{**}/E_n								
	1	2	3	4	5	7	10	15	25
0,5	16,50	15,92	15,60	15,14	14,74	14,24	13,68	12,58	11,82
0,6	14,70	13,90	13,50	13,00	12,50	12,00	11,30	10,28	9,32
0,7	12,70	12,00	11,50	11,00	10,38	9,90	9,08	8,12	7,36
0,8	11,00	10,20	9,64	9,06	8,62	8,08	7,38	6,62	5,92
0,9	9,41	8,64	8,17	7,60	7,12	6,66	6,05	5,50	4,82
1,0	8,00	7,36	6,80	6,40	6,00	5,66	5,00	4,58	4,02
1,1	6,86	6,32	5,85	5,50	5,15	4,84	4,26	3,88	3,38
1,2	6,10	5,54	5,10	4,78	4,42	4,16	3,66	3,30	2,86
1,3	5,40	4,88	4,48	4,16	3,88	3,58	3,22	2,86	2,46
1,4	4,76	4,35	3,98	3,66	3,36	3,12	2,82	2,46	2,10
1,5	4,24	3,80	3,50	3,22	2,96	2,74	2,44	2,14	1,80
1,6	3,74	3,36	3,06	2,86	2,64	2,40	2,16	1,90	1,60
1,7	3,34	3,00	2,74	2,56	2,36	2,16	1,90	1,68	1,40
1,8	3,00	2,72	2,46	2,28	2,12	1,94	1,70	1,50	1,24
1,9	2,74	2,46	2,24	2,08	1,90	1,74	1,54	1,36	1,12
2,0	2,50	2,24	2,04	1,90	1,68	1,56	1,40	1,24	1,00

Таблица 4

Значения $\bar{z}$ для расчета слоев 7, 8, 9 и подстилающего полупространства 10 из связных грунтов

$\left(\sum_{i=1}^{k-1} h_i\right)/D$	Значение $\bar{z}$ при $E_{ср}^{**}/E_{общ}^{(1)}$								
	5	7	10	15	20	25	30	40	50
0	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
0,1	66,60	65,00	62,50	60,40	58,60	56,70	55,10	53,10	51,60
0,2	61,50	58,60	54,80	50,90	47,50	43,70	40,00	35,40	32,90
0,3	56,40	52,40	47,50	42,10	38,00	33,50	28,80	23,70	20,30
0,4	51,30	46,20	41,00	34,90	30,10	25,10	20,30	16,20	14,30
0,5	46,60	40,70	34,90	28,80	24,30	20,30	16,50	13,20	11,15
0,6	41,50	35,00	29,20	24,00	20,00	16,30	13,50	10,75	9,50
0,7	36,50	29,70	24,40	20,00	16,50	13,50	11,15	9,15	8,05
0,8	31,20	25,40	20,30	16,90	14,20	11,40	9,50	7,80	6,85
0,9	26,80	21,40	17,10	14,00	11,75	9,85	8,25	6,75	5,80
1,0	22,80	18,50	14,90	12,00	10,00	8,50	7,15	5,80	4,95
1,1	20,00	16,00	12,70	10,35	8,55	7,30	6,20	5,00	4,25
1,2	17,75	13,60	11,00	8,90	7,40	6,30	5,35	4,35	3,70
1,3	15,70	11,65	9,65	7,75	6,45	5,50	4,70	3,85	3,25
1,4	13,30	10,35	8,55	6,85	5,70	4,90	4,20	3,45	2,90
1,5	12,25	9,15	7,57	6,10	5,10	4,40	3,75	3,10	2,62
1,6	11,10	8,15	6,75	5,50	4,60	4,00	3,45	2,80	2,35
1,7	9,95	7,30	6,10	5,00	4,15	3,65	3,10	2,55	2,15
1,8	8,90	6,65	5,55	4,55	3,80	3,35	2,85	2,35	1,95
1,9	8,00	6,05	5,00	4,20	3,50	3,05	2,60	2,15	1,80
2,0	7,25	5,60	4,75	3,95	3,25	2,85	2,45	2,00	1,65
2,2	6,00	4,85	4,10	3,35	2,80	2,40	2,05	1,70	1,40
2,4	5,20	4,25	3,60	2,90	2,40	2,10	1,80	1,45	1,20
2,6	4,50	3,75	3,20	2,57	2,10	1,80	1,55	1,25	1,05
2,8	4,00	3,35	2,90	2,25	1,80	1,55	1,35	1,15	0,95
3,0	3,60	3,00	2,60	2,00	1,60	1,35	1,15	1,00	0,80
3,5	2,80	2,40	2,05	1,60	1,30	1,05	0,95	0,80	0,65
4,0	2,40	2,00	1,60	1,35	1,15	0,95	0,80	0,70	0,60

Приложение 3

Определение расчетной интенсивности воздействия нагрузки на дорожную одежду

При расчете на прочность одежд автомобильных дорог перспективную интенсивность движения автомобилей разных марок в обоих направлениях приводят к расчетной интенсивности воздействия расчетной нагрузки $Q_{расч}$ на одну полосу проезжей части в сутки.

Под расчетной интенсивностью N_p воздействия нагрузки понимают среднесуточное перспективное, приведенное к расчетной нагрузке количество проездов и ведущих, и ведомых колес (по одному борту) транспортных средств в пределах одной полосы движения. Расчет N_p проводят в следующем порядке.

1. Определяют исходную информацию:

марки автомобилей $j = 1, 2, 3, \ldots, \omega$ (где ω – общее количество различных марок автомобилей в составе транспортного потока);

перспективное (в обоих направлениях) количество автомобилей каждой марки в составе потока с учетом нормативного срока службы дорожной одежды;

статическую нагрузку на колесо каждой оси для каждой из заданных марок автомобилей;

для трехосных автомобилей: расстояние между осями колес задней тележки L, диаметр следа заднего колеса D_u, общую нагрузку на колесо расчетного автомобиля $Q_{расч}$ (кН):

Автомобили:	
группы А	63,7
группы Б	38,2
Автобусы:	
группы А	70,6
группы Б	45,1

коэффициент α' приведения общей перспективной интенсивности воздействия нагрузок на дорогу к расчетной перспективной интенсивности на полосу (см.таблицу настоящего приложения).

Общее количество полос движения	Значение коэффициента α для полосы (считая справа по ходу движения)		
	1-й	2-й	3-й
1	1,00	-	-
2	0,55	-	-
3	0,50	0,50	-
4	0,35	0,20	-
6	0,30	0,20	0,05

2. Вычисляют суммарный коэффициент для приведения воздействия на дорожную одежду автомобилей j-й марки к расчетной нагрузке $Q_{расч}$ по формулам:

для двухосных автомобилей:

$$S_{j\ сумм} = 3,172 \left[\left(\frac{Q_1}{Q_{расч}} \right)^{4,4} + \left(\frac{Q_2}{Q_{расч}} \right)^{4,4} \right] ;$$

трехосных:

$$S_{j\ сумм} = 3,172 \left\{ \left(\frac{Q_1}{Q_{расч}} \right)^{4,4} + \left[\frac{Q_2 (1 + q_{i+1})}{Q_{расч}} \right]^{4,4} + \left[\frac{Q_3 (1 + q_{i-1})}{Q_{расч}} \right]^{4,4} \right\} ,$$

где Q_1, Q_2, Q_3 - статическая нагрузка на колесо соответственно первой, второй и третьей осей;

q_{i+1}, q_{i-1} - коэффициенты, учитывающие влияние соответственно впереди и позади идущих колес на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды под i-м колесом.

Коэффициент g_{i+1} и g_{i-1} определяются по формулам для расчетного автомобиля:

группы А:

$g_{i-1} = 0{,}015(L/D_u)^2 - 0{,}277\ L/D_u + 0{,}894;$

$g_{i+1} = 2{,}02\ exp\ [-0{,}92(L/D_u)];$

группы Б:

$g_{i-1} = 0{,}016\ (L/D_u)^2 - 0{,}235\ L/D_u + 0{,}871;$

$g_{i+1} = 2{,}29\ exp\ [-1{,}34\ (L/D_u)].$

3. Вычисляют расчетную интенсивность воздействия нагрузки по формуле

$$N_p = \alpha' \sum_{j=1}^{\omega} N_j\ S_j\ сумм$$

Алгоритм расчета по блоку IV

1_4 Вычислить $S_к$

2_4 Запомнить $S_к$

3_4 Если $h_v < h_{v\,min}$ +2 см, идти к 20_4

4_4 Если $h_u > h_{u\,max}$-1 см, идти к 20_4

5_4 Если $\sum_{i=1}^{9} h_i \varepsilon_i - h_{min\,мор} < 2$ см, идти к 20_4

6_4 Увеличить h_u на 1 см, уменьшить h_v на 2 см

7_4 Принять $К = 0$ (индекс-определитель блока 1У)

8_4 Расчет по блоку II

9_4 Если $\Delta_i < 0$, идти к 14_4

10_4 Если $h_v < h_{v\,min}$ +1 см, идти к 15_4

11_4 Если $\sum_{i=1}^{9} h_i \varepsilon_i - h_{min\,мор} < 1$ см, идти к 20_4

12_4 Уменьшить h_v на 1 см

13_4 Идти к 7_4

14_4 Увеличить h_v на 1 см

15_4 Вычислить $S_{к+1}$

16_4 Запомнить $S_{к+1}$

17_4 Если $S_{к+1} > S_к$, идти к 19_4

18_4 Идти к 3_4

19_4 Выбрать конструкцию, имеющую наименьшее значение S

20_4 Если $h_u < h_{u,min}$ +1 см, идти к 31_4

21_4 Если $h_v > h_{v\,max}$-2 см, идти к 31_4

22_4 Уменьшить h_u на 1 см, увеличить h_v на 2 см

23_4 Принять K =0

24_4 Расчет по блоку II

25_4 Если хотя бы один из $\Delta_0, \Delta_2, \Delta_5, \Delta_6$ или $\Delta_{10} < 0$, идти к 39_4

26_4 Если один какой-либо из Δ_7, Δ_8 или $\Delta_9 < 0$, идти к 37_4

27_4 Вычислить S

28_4 Запомнить S

29_4 Если $S_{K+1} < S_K$, идти к 20_4

30_4 Выбрать конструкцию, имеющую наименьшее значение S

31_4 Если рассмотрены все пары варьируемых слоев (ν_4=3) (покрытие-основание, основание-подстилающий слой, покрытие-подстилающий слой), то идти к 34_4

32_4 Выбрать для варьирования следующую пару слоев

33_4 Идти к 3_4

34_4 Расположить закрепленные в памяти варианты конструкций по убывающей величине S

35_4 Напечатать результат

36_4 Стоп

37_4 Увеличить h_u на 1 см

38_4 Идти к 27_4

39_4 Если $h_v \leq h_{v\,max}$-1 см, идти к 42_4

40_4 Увеличить h_u на 1 см

41_4 Идти к 27_4

42_4 Увеличить h_v на 1 см

43_4 Идти к 23_4

Алгоритм расчета по блоку V

Вычислить $\sum_{i=1}^{9} h_i \varepsilon_i = h_1\varepsilon_1 + h_2\varepsilon_2 + \ldots + h_8\varepsilon_8 + h_9\varepsilon_9$

Если $\sum_{i=1}^{9} h_i \varepsilon_i \geq h_{min\ мор}$, то идти в блок 1У

} (см.п.2.3.19)

1_5 Вычислить $\Delta h = h_{min\ мор} - \sum_{i=1}^{i=9} h_i \varepsilon_i$

2_5 Вычислить $h_{j,(к+1)} = h_{j,к} + 1{,}2\,\Delta h$

3_5 Вычислить $h_{d,(к+1)} - h_{d,к} - 0{,}2\,\Delta h$

4_5 Если $h_{d,(к+1)} \geq h_{d,min}$, идти к 9_5

5_5 Принять $h_{d,(к+1)} = h_{d\ min}$

6_5 Вычислить $h_{f,(к+1)} = h_{f,к} - 0{,}2\,\Delta h + h_{d,(к+1)} - h_{d,к}$

7_5 Если $h_{f,(к+1)} \geq h_{f\ min}$, идти к 9_5

8_5 Принять $h_{f,(к+1)} = h_{f\ min}$

9_5 Присвоить К =–1 (индекс-определитель блока У)

10 Расчет по блоку II

1_5 Если $\Delta_1 \geq 0$, идти к 26_5

12_5 Если $\Delta_2 \geq 0$, идти к 22_5

13_5 Если $h_{d\ max} \geq h_{d,к} + 1$, идти к 16_5

14_5 Принять $h_{d,(к+1)} = h_{d\ max}$

15_5 Идти к 18_5

16_5 Принять $h_{d,(к+1)} = h_{d,к} + 1$ см

17_5 Идти к 19_5

18_5 Принять $h_{f,(к+1)} = h_{f,к} + 1$ см

19_5 Если $h_{min\ мор} = \sum_{i=1}^{g} h_i \varepsilon_i$, идти к 9_5

20_5 Вычислить $h_{j,(K+1)} = h_{j,(K+1)} + h_{min\ мор} - \sum_{i=1}^{g} h_i \varepsilon_i$

21_5 Идти к 9_5

22_5 Если $\Delta_6, \Delta_7, \Delta_8$ и $\Delta_9 \geqslant 0$; идти к 24_5

23_5 Идти к 18_5

24_5 Принять $h_{j,(K+1)} = h_{j,K} + 2$ см

25_5 Идти к 9_5

26_5 Вычислить стоимость конструкции

27_5 Стоп

Эквивалент теплотехнических свойств материалов ε_i для приведения к гранитному щебню

Материал, грунт	Плотность, г/см³	ε_i
Асфальтобетон:		
горячий плотный	2,4	1,15
пористый	2,3	1,22
высокопористый, в том числе битумопесчаная смесь (ТУ 218 РСФСР 395-79)	2,2-1,9	1,30-1,36
Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	0,8	2,83
Керамзитовый гравий, обработанный вязким битумом	1,1	1,71
Гравий (щебень) с легким заполнителем, обработанный вязким битумом	2,0	1,89
Супесь, укрепленная 10%-ной битумной эмульсией	1,7-1,9	1,13
Цементобетон	2,4	1,03
Песок разномерный, укрепленный 6-10% цемента	2,1	1,00
Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10% цемента	2,1	1,07
Цементогрунт:		
с керамзитом (песок - 75% массы , керамзит - 25%, цемент - 6%)	1,5-1,6	1,79-1,63
с гранулами полистирола (песок-97-98%, гранулы полистирола - 2-3% и цемент - 6-7%)	1,3-1,5	2,14-1,79

Продолжение таблицы

Материал, грунт	Плотность, г/см^3	ε_i
Битумоцементогрунт с перлитом (перлитовый щебень – 20–25%, песок – 75–80%, цемент – 4–6%, битум – 10–12% массы песка, перлита и цемента)	1,4	1,89
Цементогрунт с аглопоритом (супесь или песок – 70–80%, аглопорит – 20–30%, цемент – 6%)	1,7–1,8	1,71–1,57
Шлакобетон	1,6	1,79
Керамзитобетон	1,4	1,57
Стиропорбетон	0–1,1	2,83
Слабопрочные известняки, укрепленные известью	2,0	1,27
Суглинок, укрепленный:		
6–12% цемента	1,75–1,9	1,13
2–6% цемента и 2–6% извести	1,8–1,9	1,18
Супесь, укрепленная 8–10% цемента	1,7–1,9	1,11
Пенопласт марки ПС-4	0,04–0,06	5,95
Каменноугольная золошлаковая смесь, укрепленная 6–8% цемента	–	–
Шлак топочный	0,8	2,00
Щебень:		
из гранита	1,8	1,00
из известняка	1,6	1,15
Гравий	1,8	1,00
Песок крупный:		
талый	2,0	1,03
мерзлый	2,0	0,88
Песок средней крупности:		
талый	1,95	0,98

Окончание таблицы

Материал, грунт	Плотность, г/см³	δ_i
мерзлый	1,95	0,87
Песок мелкий:		
талый	1,85	0,98
мерзлый	1,85	0,89
Песок пылеватый:		
талый	1,75	1,02
мерзлый	1,75	0,92
Супесь:		
талая	2,1	1,02
мерзлая	2,1	0,96
Суглинок и глина:		
талые	2,0	1,07
мерзлые	2,0	0,97
Лессы:		
талые	1,5	1,11
мерзлые	1,5	0,94

Тестовый пример

Пример расчета дорожной одежды выполнен с целью проверить правильность намеченной последовательности операций по предлагаемому алгоритму и уточнить отдельные его положения. Пример может служить моделью для отладки программы.

Блок 1. Исходная информация

1. Параметры расчетной нагрузки группы А:
   p =0,6 МПа; D =37 см.
2. Приведенная интенсивность движения
   N =1630 ед./сут.
3. Покрытие – усовершенствованное капитального типа; II категория дороги; II_2 дорожно-климатическая зона; 2-й тип местности по условиям увлажнения.
4. Допустимый уровень надежности $K_н$=0,95, минимальное значение коэффициента прочности $K_{пр}$=1.
5. Требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$=275 МПа.
6. Конструкция дорожной одежды состоит из слоя 1 (плотный асфальтобетон), 2 (пористый асфальтобетон), 4 (щебень), 8 (песок) и 10 (грунт).
7. Деформационные и прочностные характеристики материалов и грунта :
   E_1 =4500 МПа; E_1'' =3200 МПа; E_1'''=1800 МПа;
   E_2' =2800 МПа; E_2'' =2000 МПа; E_2'''=1200 МПа;
   R_2=1,19 МПа;
   E_4=350 МПа;
   E_8=120 МПа; φ_8=40°; C_8=0,006 МПа;
   E_{10}=33 МПа; φ_{10}=13°; C_{10}=0,01 МПа.
8. Коэффициенты для определения допускаемого напряжения сдвига ($T_{доп}$)

слой 8 - K_1 =0,6, K_3 =6;
слой 10 - K_1 =0,6, K_3 =1,5.

9. Исходные минимальные и максимальные толщины слоев:

h_1 =6 см;
h_2 =8 см; $h_{2\ min}$ =6 см; $h_{2\ max}$ =10 см;
h_4 =20 см; $h_{4\ min}$ =15 см;
h_8 =40 см; $h_{8\ min}$ =20 см.

10. Суммарная толщина стабильных слоев дорожной одежды $h_{min\ мор}$ =86 см (из расчета по ВСН 46-83).

11. Удельные затраты на сооружение 1 м^2 конструктивного слоя толщиной 1 см $\left(\frac{\text{руб.}\cdot\text{см}}{\text{м}^2}\right)$:

S_1 =0,32; S_2 =0,3; S_4 =0,2; S_8 =0,06.

12. Номера слоев, толщины которых варьируют в блоке 1У:

d =2; f =4; j =8.

Расчет по блокам II и III

Для заданного числа конструктивных слоев вычисляли $\Delta_0, \Delta_2, \Delta_8, \Delta_{10}$ (табл.1 настоящего приложения) в последовательности, описанной выше. На 1-й итерации производили расчет для исходных толщин слоев Поправки к ним, вычисленные по соответствующим итерационным формулам, вводили на каждой последующей итерации. В нашем примере на 13-й итерации получены данные, удовлетворяющие условиям прочности, указанным в блоке II. Эти данные поступали в блок 1У.

Расчет по схеме блока 1У

Для конструкции, полученной в результате расчета на прочность в блоках II и III, вычисляли суммарные затраты (в примере S =13,02 руб./м^2).

I этап (табл.2) поиска оптимального решения со 2-й по 7-ю итерации предусматривал варьирование толщинами слоев h_2 и h_4 с 8-й по 31-ю - слоев h_4 и h_8, с 32-й по 52-ю - h_2 и h_8.

Таблица 1

Пример расчета конструкции дорожной одежды по блокам II и III

Номер итерации	Толщина слоя h_i, см				Показатель прочности Δ_i			
	h_1	h_2	h_4	h_8	Δ_0	Δ_2	Δ_8	Δ_{10}
1	6	8	20	40	-0,163	-0,061	0,017	-0,183
2	6	10	22	56	0,034	0,145	0,206	0,036
3	6	9	21	50	-0,057	0,045	0,132	-0,046
4	6	9	21	52	-0,050	0,049	0,132	-0,030
5	6	9	21	54	-0,043	0,054	0,132	-0,014
6	6	9	21	56	-0,037	0,058	0,132	0,001
7	6	9	21	58	-0,030	0,062	0,132	0,016
8	6	9	21	60	-0,024	0,066	0,132	0,032
9	6	9	21	62	-0,018	0,069	0,132	0,048
10	6	9	21	64	-0,013	0,073	0,132	0,064
11	6	9	21	66	-0,008	0,076	0,132	0,082
12	6	9	21	68	-0,003	0,079	0,132	0,100
13	6	9	21	70	0,001	0,083	0,132	0,119

Таблица 2

Пример расчета конструкции дорожной одежды по блоку 1У

Номер этапа	Номер приближения	Номер итерации	Толщина слоя h_i, см				Показатель прочности Δ_i				Строительные затраты, руб./м^2
			h_1	h_2	h_4	h_8	Δ_0	Δ_2	Δ_8	Δ_{10}	
I	Приближение 1	1	6	9	21	70	0,001	0,083	0,132	0,119	13,02
		2	6	10	19	70	0,026	0,140	0,105	0,119	–
		3	6	10	18	70	0,009	0,129	0,058	0,106	–
		4	6	10	17	70	-0,009	0,118	0,011	0,093	–
		5	6	10	18	70	0,009	0,129	0,058	0,106	12,72
		6	6	9	20	70	-0,014	0,073	0,084	0,106	–
		7	6	9	21	70	0,001	0,083	0,132	0,119	13,02
	Приближение 2	8	6	10	19	68	–	–	–	–	–
		9–14	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15	6	10	19	61	0,001	0,124	0,105	0,042	–
		16	6	10	19	60	-0,001	0,122	0,105	0,033	–
		17	6	10	19	61	0,001	0,124	0,105	0,042	12,38
		18	6	10	20	59	0,012	0,131	0,154	0,037	–
		19–20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		21	6	10	20	56	0,002	0,125	0,154	0,014	–
		22	6	10	20	55	-0,001	0,123	0,154	0,006	–
		23	6	10	20	56	0,002	0,125	0,154	0,006	12,28
		24	6	10	21	54	0,012	0,131	0,206	0,010	–

Продолжение табл.2

Номер этапа	Номер приближения	Номер итерации	Толщина слоя h_i, см				Показатель прочности Δ_i				Строительные затраты, руб./м^2
			h_1	h_2	h_4	h_8	Δ_0	Δ_2	Δ_8	Δ_{10}	
I	Приближение 2	25	6	10	21	53	0,008	0,129	0,206	0,002	–
		26	6	10	21	52	0,005	0,127	0,206	-0,006	–
		27	6	10	21	53	0,008	0,129	0,206	0,002	12,30
		28	6	10	19	58	-0,008	0,118	0,105	0,018	–
		29-30	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		31	6	10	19	61	0,001	0,124	0,105	0,042	12,38
	Приближение 3	32	6	10	20	56	–	–	–	–	–
		33	6	9	20	58	-0,046	0,052	0,084	0,006	–
		34-50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		51	6	9	20	76	-0,001	0,082	0,084	0,170	–
		52	6	9	20	77	0,002	0,083	0,084	0,182	13,24
II	Приближение 1	53	6	10	20	56	–	–	–	–	–
		54	6	9	22	56	-0,022	0,068	0,184	0,013	–
		55	6	9	23	56	-0,007	0,077	0,179	0,024	–
		56	6	9	24	56	0,007	0,086	0,228	0,035	12,78
	Приближение 2	57	6	10	21	54	0,012	0,131	0,206	0,010	–
		58	6	10	21	53	0,008	0,129	0,206	0,002	12,30
		59	6	10	19	58	–	–	–	–	–
		60	6	10	19	60	-0,001	0,122	0,105	0,033	–
		61	6	10	19	61	0,001	0,124	0,105	0,042	12,38

Окончание табл.2

Номер этапа	Номер приближения	Номер итерации	Толщина слоя h_i, см				Показатель прочности Δ_i				Строительные затраты, руб./м²
			h_1	h_2	h_4	h_8	Δ_0	Δ_2	Δ_8	Δ_{10}	
II	Приближение 3	62	6	10	20	56	–	–	–	–	–
		63	6	9	20	58	-0,046	0,052	0,084	0,006	–
		64-80	6	–	–	–	–	–	–	–	–
		81	6	9	20	76	-0,001	0,082	0,084	0,170	–
		82	6	9	20	77	0,002	0,083	0,084	0,182	13,24

На II этапе (см.табл.2) при поиске оптимального решения за исходную принималась конструкция, для которой на I этапе определены наименьшие суммарные затраты $S = 12{,}28$ руб./м^2.

Поскольку вычисленные на I и II этапах расчета толщины конструктивных слоев одинаковы, поиск оптимального решения считается законченным.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

выполненный вручную пример расчета подтвердил в целом действенность разработанной последовательности операций для отыскания оптимальной конструкции дорожной одежды;

затраты на сооружение вариантов равнопрочных конструкций могут колебаться в довольно широких пределах. В примере они изменялись от 12,38 руб./м^2 для 23-й итерации до 13,24 руб./м^2 для 52-й (всего по стоимости было рассчитано семь вариантов конструкций). Такое различие в себестоимости конструкций свидетельствует о правомерности поиска в блоке 1У оптимального по затратам варианта.

Содержание

Предисловие 3
1. Основные положения 4
2. Составление алгоритма 7
2.1. Расчетная схема 7
2.2. Исходная информация 10
2.3. Последовательность операций при расчете дорожной одежды 14
Расчет дорожных одежд на прочность в блоке II 15
Расчет в блоке III 26
Проверка конструкции дорожной одежды по условию морозоустойчивости 29
Расчет в блоке 1У 30
Расчет в блоке У 31
Приложение 1. Таблицы для введения исходной информации 33
Приложение 2. Таблицы для определения напряженно-деформированного состояния дорожной одежды 50
Приложение 3. Определение расчетной интенсивности воздействия нагрузки на дорожную одежду 55
Приложение 4. Алгоритм расчета по блоку 1У 58
Приложение 5. Алгоритм расчета по блоку У 60
Приложение 6. Эквивалент теплотехнических свойств материалов ε_i для приведения к гранитному щебню 62
Приложение 7. Тестовый пример 65

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Редактор Л.В.Крылова
Технический редактор А.В.Евстигнеева
Корректор М.Я.Жукова

Подписано к печати 20.01.88. Л 65116. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. 4,2 печ.л.
3,1 уч.-изд.л. Заказ 122-8. Тираж 1050 экз. Цена 46 коп.

Участок оперативной полиграфии Союздорнии
143900, Московская обл., г.Балашиха-6, ш.Энтузиастов,79

gost.e-ecolog.ru