МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ (СОЮЗДОРНИИ)

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

# ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И РАСЧЕТУ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

gost.e-ecolog.ru

Москва — 1972

## Содержание

Стр.

Предисловие . . . . . 3
Общие положения . . . . . 5
Конструкции . . . . . 6
Нормативные и расчетные параметры . . . . . 12
Расчет цементобетонных покрытий. . . . . 16
Приложения

1. Расчет коэффициента однородности бетона по прочности . . . . . 31
2. Нормативные модули упругости, коэффициенты Пуассона и линейных температурных расширений бетона . . . . . 35
3. Назначение расчетного модуля упругости и коэффициента постели основания . . . . . 37
4. Рекомендации по предварительному назначению вероятно допустимых наименьшей толщины и наибольшей длины плит покрытия . . . . . 39
5. Методика расчета величины и повторяемости температурных напряжений и суммарных напряжений от нагрузки и температуры . . . 41
6. Методика расчета условной нагрузки на колесо, сопротивления бетона на выносливость, приведения различных состава и интенсивности движения автомобилей к расчетным и определения расчетной толщины плиты . . . . . 46
7. Примеры расчета толщины и длины плит цементобетонного покрытия . . . . . 53

Министерство транспортного строительства СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

(СОЮЗДОРНИИ)

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

## ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И РАСЧЕТУ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Одобрены Техническим Управлением
Минтрансстроя СССР

Москва- 1972

УДК 625.84.001.24

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И РАСЧЕТУ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ. Союздорнии, М., 1972.

Излагается новый метод расчета толщины и длины плит между швами сжатия, расстояния между швами расширения и количества стержней-анкеров в продольных швах цементобетонных покрытий. В отличие от ранее известных расчетов покрытий как плит на упругом основании предложенный метод расчета позволяет учесть:

- переменные температурные напряжения в покрытии;
- повторяемость величин суммарных напряжений от температуры и нагрузок автомобилей;
- состав и интенсивность движения автомобилей;
- распределение автомобилей по ширине покрытия;
- выносливость цементобетона в зависимости от характеристики амплитуды цикла напряжений.

Расчетная прочность бетона определена в зависимости от допустимой минимальной прочности бетона, определяемой из нормального закона распределения Гаусса. Приведены примеры расчета толщины и длины плит для климатических условий Московской и Ташкентской областей.

Табл.-20, илл.-4.

УДК 625.84.001.24

## Предисловие

В 1968г. Союздорнии разработал новый метод расчета цементобетонных дорожных покрытий, который позволяет учесть состав и интенсивность движения автомобилей, величину и повторяемость температурных напряжений и срок службы покрытий ("Предложения по расчету и конструированию цементобетонных покрытий на основаниях различного типа", Союздорнии, 1968 ). Дальнейшие исследования (1968–1970гг.) Союздорнии по этому вопросу позволили предложить более строгие методики определения выносливости и расчетной прочности бетона, расчета величины и повторяемости температурных напряжений в плитах.

Продолжено изучение закономерностей деформирования различных типов оснований при динамическом взаимодействии слоев дорожной одежды. В результате этих исследований сформулированы основные положения по выбору материалов и расположению слоев дорожной одежды. Эти исследования Союздорнии позволили разработать настоящие "Методические рекомендации по конструированию и расчету цементобетонных покрытий на основаниях различных типов", в которых изложен более совершенный метод расчета бетонных покрытий и содержится новый раздел по конструированию дорожных одежд.

Метод расчета бетонных покрытий Союздорнии был доложен на XIУ Дорожном конгрессе (Прага,1971г.). На этом конгрессе другие страны (Англия, Япония,ФРГ) изложили в своих докладах методы расчета бетонных покрытий с аналогичным исходным положением – необходимостью учета числа проходов автомобилей за расчетный срок службы покрытий.

Союздорнии рекомендует при проектировании дорож-

ных одежд жесткого типа, наряду с действующей "Инструкцией по устройству цементобетонных покрытий автомобильных дорог" (ВСН 139-68), пользоваться настоящими "Методическими рекомендациями". Применение "Методических рекомендаций" позволит накопить опыт по конструированию и расчету цементобетонных покрытий в различных климатических условиях и уточнить отдельные новые положения расчета.

"Методические рекомендации" разработал канд. техн. наук В.А.Чернигов при участии инж.О.Б.Федотовой.

Все замечания и пожелания по "Методическим рекомендациям" просим направлять по адресу: 143900, Балашиха-6 Московской обл., Союздорнии.

ЗАМ.ДИРЕКТОРА СОЮЗДОРНИИ
кандидат технических наук
Н.В.Горелышев

## Общие положения

1. Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для конструирования и расчета неармированных цементобетонных покрытий на основаниях различного типа автомобильных дорог I–III категорий.

2. При конструировании дорожной одежды с цемен. – тобетонным покрытием необходимо руководствоваться требованиями "Инструкции по устройству цементобетонных покрытий автомобильных дорог" ВСН 139–68, а также СНиП II–Д.5–62 и СНиП III–Д.5–62 с учетом настоящих "Методических рекомендаций".

3. В отличие от ранее рекомендованных методов расчета цементобетонных покрытий как плит на упругом основании предлагаемый метод позволяет учесть:

– состав и интенсивность движения автомобилей;

– распределение автомобилей по ширине покры – тия;

– переменные температурные напряжения в пок – рытии, вызванные влиянием климатических условий на их величину и повторяемость;

– повторяемость суммарных напряжений от наг – рузок и температуры;

– выносливость цементобетона в зависимости от характеристики амплитуды цикла напряжений.

Благодаря учету указанных факторов оказалось возможным рассчитать толщину и длину плит покрытия для дорог I–III категорий в разных природно–климатических условиях, что нашло отражение в ВСН 139–68 и Типовых проектах Союздорпроекта.(Из этих документов исключены неоправдавшие себя типы покрытий с одинаковыми геометрическими размерами плит в различных климатических условиях).

4. Конструкция дорожной одежды с цементобетонным покрытием должна удовлетворять требованиям:

– прочности-сопротивляемости покрытия и одежды в целом при воздействии нагрузки автомобилей и температуры;

– трещиностойкости покрытия, выражающей появление допустимого числа поперечных трещин в плитах во времени;

– ровности покрытия, при которой в течение срока службы покрытия обеспечивается проектная скорость движения автомобилей;

– шероховатости поверхности покрытия, гарантирующей безопасность движения автомобилей при различных скоростях.

5. Требования к прочности и трещиностойкости покрытия удовлетворяются путем назначения толщины и длины плит покрытия на основаниях различной несущей способности согласно приведенному расчету.

6. Ровность или невозможность неравномерных вертикальных смещений покрытия в период срока службы нельзя достигнуть только увеличением толщины покрытий на основаниях, материал которых необратимо смещается во времени от воздействия движущихся автомобилей и температурных деформаций плит, или когда возникают неравномерные вертикальные деформации в результате промерзания и оттаивания грунта основания и земляного полотна.

Поэтому от материала конструктивных слоев дорожной одежды и их размещения по глубине под цементобетонным покрытием зависят устойчивость и ровность покрытия. В результате устройства оснований, работающих преимущественно в упругой стадии, наряду с сох-

ранением ровности сильно повышается прочность и трещиностойкость покрытия.

7. В результате исследований Союздорнии установлено, что при проектировании конструктивных слоев дорожной одежды под цементобетонные покрытия необходимо учитывать следующее:

а) основание из грунта, укрепленного цементом, обеспечивает (благодаря работе такого основания как плиты) приемлемое сохранение ровности покрытия во времени и повышает несущую способность покрытия;

б) стабилизированное битумом грунтовое основание не повышает несущей способности - прочности покрытия, а также не предотвращает возникновения перекосов плит во времени - потерю первоначальной ровности покрытия дорог I-II категорий. Но при таких основаниях не происходят "выплески" переувлажненного грунта через швы и ограничено дополнительное увлажнение грунта основания через швы и края покрытия;

в) основания из несвязных грунтов - песка, щебня, гравия и гравийно-песчаной смеси - не сохраняют во времени первоначальной ровности покрытия дорог I - II категорий;

г) введение выравнивающего слоя толщиной 4-5см из песка или черного песка между подошвой покрытия и поверхностью основания из грунта, укрепленного цементом, наряду с ослаблением сил трения-сцепления способствует значительному уменьшению передачи упругой энергии в грунт вследствие затухания и отражения вверх упругих колебаний от проезда автомобилей, что повышает устойчивость дополнительных слоев основания из грунта. Выравнивающий слой из песка толщиной до 6см не влияет на уменьшение несущей способности покрытия. Устройство покрытия непосредственно по грунту, укрепленному цементом, без выравнивающего слоя допускается только при соответствующем обосновании;

д) в грунте слоев основания и земляном полотне до-

рог I и II категорий не должно достигаться предельного равновесия по сдвигу, превышение которого вызывает накопление остаточных деформаций в грунте, что приводит к образованию неровностей, а в отдельных случаях и трещин на покрытии (вследствие потери сплошности опирания подошвы плиты по основанию образуется щель);

е) проектирование (конструирование и расчет) дополнительных морозозащитных и дренирующих слоев основания должно всегда соответствовать расчетным условиям обеспечения водно-теплового режима дорожной одежды согласно "Методическим указаниям по проектированию морозозащитного и дренирующих слоев в основании проезжей части автомобильных дорог" (М., Оргтрансстрой, 1965). При этом дополнительные слои основания должны быть предусмотрены, как правило, на всю ширину земляного полотна.

8. В развитие п.7 ВСН 139-68 конструкцию дорожной одежды с цементобетонным покрытием назначают по одному из вариантов, приведенных в табл.1. Вариант конструкции дорожной одежды выбирают в зависимости от категории дороги с учетом рекомендаций, указанных в табл.1. При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается назначать конструкции дорожной одежды для I-III категорий дороги без учета рекомендаций табл.1.

Минимальную толщину оснований из различных материалов назначают согласно п.10 ВСН 139-68 с учетом требований СНиП II-Д.5-62 (пп.5.14-5.15). Если по основанию из грунта, укрепленному цементом, не будут подвозить строительные материалы, то в зависимости от дорожно-климатической зоны и типа местности по характеру увлажнения грунтов толщину такого основания на дорогах I и II категорий Ленинградский филиал Союздорнии рекомендует уточнять согласно расчету по

условию предельного равновесия при сдвиге[x].

9. Конструкцию шва расширения, размещение и количество в нем стальных штырей (штыревое соединение) принимают по пп.23–27 ВСН 139-68. Расстояние между швами расширения принимают по данным расчета, приведенным в настоящих "Методических рекомендациях".

10. Конструкцию продольного шва назначают по п. 29 ВСН 139-68, но паз продольного шва нарезают шириной 4–6 мм в затвердевшем бетоне или в свежеуложенном бетоне шириной до 8 мм на глубину не менее 0,25 $h$. Паз должен быть заполнен резино-битумной мастикой. Количество стальных стержней-анкеров назначают согласно расчету, приведенному в настоящих "Методических рекомендациях".

11. Конструкцию швов сжатия и количество стальных штырей принимают в соответствии с п.28 ВСН 139-68, учитывая следующие рекомендации.

Стальные штыри в швах сжатия, используемые для предупреждения образования ступенек между плитами в швах и частично для передачи нагрузки с плиты на плиту, назначают в зависимости от принятого варианта конструкции дорожной одежды. При первом варианте дорожной одежды допускается не применять штыри. Во всех других вариантах дорожной одежды (кроме опытных покрытий) обязательно устройство штыревого соединения в швах сжатия.

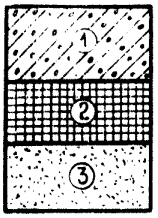
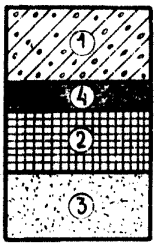
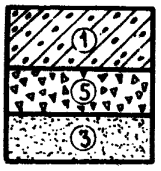
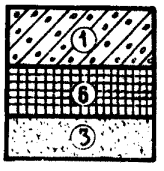
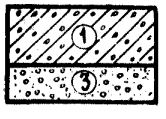
12. В конце рабочей смены или при перерыве работ более чем на 3 часа следует устраивать шов коробления. Если в конце рабочей смены требуется устройство шва расширения, то его устраивают на расстоянии одной плиты перед рабочим швом коробления или после него при возобновлении бетонирования покрытия.

---

[x] Расчет разработан докт.техн.наук А.М.Кривисским и канд.техн.наук М.А.Железниковым.

Таблица 1

Рекомендуемые конструкции дорожной одежды в зависимости от категории дороги

| Вариант конструкции дорожной одежды | Категория дороги | Схемы конструкций дорожной одежды | Характеристика конструктивных слоев |
|---|---|---|---|
| 1 | Дороги 1-II категорий с 2-4- и 6-полосной проезжей частью, бетонируемые машинами со скользящими формами |  | 1-цементобетонное покрытие;<br>2-основание из материалов, укрепленных вяжущими (цементом, гранулированным шлаком с известью и др.);<br>3-дополнительный слой основания (песок, гравий, шлак, ракушечник, щебень и др.);<br>4-выравнивающий слой из песка, обработанного вязким битумом; |
| 2 | Дороги 1-II категорий |  | |
| 3 | Дороги II-III категорий[x] |  | 5-основание из щебня фракции 5-50 мм, гравийного материала фракции 0-50 мм;<br>6-основание из грунта, стабилизированного органическими вяжущими |
| 4 | Дороги II-III категорий |  | |
| 5 | Дороги III и низших категорий |  | |

[x] Если основание принято из щебня или гравия, то согласно п.11 ВСН 139-68 устраивают выравнивающий слой из песка толщиной 5 см или черного песка толщиной 3 см.

13. Нормативная прочность бетона на растяжение при изгибе принимается согласно требованиям п.36 ВСН 139-68 и ГОСТ 8424-63.

Расчетную прочность бетона на растяжение при изгибе $R_{р.и}$ определяют по формуле

$$R_{р.и} = R^{н}_{и} K_{одн} K_{н.пр}, \quad (1)$$

где $R^{н}_{и}$ – нормативная прочность бетона на растяжение при изгибе;

$K_{одн}$ – коэффициент однородности бетона по прочности;

$K_{н.пр}$ – коэффициент, учитывающий нарастание прочности бетона во времени, принимаемый равным 1,3.

Величину коэффициента $K_{одн}$ назначают согласно рекомендациям приложения 1.

14. Расчетные прочности бетона, соответствующие 1 и 2-му предельным состояниям (п.25 настоящих "Методических рекомендаций"), должны приниматься по табл.2.

Таблица 2

Расчетные прочности бетона при расчете цементобетонных покрытий на прочность без образования трещин и по образованию трещин

| Вид напряженного состояния покрытия | Расчетная прочность бетона в кгс/см² при нормативной прочности бетона | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 45 | 40 |
| Растяжение при изгибе без образования трещин $R_{р.и}$ | 45 | 41 | 36 |
| Растяжение при изгибе по образованию трещин $R_{р.т}$ | 55 | 50 | 44 |

15. Нормативный модуль упругости бетона $E_б^н$, соответствующий нормативной прочности $R_u^н$, принимается равным начальному модулю упругости бетона (приложение 2).

Расчетный модуль упругости бетона $E_р$ для определения изгибающего момента в плите от нагрузки должен соответствовать расчетной прочности бетона $R_{р.u}$, вычисляют его по формуле:

$$E_р = E_б^н \cdot K_р , \qquad (2)$$

где $K_р$ – коэффициент, учитывающий снижение модуля $E_б^н$ при увеличении напряжений более $0{,}2\ R_{р.u}$, принимаемый равным 0,9.

Расчетный модуль упругости бетона $E_т$ для определения температурных напряжений в плите должен соответствовать нормативной прочности бетона $R_u^н$; находят по формуле:

$$E_т = E_б^н \cdot K_т , \qquad (3)$$

где $K_т$ – коэффициент, учитывающий снижение модуля $E_б^н$ в зависимости от скорости изменения температурных напряжений при многократно повторяющихся приложениях нагрузки от автомобиля, $K_т = 0{,}8$.

16. Расчетные величины коэффициентов Пуассона $\mu$ и линейного расширения $\alpha$ бетона назначают согласно приложению 2. При определении изгибающих моментов и температурных напряжений коэффициент Пуассона $\mu$ бетона и материала основания можно исключить из расчета, так как при цилиндрическом изгибе плиты получают

$$\frac{1}{1-\mu^2} \simeq 1 \qquad \text{при } \mu = 0{,}15 \div 0{,}20.$$

17. Нормативный состав движения автомобилей $n_н$ назначают в процентах для каждой марки автомобиля. Расчетный состав движения $n_р$ на дорогах получают исключением из нормативного состава движения количества автомобилей с давлением на заднюю ось менее 4тс

18. Нормативную интенсивность движения автомобилей $N_н$ принимают за расчетный период времени суток $t_р$ = 12 час (от 7 час до 19 час) для основной полосы движения в одном направлении, равной не более 90% от перспективной среднесуточной интенсивности движения.

19. Расчетную суточную интенсивность движения автомобилей каждой марки определяют по формуле:

$$N_р = \frac{N_н \, n_р \, K_и}{100}, \qquad (4)$$

где $K_и$ – общий коэффициент использования автомобилей по пробегу и грузоподъемности, равный 0,40.

20. Нормативные нагрузки $P_н$ на колесо задней оси автомобилей каждой марки назначают согласно стандартам.

21. Расчетную нагрузку $P_р$ на колесо определяют с учетом коэффициента динамичности по формуле:

$$P_р = P_н \, K_д, \qquad (5)$$

где $K_д$ – коэффициент динамичности, равный 1,2.

22. Нормативные напряжения растяжений при изгибе на подошве края середины плиты находят от расчетной нагрузки $P_р$ на колесо каждой марки автомобиля в соответствии с расчетом плит на упругом основании.

23. Расчетные напряжения на подошве края середи –

ны плиты определяют с учетом смещения автомобилей по ширине полосы:

$$\sigma_p = \sigma_н \cdot K_1 \quad , \qquad (6)$$

где $K_1$ – коэффициент уменьшения напряжений на подошве края середины плиты при смещении нагрузки от края к центру плиты.

При смещении нагрузки на 1-25; 45; 75 и 100 см $K_1$ принимают соответственно равным 1; 0,75; 0,60 и 0,40.

24. Расчетную суточную повторяемость $N_\sigma$ расчетных напряжений с учетом расчетной интенсивности $N_p$ и смещений автомобилей данной марки по ширине полосы определяют по формуле

$$N_\sigma = \frac{N_p \, n_2}{100} \quad , \qquad (7)$$

где $n_2$ – распределение автомобилей по ширине полосы, зависящее от интенсивности движения автомобилей, категории дороги, ширины обочины и способа укрепления, состояния обочин, наличия в конструкции укрепительных полос, высоты насыпи; $n_2$ определяется по данным натурных наблюдений.

При отсутствии наблюдений по распределению автомобилей по ширине полосы можно пользоваться ориентировочными средними величинами $n_2$ для I и II категорий дорог, приведенными в табл.3.

Таблица 3

| Расстояние от края плиты, см | Распределение автомобилей разных марок по ширине полосы, % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ГАЗ | ЗИЛ | МАЗ | Прицепы | Автобусы |
| 0-25 | 10 | 15 | 20 | 20 | 20 |
| 45 | 20 | 25 | 50 | 50 | 50 |
| 75 | 50 | 50 | 30 | 30 | 30 |
| 100 | 20 | 10 | – | – | – |

## Расчет цементобетонных покрытий

25. Расчет толщины и длины плит покрытия производят [x]:

а) по прочности - несущей способности (1-е предельное состояние) - для покрытий дорог 1-II категорий, в плитах которых не допускается появления трещин в течение расчетного срока службы покрытия;

б) по образованию трещин (2-е предельное состояние) - для покрытий дорог II-III категорий, в которых допускается появление определенного процента трещин (расчетное число плит с трещинами на 1 км покрытия) в период эксплуатации покрытия до окончания расчетного срока службы.

Расчет трещиностойкости покрытия по 1 и 2-му предельным состояниям зависит от величины расчетной прочности и выносливости бетона (см.табл.2 и приложения 1,6). Поскольку нормами допускается отклонение толщины покрытия в период строительства от расчетной, то возможно появление незначительного числа трещин в плитах, рассчитанных по 1-му предельному состоянию. При отклонении толщины покрытия в соответствии с нормами число плит с трещинами по этой причине будет мало и не повлияет на транспортно-эксплуатационные качества покрытия.

26. Свободный (у обочины) край плиты у середины двух- или четырехполосного покрытия принимается за расчетное место загружения плиты. В этом месте плиты находят напряжения растяжения при изгибе на подошве плиты от воздействия нагрузок автомобилей и

---

[x] Нормы проектирования по предельным состояниям, предусмотренные для бетонных и железобетонных конструкций по пп.1.1 и 4.1 СНиП II-В.1-62, не распространяются на расчет покрытий дорог и аэродромов.

температуры. На шестиполосных покрытиях, крайние полосы которых предназначены для движения тяжелых грузовых автомобилей, расчет толщины покрытия производят раздельно для крайних и внутренних полос, а длину плит назначают одинаковой для всех полос в соответствии с расчетом полос между крайними. Схема загружения внутренних полос принимается как край середины плиты, ограниченный продольным швом. Обоснование указанной схемы загружения плиты изложено ранее[x].

27. Нормативные напряжения растяжения при изгибе на подошве края середины плиты от воздействия нагрузки автомобиля определяют как

$$\sigma'_н = \frac{M_и}{W}, \qquad (8)$$

где $M_и$ – изгибающий момент на подошве края середины плиты в продольном направлении;

$W$ – момент сопротивления сечения покрытия шириной 1 см.

Момент $M_и$ определяют по любому существующему достаточно строгому методу расчета плит на упругом основании (М.И.Горбунов-Посадов, Б.И. Коренев, Уэстергард, Н.Н.Иванов, И.А.Медников и др.), так как при одних и тех же параметрах эти расчеты приводят примерно к одним и тем же результатам. Если $M_и$ определен для центра плиты, то $M_и$ на краю плиты следует принять в 1,4 раза большим по сравнению с $M_и$ для центра.

28. Температурные напряжения растяжения $\sigma'_т$ на подошве края плиты у середины рассчитывают по приложению 4.

---

x) Предложения по расчету и конструированию цементобетонных покрытий на основаниях различных типов. Союздорнии, Балашиха Московской обл., 1968.

29. Суммарные напряжения $\sigma_{р.т}$ от нагрузки и температуры находят как сумму напряжений от нагрузки и температуры, или

$$\sigma_{р.т} = \sigma_р + \sigma_т . \qquad (9)$$

30. Расчет толщины и длины плит цементобетонного покрытия выполняют в следующей последовательности:

1) назначают по данным технико-экономического обоснования строительства дороги:

- нормативный состав движения автомобилей $n_н$ (п.17);
- нормативную интенсивность движения автомобилей $N_н$ (п.18);
- нормативные нагрузки $P_н$ на колесо задней оси автомобилей (п.20);
- срок службы покрытия $C$ до капитального ремонта;

2) определяют:

- расчетный состав движения автомобилей $n_р$ (п.17);
- расчетную интенсивность движения автомобилей (п.19);
- расчетные нагрузки $P_р$ на колесо (п.21);

3) выбирают конструкцию дорожной одежды, учитывая указания пп.7,8, и назначают модуль упругости или коэффициент постели основания по приложению 2;

4) назначают нормативные и расчетные параметры бетона покрытия (пп.13–16);

5) назначают вероятно допустимые наименьшую толщину $h_н$ и наибольшую длину $l_н$ плит покрытия (приложение 3);

6) рассчитывают напряжения растяжения при изгибе на подошве середины края плиты толщиной $h_н$ и длиной $l_н$ :

– напряжения $\sigma_p$ от расчетных нагрузок на колесо (пп.22,23 и 27);

– напряжения $\sigma_T$ от изменения температуры по толщине плиты (приложение 4);

– суммарные напряжения $\sigma_{p.T}$ от нагрузки и температуры (п 29);

7) рассчитывают повторяемость:

– $N_\sigma$ напряжений $\sigma_p$ от расчетных нагрузок на колесо за расчетное время суток года и срок службы покрытия (п.24);

– $N_{p.T.C}$ одинаковых суммарных напряжений $\sigma_{p,T}$ от нагрузки и температуры за срок службы покрытия (приложение 4);

8) приводят повторяемость $N_{p.T.C}$ напряжений $\sigma_{p.T}$ с различными значениями характеристики цикла нагрузки $\rho$ к повторяемости $N^{\circ}_{p.T.C}$ от напряжений $\sigma_{p.T}$ с характеристикой $\rho \leqslant 0{,}1$ (приложение 5);

9) находят условную нагрузку $P_{усл}$ на колесо для каждого значения суммарного напряжения $\sigma_{p.T}$ (приложение 5);

10) приводят повторяемость движения автомобилей $N^{\circ}_{p.T.C}$ при $\rho \leqslant 0{,}1$ и различных условных нагрузках на колесо $P_{усл}$ к повторяемости движения автомобилей $N_{пр}$ с единой наибольшей расчетной нагрузкой на колесо $P_{усл} = P_o$ (приложение 5);

11) находят требуемую толщину покрытия $h_p$ в зависимости от величины повторяемости движения автомобилей $N_{пр}$ с единой нагрузкой на колесо $P_o$ (приложение 5).

При расхождении между назначенной толщиной покрытия $h_н$ и требуемой толщиной $h_p$ более 10% выбирают другую толщину $h_н$ или длину $l_н$ либо изменяют оба параметра $h_н$ и $l_н$ одновременно, после чего расчет повторяют.

Если расхождение между $h_н$ и $h_p$ менее 10%, то $h_p$ округляют до ближайшего целого четного числа. На –

пример, $h_и$ = 20 см и $h_р$ = 20,8 см, принимаем $h_и$ = 20 см; $h_и$ = 22 и $h_р$ = 21,2 см, принимаем $h_р$ = 22 см.

31. Из предлагаемого метода расчета толщины и длины плит, анализа расчетных параметров и состояния, по данным обследований цементобетонных покрытий дорог, вытекает ряд важных следствий:

– величина и повторяемость суммарных напряжений от нагрузок автомобилей и температуры являются определяющими параметрами при назначении толщины и длины плит;

– в различных климатических условиях СССР повторяемость расчетных перепадов температуры в покрытии может различаться в 10–15 раз, а их величина в 1,5–2 раза; поэтому длина и толщина плит покрытия будет различной;

– если пренебречь в расчете величиной и повторяемостью перепадов температуры в покрытии, то расчетная толщина плит покрытий дорог I–III категорий от воздействия только нагрузок автомобилей составит 18–14см. Это следствие расчета подтверждается высокой трещиностойкостью квадратных и шестигранных плит дорог и аэродромов площадью 4–12 м$^2$, в которых температурные напряжения весьма малы. Аналогично объясняется наблюдаемое на дорогах прекращение дальнейшего растрескивания кусков плит площадью 4–9 м$^2$ при их толщине 14–20 см и первоначальной площади 20–25 м$^2$;

– введение в расчет величин и повторяемостей суммарных напряжений от нагрузок и температуры позволяет количественно оценить влияние величины модуля упругости бетона на трещиностойкость и срок службы покрытия, что разрешает задачу о целесообразности применения дорожного бетона с заданными механическими свойствами;

– с увеличением расчетного срока службы покрытия, например от 20 до 40 лет, расчетная толщина пок-

рытия увеличивается только на 2-2,5 см. Поэтому экономически целесообразно назначать и обеспечивать за счет совершенствования технологий строительства и содержания дороги расчетный срок службы покрытия не менее 30 лет. При этом дополнительные затраты на устройство долговечных швов и стойкой поверхности покрытия против шелушения бетона окупятся за счет увеличения в 1,5-2 раза срока службы покрытия;

- с повышением модуля упругости или коэффициента постели основания уменьшается $\sigma_p$, возрастают $\sigma_T$ и характеристика амплитуды цикла нагрузки $\rho$, что улучшает работу покрытия на выносливость. При укреплении цементом грунтовых оснований толщиной 10-14 см величина $\sigma_p$ понижается на 20-25% и в этом случае толщина покрытия, согласно расчету, уменьшается. Если толщину покрытия не уменьшать, то в расчете следует задаваться большим сроком службы покрытия. Так как в настоящее время на дорогах I-II категорий требуется устраивать основания, укрепленные цементом, целесообразно назначать более длительный срок службы цементобетонного покрытия без уменьшения его толщины.

32. Назначение швов расширения - обеспечение продольной устойчивости покрытия при повышении температуры бетона летом. Увеличение расстояния между швами расширения, а в отдельных случаях обоснованный отказ от их устройства позволяет повысить, благодаря возникновению в летние месяцы предварительного напряжения в покрытии, трещиностойкость плит. При этом с понижением температуры покрытия швы сжатия будут меньше раскрываться, что должно увеличить их долговечность.

33. Методика расчета расстояний между швами расширения состоит в следующем. Вначале необходимо выяснить, нужны швы расширения или нет. Для этого определяют расчетную температуру $\Delta T_o$ и фактический

расчетный перепад температуры $\Delta T_{факт}$ в срединной плоскости покрытия по формулам:

$$\Delta T_0 = \frac{\gamma_{об} l^2}{E_т a h} ; \quad (10)$$

$$\Delta T_{факт} = T_{сл} - T_{уб} - T_{ус} , \quad (11)$$

где $l$ – длина плиты между швами сжатия;

$\gamma_{об}$ – объемный вес бетона;

$E_т$ – модуль упругости бетона для расчета температурных напряжений, определяемый по формуле (3);

$a$ – коэффициент линейного расширения бетона, назначаемый по приложению 2;

$h$ – толщина покрытия;

$T_{сл}$ – максимальная температура в срединной плоскости покрытия, назначаемая по данным измерений температуры плит в заданных климатических условиях или по расчету;

$T_{уб}$ – средняя температура воздуха за время укладки бетона в течение одной рабочей смены;

$T_{ус}$ – температура, эквивалентная усадке бетона, равная 10°С.

Если соблюдено условие

$$\Delta T_0 \geq \Delta T_{факт} , \quad (12)$$

то швы расширения можно не устраивать. Если это условие не соблюдено, то расстояние между швами расширения $L$ определяют по формулам:

$$L = \frac{0{,}5\, b}{a \Delta T_1} ; \quad (13)$$

$$\Delta T_1 = \Delta T_{факт} - \Delta T_0 , \quad (14)$$

где $b$ – толщина прокладочной доски в шве расширения.

34. Продольная устойчивость покрытия улучшается с увеличением длины и толщины плит, уменьшением эксцентриситета приложения продольной силы и увеличением толщины досок в швах расширения. Толщина и длина плит назначаются по условиям прочности и трещиностойкости покрытия, и их нельзя увеличивать для повышения продольной устойчивости покрытий. Уменьшение эксцентриситета приложения продольной силы вполне возможно за счет своевременного заполнения качественными мастиками швов сжатия, что должно исключать засорение швов. Также весьма эффективно применение швов коробления, при которых величина эксцентриситета может быть минимальной[x]. Случаи потери продольной устойчивости плит в швах расширения (выпучивание плит) обычно обусловлены нарушениями технологии устройства этих швов (доски и штыри установлены под углом, доски покоробленны, оставлены пробки бетона между доской и пазом шва и др.).

35. Наряду с устранением указанных дефектов и соблюдением требований технологии устройства и содержания швов при расстояниях между швами расширения более 50 м рекомендуется:

– примыкающие к швам расширения плиты (по одной плите с каждой стороны шва расширения) принимать длиной 10 м и армировать в продольном направлении арматурой периодического профиля диаметром 14–16 мм, располагая стержни через 70 см в нейтральной плоскости плиты. Вместо армирования можно устраивать в плите длиной 8 м один шов коробления, разделяющий плиту пополам;

– при щебеночных, гравийных и песчаных основаниях устраивать под швами расширения бетонные под-

---

x) Чернигов В.А., Защепин А.Н., Павлова О.Б. Расчет и конструирование швов коробления в цементобетонном дорожном покрытии. В сб. "Труды Союздорнии", вып.23, Балашиха Московской обл., 1968.

кладки – подушки, благодаря которым обеспечивается передача нагрузки с плиты на плиту и предотвращается интенсивное разрушение кромок бетона шва.

36. В цементобетонных покрытиях дорог следует всегда устраивать продольные швы, так как в покрытии шириной более 4,5 м без таких швов через 1–3 года появляются продольные извилистые трещины. Эти трещины возникают в результате неравномерных осадок и пучения основания и земляного полотна по ширине дороги, обусловленных динамическими воздействиями транспорта и промерзанием–оттаиванием грунта, а также в результате возрастания почти в 2 раза температурных напряжений растяжения при изгибе с увеличением ширины плит от 3,5–4,75 м до 7–7,5 м. Кроме того, продольные швы разделяют покрытие (ориентируют водителя) на полосы движения или могут служить строительными швами, когда бетонирование ведут по одной полосе.

37. От повторяющихся температурных деформаций плит и неодинакового воздействия автомобилей на полосы покрытия плиты постепенно сползают к обочинам и продольный шов раскрывается независимо от поперечного профиля покрытия. Если высота насыпи более 3 м и профиль покрытия двускатный, то шов через 3–4 года может раскрыться до 10 см. При односкатном профиле двухполосного покрытия продольный шов раскрывается через 5–6 лет до 3–5 см. Во избежание этого плиты соединяют в продольном шве стальными стержнями – анкерами, которые закладывают в срединной плоскости плит во время их бетонирования или устанавливают перед укладкой бетона. Устройство боковых укрепительных бетонных полос или армирование покрытия стальной сеткой не предотвращает раскрытия продольных швов, если не применять в швах стальные стержни–анкера. При достаточном количестве стержней–анкеров продольные швы могут раскрываться только до 0,1–0,2мм, обеспечивая полную передачу нагрузки с плиты на плиту.

38. Поперечное сечение стержней-анкеров $F_a$ на 1 пог.м продольного шва рекомендуется во всех случаях рассчитывать по полуэмпирической формуле:

$$F_a = \frac{K B Q}{R_a}, \qquad (15)$$

где $K$ – коэффициент условий работы шва; $K = 3$ при односкатном профиле покрытия, $K = 4{,}5$ при двускатном профиле или высоте насыпи более 3м независимо от профиля покрытия;

$B$ – ширина одной полосы покрытия;

$Q$ – вес 1 м$^2$ плиты;

$R_a$ – расчетное сопротивление растяжению стержней-анкеров, принимаемое по СНиП II-В.1-62 для стали класса А-II равным 2700 кгс/см$^2$.

В табл.4 приведены рассчитанные по формуле (15) поперечные сечения $F_a$ и диаметр $d$ стержней-анкеров в продольных швах покрытий шириной 7 м при $R_a = 2100$ и 2700 кгс/см$^2$.

39. Длина стержня-анкера $l_a$ рассчитывается по формуле

$$l_a \geq \frac{R_a d}{2\tau_{сц}}, \qquad (16)$$

где $\tau_{сц}$ – среднее расчетное напряжение сцепления арматуры с бетоном, принимаемое равным 30 кгс/см$^2$.

Минимальная длина стержня-анкера должна быть: из гладкой арматуры – 75 см; из арматуры периодического профиля – 50 см.

При бетонировании покрытий в зимних условиях не следует применять для стержней-анкеров гладкую арматуру, так как резко уменьшается сцепление арматуры с бетоном.

40. Величина напряжений растяжения в стержнях-ан-

Таблица 4

| Толщина покрытия, см | Расстояние между стержнями, см | $R_a$ =2100кгс/см$^2$ | | | | $R_a$ =27кгс/см$^2$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $K$ = 3 | | $K$ = 4,5 | | $K$ = 3 | | $K$ = 4,5 | |
| | | $F_a$ | $d$ | $F_a$ | $d$ | $F_a$ | $d$ | $F_a$ | $d$ |
| 22 | 100 | 2,64 | 20 | 3,96 | 22 | 2 | 16 | 3 | 20 |
| | 75 | 1,98 | 16 | 2,96 | 20 | 1,5 | 14 | 2,25 | 18 |
| 20 | 100 | 2,4 | 18 | 3,6 | 22 | 1,88 | 16 | 2,82 | 20 |
| | 75 | 1,8 | 16 | 2,7 | 20 | 1,41 | 14 | 2,12 | 16 |
| 18 | 100 | 2,14 | 18 | 3,21 | 20 | 1,66 | 14 | 2,49 | 18 |
| | 75 | 1,6 | 14 | 2,4 | 18 | 1,24 | 14 | 1,87 | 16 |

Примечание. Диаметр арматуры строго не соответствует расчетному сечению $F_a$, так как заводы выпускают арматуру диаметром через 2 мм.

керах при поворотах плит к обочинам зависит от воз - можности работы шва как шарнира. Чтобы продольный шов работал как более совершенное шарнирное соединение, рекомендуется перед бетонированием покрытия двускатного профиля или при высоте насыпи более 1 м укладывать на основание деревянный брусок треугольного сечения 5х5х5 см. В случае применения стержней-анкеров из арматуры периодического профиля середину каждого стержня на отрезке 15-20 см следует обмазать слоем битума толщиной до 2 мм. Предпочтительнее применять стержни-анкера из гладкой арматуры с обмазкой середины стержня битумом. Без этих дополнительных мероприятий возможно образование продольной извилистой трещины вблизи паза продольного шва. Продольный шов нарезают строго над бруском, для чего рейкой-шаблоном измеряют расстояние от рельсформ до бруска и шва.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Расчет коэффициента однородности бетона по прочности

Коэффициент однородности дорожного бетона по прочности $K_{одн}$ [x] обычно принимают равным 0,6÷0,7. По СНиП II-В.1-62 $K_{одн}$ принят равным 0,55. При столь малой величине $K_{одн}$ надземные конструкции работают без разрушения. В дорожных покрытиях при $K_{одн}$ = 0,55÷0,7 практически обеспечивается надежная работа всех плит. Другие, более прочные плиты оказались бы с повышенным запасом прочности. Если допустить возможность образования заданного количества трещин на 1 км длины покрытия до истечения срока службы покрытия и принять нормальный закон распределения результатов испытания образцов на прочность, то расчет $K_{одн}$ будет следующим.

1. Коэффициент однородности бетона по прочности

$$K_{одн} = \frac{R_{min}}{R_u^н}, \qquad (17)$$

где $R_{min}$ – наименьшая вероятная прочность бетона при испытании стандартных образцов-балок (более 30 штук).

2. Согласно закону нормального распределения

$$R_{min} = R_{ср} - 3\sigma = R_{ср}\left(1 - 3\frac{\sigma}{R_{ср}}\right); \qquad (18)$$

---

x) Рекомендации по расчету $K_{одн}$ предложены В.А.Черниговым в статье "Расчет цементобетонных покрытий дорог по условию равнопрочности" – Сб. "Труды Союздорнии," вып.8, М., 1965.

$$R_{ср} = \frac{\sum_{1}^{n} R_a}{n}, \qquad (19)$$

где $R_{ср}$ – средняя прочность рассматриваемого числа отдельных частных результатов испытаний бетонных образцов одной и той же марки, хранившихся до испытания в стандартных условиях в течение 28 дней;

$б$ – среднее квадратичное отклонение, определяемое из формулы

$$б = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (R_a - R_{ср})^2}{n}}, \qquad (20)$$

$n$ – общее число частных результатов испытаний;

$R_a$ – отдельный частный результат испытаний.

3. Коэффициент однородности с учетом выражений (18), (19) и (20) будет равен

$$K_{одн} = \frac{R_{ср}}{R_{и}^{н}} \left(1 - 3\frac{б}{R_{ср}}\right). \qquad (21)$$

Прочность бетона $R_{min}$ в формуле (18) определена с точностью 99,73% от числа частных результатов испытаний, что следует из закона нормального распределения, интеграл вероятности которого имеет вид:

$$f(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{x} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \qquad (22)$$

Числовые значения интеграла (22), выражающие половину величины площади в процентах под кривой нормального распределения в зависимости от долей $б$, приведены в табл.5[x)].

x) Табл.5 приведена с интервалами 0,016 от 3 $б$ до 0,0 $б$ И.И.Бронштейном и К.А.Семендяевым в "Справочнике по математике".М.,Гостехиздат, 1957.

Таблица 5

| Доли $\delta$ | Площадь, % | Доли $\delta$ | Площадь, % | Доли $\delta$ | Площадь, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 3,00 | 99,73 | 1,95 | 94,88 | 1,75 | 91,99 |
| 2,75 | 99,40 | 1,90 | 94,26 | 1,70 | 91,09 |
| 2,50 | 98,76 | 1,85 | 93,57 | 1,65 | 90,11 |
| 2,00 | 95,45 | 1,80 | 92,80 | 1,60 | 89,04 |

4. Когда расчет покрытия ведут по 1-му предельному состоянию (без появления трещин до истечения срока его службы), $K_{одн}$ следует определять по формуле (21), что соответствует обеспечению трещиностойкости покрытия с надежностью 99,86%, так как 99,86 = 0,5 (99,73 + 99,99). Значения $R_{р.ц}$ в табл.2 получены по формулам (1) и (21) и соответствуют $R_{ср} = R''_{ц}$ и $\frac{\delta}{R_{ср}} = 0,10$.

5. При расчете покрытия по 2-му предельному состоянию с образованием трещин до истечения срока его службы коэффициент однородности назначают путем подстановки в формулу (21) вместо 3 $\delta$ числовых значений долей $\delta$ из табл.5. Эти значения долей $\delta$, например 1,65, будут соответствовать обеспечению трещиностойкости покрытия с надежностью 95% (в табл. 5 площадь равна 90,11). Поскольку площадь под кривой нормального распределения равна удвоенной площади, определенной по формуле (22), трещиностойкость покрытия с надежностью 95% будет складываться из площади правой части от оси симметрии кривой распределения (100%) и площади левой части от оси симметрии (90%). Тогда истинная надежность покрытия составит: (100+90):2=95%.

С учетом сказанного величина $R_{р.т} = 55$ кгс/см$^2$ в табл.2 получена по формуле (21) при

$R_{ср} = R_{и}^{н}$ , $\frac{б}{R_{ср}} = 0,09$ и $1,65\,б$ или

$K_{одн} = 1(1-1,65 \cdot 0,09) = 0,85.$

Величина $R_{ср}$ и коэффициент изменчивости $C_v = \frac{б}{R_{ср}}$ должны назначаться в проекте и контролироваться в период строительства покрытия. Величина $C_v$ не должна быть больше 0,10. Если $C_v > 0,10$, то должны приниматься меры, обеспечивающие более высокую однородность бетона.

6. При назначении бетона марок "50", "45" и "40" необходимо иметь в виду следующее: чтобы покрытие было долговечным, необходимо получить вероятно минимальную прочность бетона на сжатие ($R^{с}_{min} \geq 280$ кгс/см$^2$) для дорог I и II категорий.

Это означает, что бетон для покрытий дорог I–II категорий должен иметь коэффициент $C_v \leq 0,10$ и отклонение $б \leq 40$ кгс/см$^2$.

## Нормативные модули упругости, коэффициенты Пуассона и линейных температурных расширений бетона[x]

1. Начальные нормативные модули упругости бетона $E_б^н$, соответствующие 0,2 $R_{р.и}$, могут назначаться по данным табл.6.

Таблица 6

| Вид дорожного бетона | Начальный модуль упругости дорожного бетона $E_б^н \cdot 10^3$ кгс/см$^2$ в зависимости от марок бетона на растяжение при изгибе | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| Обычный бетон (ГОСТ 8424-63) | 190 | 230 | 265 | 290 | 315 | 330 | 350 | 380 |
| Мелкозернистый (песчаный) бетон (ВСН 171-70) | - | - | 150 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 |
| Карбонатный бетон | 160 | 195 | 225 | 245 | 265 | 280 | 295 | 320 |

Примечания: 1. По данным исследований Союздорнии и других организаций, величины начального модуля упругости бетона $E_б^н$ одинаковы при испытаниях образцов-балок на растяжение при изгибе и призм на осевое сжатие.

2. Значения начальных модулей упругости $E_б^н$ даны в зависимости от $R_{р.и}^н$, а не от прочности на сжатие $R_c^н$, так как $R_{р.и}^н / R_c^н$ зависит от прочности и вида бетона. При этом $E_б^н$ для обычного дорожного бетона соответствует данным СНиП II-В.1-62.

---

x) Приложение 2 разработано инж.О.И.Хейфецем.

3 Колебания химико-минералогического состава дорожного портландцемента, изменение свойств крупного заполнителя в пределах требования ГОСТ 8424-63, изменение относительного содержания мелкого заполнителя, характеризуемое значениями коэффициента раздвижки от 1,1 до 1,5, а также введение нормируемых ГОСТ 8424-63 добавок поверхностно-активных веществ не влияют на зависимость $E_б^н$ от $R_{р.и}^н$.

4. Требования к карбонатному бетону, бетонной смеси и материалам изложены в "Рекомендациях по применению карбонатного бетона в строительстве дорожных оснований" (Союздорнии, Балашиха Московской обл., 1970).

2. Величины коэффициента линейного температурного расширения $\alpha$ и коэффициента Пуассона $\mu$ могут назначаться по данным табл.7.

Таблица 7

| Вид дорожного бетона | $\alpha \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$ ($0^{\circ} < t < 40^{\circ}$) | Коэффициент Пуассона $\mu$ |
|---|---|---|
| Обычный бетон на гранитном щебне | 8,0 | 0,18 |
| Обычный бетон на известняковом щебне | 6,0 | 0,20 |
| Мелкозернистый (песчаный) бетон | 10,0 | 0,20 |
| Карбонатный бетон | 5,0 | 0,22 |

## Назначение расчетного модуля упругости и коэффициента постели основания

1. На данной стадии исследования напряженно-деформированного состояния дорожной одежды не представилось возможным строго обосновать назначение расчетных величин модулей упругости отдельных слоев основания и эквивалентного модуля упругости или коэффициента постели на поверхности основания. Имеющиеся рекомендации для нежестких дорожных одежд могут быть использованы лишь в первом приближении вследствие распределения нагрузки автомобиля бетонными покрытиями на большую площадь основания.

Отсутствие строгого аналитического метода назначения модулей упругости или коэффициентов постели оснований не является препятствием для расчета плит на упругом основании. Благодаря способности бетонных плит распределять внешнюю нагрузку на большую площадь значительные отклонения величин модулей упругости от средних величин, а также и коэффициентов постели практически мало влияют на величину изгибающих моментов в покрытии. Этот вывод следует из теории плит на упругом основании и подтвержден экспериментально. Например, при увеличении модуля деформации основания от 1000 до 3000 кгс/см$^2$ напряжения в покрытии уменьшаются только на 20–25%.

2. Учитывая результаты проведенных Союздорнии прямых измерений величин реактивных контактных давлений на подошву покрытия при песчаных основаниях и величин прогибов плит под нагрузкой на основаниях других типов, рекомендуется при расчете изгибающего момента $M_u$ назначать:

– модуль упругости основания $E_0$ =3000кгс/см$^2$, если конструкция дорожной одежды имеет слой основания из грунта, укрепленного цементом;

– модуль упругости основания $E_0$ =1000кгс/см$^2$ или коэффициент постели $K$ = 8 кгс/см$^2$·см, если слои основания предусмотрены из разнообразных материалов, не укрепленных цементом.

3. Эквивалентный модуль упругости двухслойного основания под подошвой покрытия можно определить с достаточной для практических расчетов точностью по формуле[x)]

$$E_0 = \frac{4E_1 E_2}{\left(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}\right)^2}, \qquad (23)$$

где $E_1$ и $E_2$ – модули упругости материалов соответственно верхнего и нижнего слоев основания.

---

x) Тимошенко С.П. Сопротивление материалов, том II, стр.310. М., "Наука" 1965.

## Рекомендации по предварительному назначению вероятно допустимых наименьшей толщины и наибольшей длины плит покрытия

1. Для расчета требуемой толщины и длины плит необходимо предварительно назначить вероятно допустимую толщину $h_н$ и длину $l_н$ плиты покрытия согласно пп.19, 21 и 22 ВСН 139-68 (табл.8).

Таблица 8[x)]

| Категория дороги | $h_н$, см | $l_н$, м | $h_н$, см | $l_н$, м |
|---|---|---|---|---|
| | умеренный климат | | континентальный климат | |
| I | 22-24 | 6 | 24 | 6 |
| II | 20-22 | 6 | 20-22 | 5 |
| III | 18-20 | 5 | 18-20 | 4 |

2. После назначения $h_н$ и $l_н$ согласно табл.8 рекомендуется установить напряжения $\sigma_р$ и $\sigma_т$ на подошве края середины плиты, возникающие от воздействия расчетной нагрузки $p_р$ и расчетной температуры. Напряжения $\sigma_т$ определяют в 12-14 час. как максимальные при $C_x$ = 0,9 по формулам, приведенным в приложении 5.

При этом должны быть удовлетворены условия:

$$\sigma_р \leq 0{,}45\, R_{р.и}\,; \qquad (24)$$

$$\sigma_р + \sigma_т \leq R_н \quad \text{при } N = 2\cdot 10^6 \text{ циклов и } \rho = \frac{\sigma_р}{\sigma_р + \sigma_т}\,. \qquad (25)$$

---

x) Величины $h_н$ и $l_н$ в табл.7 и пп.19, 21 и 22 ВСН 139-68 были назначены исходя из результатов расчета по предлагаемому методу в настоящих "Методических рекомендациях".

Выносливость бетона $R_N$ при $\rho$ в формуле (25) устанавливают по графику (см.рис.2). Если условия (24) и (25) не будут удовлетворены, то нужно назначить другую толщину и длину плит. Проверки $h_H$ и $l_H$ по условиям (24) и (25) позволяют быстрее определить расчетную толщину и длину плит покрытия.

## Методика расчета величины и повторяемости температурных напряжений и суммарных напряжений от нагрузки и температуры

### Расчет величины температурных напряжений

1. Величину температурных напряжений растяжения при изгибе $\sigma_T$ по толщине края середины плиты находят по формуле[x]:

$$\sigma_T = E_b \alpha \left[ T(x,t) - \frac{1}{h}\int_0^h T(x,t)\,dx - \frac{12(1-c_x)\left(\frac{h}{2}-x\right)}{h^3}\int_0^h T(x,t)\left(\frac{h}{2}-x\right)dx \right] \quad (26)$$

где

$$T(x,t) = A_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a^2}}x} \cdot \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2a^2}}x\right). \quad (27).$$

2. Расчетные формулы температурных напряжений растяжения при изгибе на подошве края середины плиты, полученные в результате подстановки $T(x,t)$ из выражения (27) в формулу (26) и интегрирования, приведены в табл.9.

Уменьшение $\sigma_T$ за счет частичной свободы коробления плиты характеризуется коэффициентом меры коробления $C_x$. Числовые значения $C_x$ находят по рис. 1 в зависимости от отношения длины плиты $l$ к упругой характеристике плиты $L_0'$:

$$L_0' = 0{,}6\, h_n \sqrt[3]{\frac{E_T}{E_0}}, \quad (28)$$

---

x) Чернигов В.А., Павлова О.Б. Методика определения величины и повторяемости температурных напряжений в бетонных покрытиях – Сб. "Труды Союздорнии", вып.28. Балашиха Московской обл. 1969.

Таблица 9

| Толщина покрытия, см | Вид расчетной формулы $\sigma_т$, кгс/см$^2$, при коэффициенте температуропроводности бетона $a$ =0,003 м$^2$/час |
|---|---|
| 16 | $\sigma_т = E_т \alpha A_0 [1{,}7 \sin 0{,}26t + 0{,}02 \cos 0{,}26t - C_x (1{,}65 \sin 0{,}26t + 0{,}39 \cos 0{,}26t)]$ |
| 18 | $\sigma_т = E_т \alpha A_0 [1{,}67 \sin 0{,}26t + 0{,}08 \cos 0{,}26t - C_x (1{,}65 \sin 0{,}26t + 0{,}46 \cos 0{,}26t)]$ |
| 20 | $\sigma_т = E_т \alpha A_0 [1{,}61 \sin 0{,}26t + 0{,}09 \cos 0{,}26t - C_x (1{,}61 \sin 0{,}26t + 0{,}47 \cos 0{,}26t)]$ |
| 22 | $\sigma_т = E_т \alpha A_0 [1{,}58 \sin 0{,}26t + 0{,}09 \cos 0{,}26t - C_x (1{,}6 \sin 0{,}26t + 0{,}47 \cos 0{,}26t)]$ |
| 24 | $\sigma_т = E_т \alpha A_0 [1{,}5 \sin 0{,}26t + 0{,}11 \cos 0{,}26t - C_x (1{,}55 \sin 0{,}26t + 0{,}49 \cos 0{,}26t)]$ |
| 26 | $\sigma_т = E_т \alpha A_0 [1{,}46 \sin 0{,}26t + 0{,}15 \cos 0{,}26t - C_x (1{,}53 \sin 0{,}26t + 0{,}52 \cos 0{,}26t)]$ |

Примечание: Время $t$ назначают от 0 до 12 час и во всех формулах к времени $t$ прибавляют 18 час, например, вместо $\sin 0{,}26t$ прини-мают $\sin 0{,}26(t + 18)$.

или $L_0' = \sqrt[4]{\frac{E_т h_н^3}{12(1-\mu_0^2)K}}$,

где $K$ – коэффициент постели основания, назначаемый согласно приложению 3.

3. Расчетную величину амплитуды колебания температуры на поверхности покрытия (при отсутствии экспериментальных данных изменения температуры на поверхности покрытия в заданных климатических условиях) определяют по приближенной формуле:

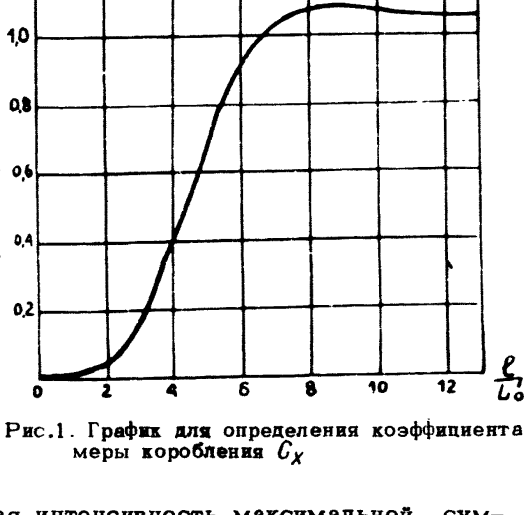



Рис.1. График для определения коэффициента меры коробления $C_X$

$$A_0 = \frac{\beta J}{\alpha_к \cdot 2} + A_2, \quad (29)$$

где $J$ – расчетная интенсивность максимальной суммарной солнечной радиации в 12час.30мин. на горизонтальную поверхность, ккал/м$^2$час или кал/см$^2$мин;

$\beta$ – коэффициент, учитывающий поглощение тепла солнечной радиации поверхностью покрытия, равный 0,70;

$\alpha_к$ – коэффициент теплопередачи конвекцией, принимаемый равным 22 ккал/м$^2$час.град или 0,037 кал/см$^2$мин.град.;

$A_2$ – расчетная амплитуда колебаний температуры воздуха в течение суток, $^0$С.

Амплитуду $A_2$ вычисляют в каждом расчетном месяце при ясном и полуясном состоянии неба как поло -

вину разности между суточными максимумом и минимумом температуры воздуха (осредненную за период 20–30 лет) согласно справочникам по климату. Число расчетных месяцев назначают из условия, чтобы грунт под покрытием находился в талом состоянии.

Величины $A_1$, например для условий Московской обл., следует записать по форме, приведенной в табл.12.

Интенсивность радиации $J$ в 12час.30мин. на горизонтальную поверхность вычисляют в каждом расчетном месяце при ясном и полуясном состоянии неба согласно справочникам по климату и записывают по форме табл.12[x].

По формуле (29) находят величину амплитуды $A_0$ в каждом расчетном месяце при ясном и полуясном состоянии неба, считая, что величиной $A_0$ при пасмурном состоянии неба можно пренебречь вследствие ее малости, и записывают по форме табл.12.

4. По формулам, приведенным в табл.9 с учетом амплитуд $A_0$, находят напряжения $\sigma_T$ в определенный интервал времени расчетных суток $t_p$ каждого расчетного месяца. Интервал времени $t_p$ принимают равным 1 час, т.е. при полупериоде $0{,}5\tau = 12$ час, будет 12 величин $\sigma_T$.

Для ускорения вычислительной работы полезно предварительно составить таблицу $\sigma_T$ при возможных амплитудах $A_0$ с интервалом 1°С (табл.13, приложение 7).

Расчет повторяемости температурных напряжений

5. Повторяемость одинаковых амплитуд $A_0$, а следовательно, и повторяемость одинаковых напряжений $\sigma_T$ за расчетное время суток, месяца, года и срока

---

x) Для оценки состояния неба в табл.12 принята десятибалльная шкала по нижней облачности: 0–2 балла – ясное небо; 3–7 баллов – полуясное небо (облачность в один балл указывает, что 1/10 неба покрыта облаками).

службы покрытия определяют путем подсчета их с учетом числа дней с ясным, полуясным и пасмурным состоянием неба. Среднюю вероятность состояния неба назначают между 12 и 14 час. для каждого расчетного месяца по нижней облачности за период около 20 лет по данным метеорологических станций или климатологических справочников. Среднее расчетное число ясных, полуясных и пасмурных дней следует записать по форме табл.12.

### Расчет повторяемости суммарных напряжений от нагрузки и температуры

6. Повторяемость $N_{р.т.с}$ – одинаковых суммарных напряжений от нагрузки и температуры при расчетных $\sigma_р$ и $\sigma_т$ за расчетный срок службы покрытия определяют по формуле:

$$N_{р.т.с.} = \frac{N_\sigma}{12} \cdot c \Sigma t_i \ , \qquad (30)$$

где $\Sigma t_i$ – сумма часов за год, при которых наблюдается данная одинаковая величина напряжений $\sigma_т$. Величина $\Sigma t_i$ в часах за год равна числу повторений одинаковых $\sigma_т$ за год;

$\frac{N_\sigma}{12}$ – повторяемость расчетных напряжений $\sigma_р$ за один час. Величину $N_\sigma$ определяют по формуле (7);

$c$ – расчетный срок службы покрытия, лет.

Допускается объединять напряжения $\sigma_т$ в группы с интервалом 2 кгс/см$^2$. Это позволит увеличить сумму часов $\Sigma t_i$ и уменьшить число повторений одинаковых $\sigma_т$, благодаря чему в несколько раз сократится трудоемкость вычислений при расчете толщины и длины плит покрытия.

## Методика расчета условной нагрузки на колесо, сопротивления бетона на выносливость, приведения различных состава и интенсивности движения автомобилей к расчетным и определения расчетной толщины плиты

### Расчет условной нагрузки на колесо

1. Условную нагрузку на колесо $P_{усл}$ находят из расчетной формулы величины напряжений растяжения при изгибе $\sigma_p$ на подошве края середины плиты путем подстановки в эту формулу вместо $\sigma_p$ величины суммарных напряжений от нагрузки и температуры. Нагрузку $P_{усл}$ определяют для каждого значения $\sigma_{pr}$, соответствующего данному значению повторяемости одинаковых суммарных напряжений $N_{p.т.с}$.

### Методика приведения $N_{рт.с}$ при $\rho > 0{,}1$ к $N^{o}_{р.т.с}$ при $\rho \leq 0{,}1$

2. Способ приведения повторяемости $N_{р.т.с}$ с различными значениями характеристики цикла напряжений $\rho$ к повторяемости $N^{o}_{р.т.с}$ с характеристикой $\rho \leq 0{,}1$ обусловен следующей оценкой выносливости бетона.

Расчетное сопротивление бетона покрытия на выносливость $R_N$ зависит от повторяемости движения автомобилей и характеристики цикла напряжений $\rho$, которую находят из выражения:

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_т}{\sigma_т + \sigma_p} \qquad (31)$$

Предел выносливости бетона на растяжение при изгибе $R_N$ при многократных нагрузках ($2 \cdot 10^6$) зависит от величины $\rho$ и определяется из уравнения:

$$R_N = 0{,}45 R_{р.и} + \left(R_{дл} - 0{,}45 R_{р.и}\right)\rho, \qquad (32)$$

где $R_{дл}$ – длительная прочность бетона, равная $0{,}8\, R_{р.и}$.

Уравнение (32) представлено графически в полулогарифмических координатах на рис.2. Величина $R_N$ при $\rho \leq 0{,}1$ может быть выражена как

$$R_N = R_{р.и}\left(1 - 0{,}0786 \lg N\right) . \qquad (33)$$

3. Способ приведения $N_{р.т.с}$ при $\rho > 0{,}1$ к $N^{\circ}_{р.т.с.}$ при $\rho \leq 0{,}1$ состоит в следующем.

Расчетом получено $N_{р.т.с.} = 10^5$ циклов, когда $\rho = 0{,}3$. На оси абсцисс (см.рис.2) находят $N = N_{р.т.с.} = 10^5$ и проводят вертикаль до пересечения с линией, соответствующей $\rho = 0{,}3$. Точку пересечения соединяют горизонтальной прямой с линией, соответствующей $\rho = 0{,}1$, и опускают перпендикуляр на ось $N = N^{\circ}_{р.т.с.} = 10^4$ циклов.

## Методика приведения $N^{\circ}_{р.т.с.}$ и $N_{б'с}$ к $N_{пр}$ с единой нагрузкой на колесо

4. Для приведения повторяемости расчетной интенсивности движения автомобилей $N^{\circ}_{р.т.с.}$ и повторяемости напряжений $N_{б'}$ за период $C - N_{б'с}$ (когда $б'_т = 0$) с различными нагрузками на колесо к расчетной повторяемости $N_{пр}$ с единой нагрузкой на колесо $P_0$ необходимо построить следующие графические зависимости.

Первая зависимость. Из расчета плит на упругом основании находят зависимость между нагрузкой $P$ и напряжениями $б'_н$ при разной толщине плит и строят график (рис.3). На оси абсцисс (см.рис.3) также приводят вторую шкалу отношений $б'_н / R_{рц}$ при $б'_н = R_н$ .

Вторая зависимость. Очевидно, значения величин на осях координат рис.3 можно принять как

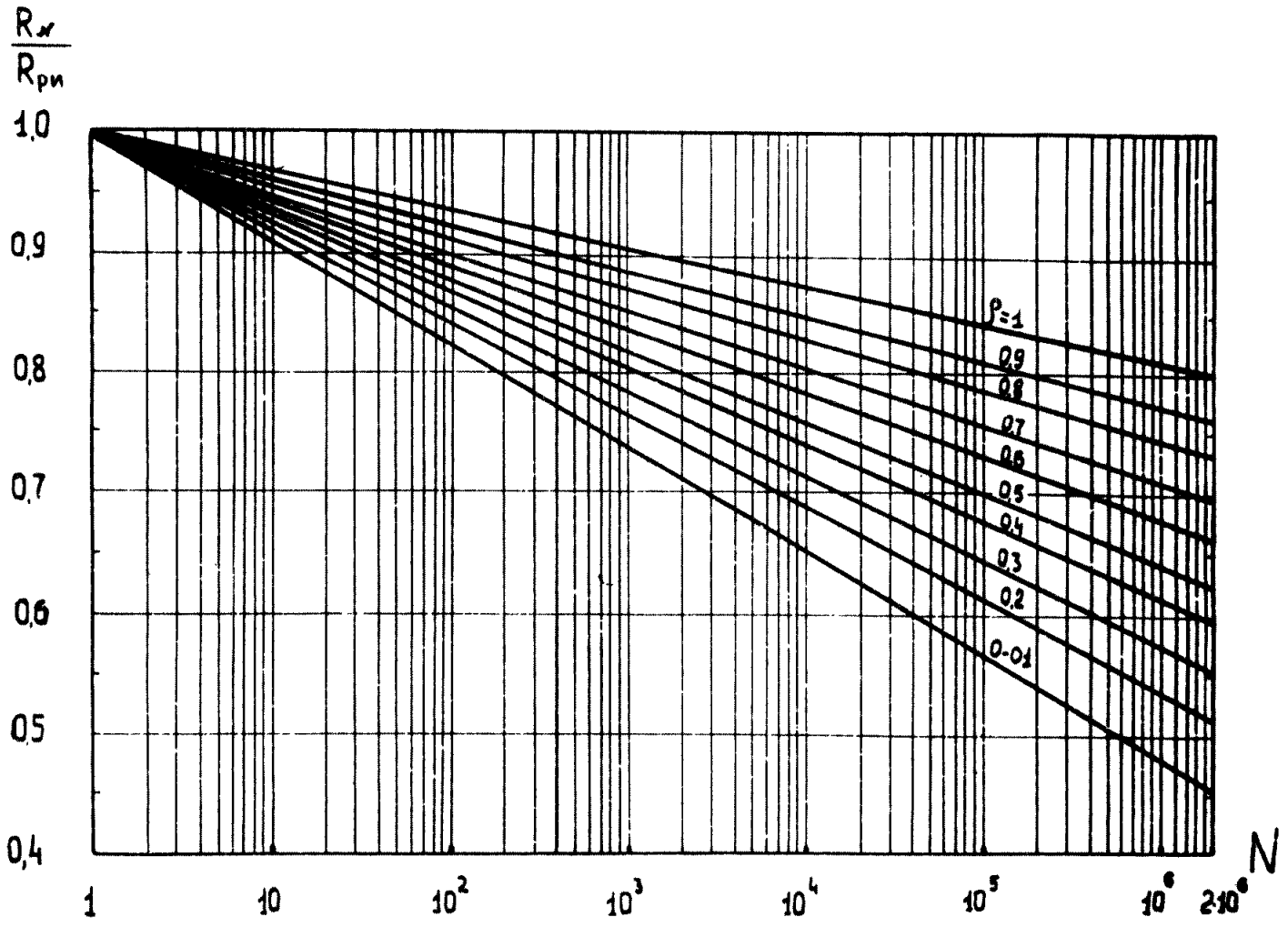



Рис.2. Изменение выносливости бетона покрытий в зависимости от повторяемости нагрузок при различных величинах характеристики цикла напряжений $\rho$

$$P = P_{усл.} \qquad (35)$$

$$\sigma = R_N \qquad \text{при } \rho \leq 0{,}1.$$

Тогда, определив $R_N = f(N)$ из выражения (33), находим на рис.3 по заданной величине $P = P_{усл}$ толщину покрытия $h$ и строим зависимость между толщиной покрытия и повторяемостью $N$ (рис.4). При построении графика (см.рис.4) вместо определения $R_N$ по формуле (33) удобнее пользоваться данными рис.2 и рис.3, что позволит без дополнительных вычислений построить зависимость $h - N$ на рис.4.

5. Приведение $N^{\circ}_{р.т.с}$ и $N_{р.с}$ к $N_{пр}$ с единой на -

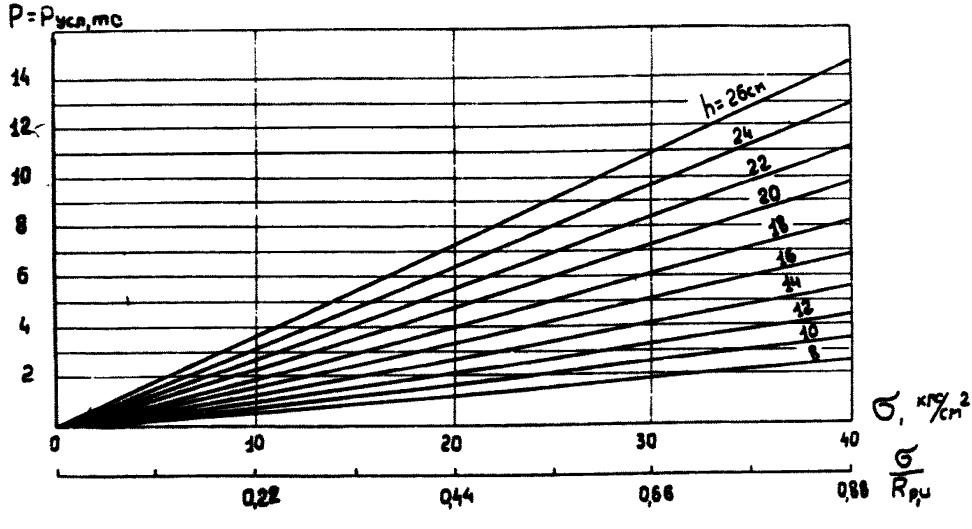



Рис.3. Зависимость между нагрузками $P$ и напряжениями растяжения при изгибе на подошве края плиты разной толщины ($E_б$ =350·10³ кгс/см²; $E_0$ =1000 кгс/см², $z$ =17 см, $R_{ри}$ =45 кгс/см²)

грузкой на колесо производят по рис.4, что можно пояснить следующим примером. Требуется привести $N^{o}_{р.т.с}$ = $1 \cdot 10^{6}$ циклов с нагрузкой $P_{усл.}$ = 7 тс к повторяемости $N_{пр}$ с нагрузкой $P_{0}$ = 10 тс. На оси абсцисс (рис.4) проводим вертикаль от величины $N = N^{o}_{р.т.с.}$ = $1 \cdot 10^{6}$ до

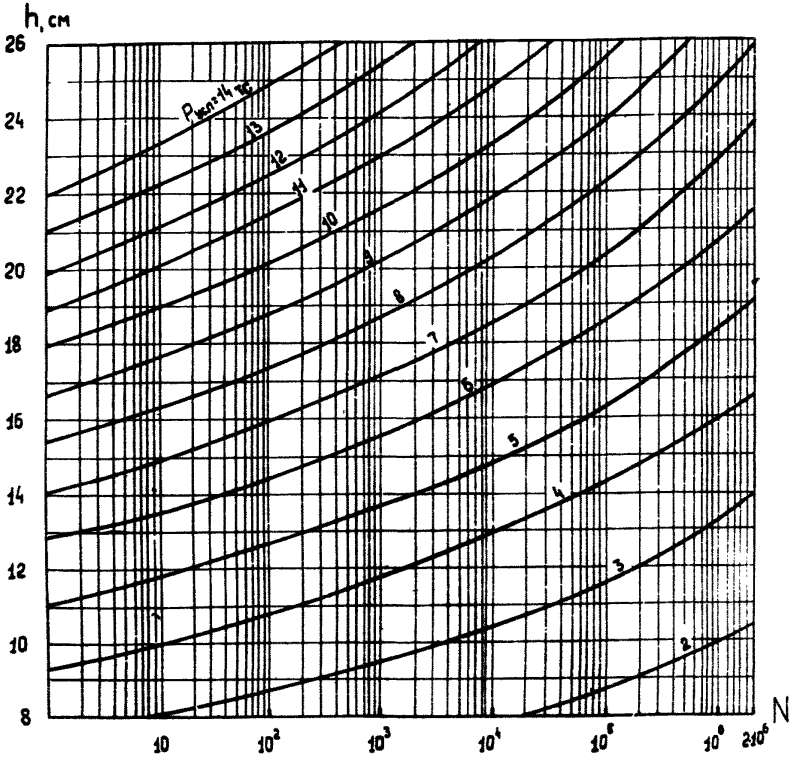



Рис.4. Зависимость между толщиной покрытия $h$ и повторяемостью нагрузок, вызывающих равную ей повторяемость напряжений $N$ при различных величинах нагрузок $P$ ( $E_{б}$ =350·$10^{3}$ кгс/см$^{2}$; $E_{0}$ =1000 кгс/см$^{2}$, $\gamma$ = 17 см )

пересечения с кривой, соответствующей 7 тс. Далее проводим горизонтальную прямую линию (одинаковая толщина) до пересечения с кривой, равной 10 тс. По проекции точки пересечения на кривой с $P=10$тс на ось абсцисс находим $N = N_{пр}$.

Указанный графический способ определения $N_{пр}$ следует из аналитического способа[x]. При одинаковой толщине покрытия находят из расчета плит на упругом основании разные величины $б'_и$ от соответствующих $P$. Из выражения (33) определяют $R_н/R_{р.и} = б_н/R_{р.и} = f(N_{1,2})$ при данных $P_1$ и $P_2$. Отношение повторяемостей $N_1$ и $N_2$ является коэффициентом приведения.

Легко увидеть, что графический способ содержит все эти вычисления, но выполненный однажды облегчает нахождение $N_{пр}$.

6. Для правильного определения величины $N_{пр}$ необходимо обеспечить соблюдение следующих требований:

– при условии $P_1 < P_2$ привести $N_1$ с $P_1$ к $N_2$ с $P_2$;

– если расчетные $N^{\circ}_{р.т.с}$ или $N_{бс}$ больше $2\cdot10^6$ циклов, то их представляют как сумму членов, равную $N^{\circ}_{р.т.с}$ и $N_{бс}$. Причем каждый член суммы должен быть не более $2\cdot10^6$ циклов;

– сумма отдельных $N_{пр}$ с $P_0$ не должна превышать $2\cdot10^6$ циклов. Если $\Sigma N_{пр} > 2\cdot10^6$, то нужно назначить большую величину единой нагрузки $P_0$ и привести к ней все повторяемости напряжений, достигнув требования $\Sigma N_{пр} \leqslant 2\cdot10^6$ циклов.

## Определение расчетной толщины плиты

7. Расчетную толщину плиты $h_{пр}$ находят из графика (рис.4), она должна соответствовать сумме отдельных приведенных повторяемостей $\Sigma N_{пр}$ с единой нагрузкой $P_0$.

---

x) Эти способы приведения предложены В.А.Черниговым и О.Б.Павловой и опубликованы в докладе на XIУ Дорожном конгрессе.

Для нахождения $h_p$ определяют $\Sigma N_{пр} = N$ на оси абсцисс рис.4 и опускают вертикаль до пересечения с кривой, равной $\rho_0$. Из точки пересечения проводят горизонтальную линию до пересечения с осью ординат, что даст толщину $h_p$.

8. При расчете толщины и длины плит следует руководствоваться следующими технико-экономическими выводами:

- с увеличением длины плиты должна возрастать ее толщина;

- допускается увеличение толщины плиты при наибольшей ее длине, соответствующей $C_x = 0{,}9 \div 1$ в формуле табл.9, только в случае, когда стоимость устройства и содержания дополнительного числа швов с учетом отдаленности вложения денег превышает стоимость дополнительной толщины покрытия.

Стоимость дополнительных швов и толщины бетона следует рассчитывать на 1 или 1000 м$^2$ покрытия.

## Примеры
### расчета толщины и длины плит цементобетонного покрытия

Пример 1. Требуется рассчитать толщину и длину плит покрытия автомобильной дороги II категории в климатических условиях Московской обл.

Расчет произведем в последовательности, указанной в п.30.

1. Нормативные и расчетные составы и интенсивность движения автомобилей, а также нагрузки на колесо примем по данным табл.10.

Таблица 10

| Параметры движения автомобилей и нагрузки | Величины параметров по маркам автомобилей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ГАЗ, прицепы, легковые | ЗИЛ | МАЗ | Автобусы | Всего |
| Состав $n_н$, % (п.17) | 71 | 22 | 2 | 5 | 100 |
| Состав $n_р$, % (п.17) | – | 22 | 2 | 5 | 29 |
| Интенсивность $N_н$, авт/сутки (п.18) | 2130 | 660 | 60 | 150 | 3000 |
| Интенсивность $N_р$, авт/сутки (п.19) | – | 264 | 24 | 60 | 348 |
| Нагрузка $P_н$, кгс (п.20) | – | 3690 | 5000 | 4000 | – |
| Нагрузка $P_р$, кгс (п.21) | – | 4428 | 6000 | 4800 | – |

Назначим срок службы покрытия до капитального ремонта 30 лет.

2. С учетом указаний п.8 (табл.1) и приложения 3

примем конструкцию дорожной одежды по 3-му варианту. Модуль упругости основания $E_0$ = 1000 кгс/см$^2$.

3. Назначим нормативные и расчетные параметры бетона: $R_u^н$ = 50 кгс/см$^2$, $E_б^н$ = 350000 кгс/см$^2$, $R_{р.и}$ = 45 кгс/см$^2$, для $R_{р.и}$ = 45 кгс/см$^2$ имеем $E_б^н$ = 330000 кгс/см$^2$ и $E_р = E_б^н \cdot K_р$ = 330000·0,9=287000 ≃ 300000 кгс/см$^2$. $E_т = E_б^н \cdot K_т$ =350000·0,8=280000кгс/см$^2$, $\alpha$ = $8 \cdot 10^{-6}$град$^{-1}$.

4. Назначим согласно приложению 4 вероятно допустимые толщину $h_н$ и длину $l_н$ плиты: $h_н$ = 22см и $l_н$ = 600 см.

5. Определим нормативные напряжения $\sigma_н$ по формуле (8) и расчетные напряжения $\sigma_р$ по формуле (6) на подошве края у середины плиты от расчетных нагрузок. Изгибающий момент найдем по формуле М.И.Горбунова-Посадова:

$$M_и = 1{,}4\, P_р \quad (0{,}0592 - 0{,}0928 \ln \frac{r}{l_0}),$$

где $r$ – радиус отпечатка колеса, равный 17 см;

1,4 – коэффициент, учитывающий увеличение $M_{из}$ на краю плиты.

$$l_0 = h_н \sqrt[3]{\frac{E_р}{6E_0}} = \sqrt{\frac{300000}{6 \cdot 1000}} = 81{,}5 \text{ см}.$$

Тогда $M_и = 1{,}4\, P_р\, (0{,}0592 - 0{,}0928) \ln \frac{17}{81{,}5} = 0{,}28\, P_р$.

Напряжения $\sigma_н = \frac{M_и}{W} = \frac{6M_и}{h_н^2}$ или, с учетом смещения нагрузки от края к центру, после преобразования по формуле (6):

$$\sigma_р = \sigma_н \cdot K_1 .$$

Результаты вычислений $\sigma_р$ запишем в табл.11.

6. Для расчета $\sigma_т$ вначале определим расчетные амплитуды $A_0$ по формуле (29) приложения 5:

$$A_0 = \frac{\beta J}{2\alpha K} + A_2 .$$

Величины амплитуд $A_2$, интенсивности радиации $J$, амплитуд $A_0$ и числа дней в году с ясным, полуясным и пасмурным состоянием неба приведены в табл.12[x].

Таблица 11

| Величина $P_p$, кгс | Напряжения $\sigma_p$, кгс/см$^2$, при смещении нагрузки от края к центру, см | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0–25 | 45 | 75 | 100 |
| 6000 | 21 | 16 | 13 | 8 |
| 4800 | 17 | 13 | 10 | 7 |
| 4428 | 15 | 11 | 9 | 6 |

Определим расчетные напряжения $\sigma_T$ по формуле из табл.9 при $h_н$ = 22 см. Результаты расчета $\sigma_T$ ($E_T$ =280000 кгс/см$^2$ и $\alpha$ = 8·10$^{-6}$град$^{-1}$) приведены в табл.13.

Суммарные напряжения $\sigma_{p.т}$ определены по формуле (9) с учетом данных табл.11 и 13. Результаты расчета $\sigma_{p.т}$ запишем в табл.14.

7. Произведем расчет повторяемости $N_\sigma$ напряжений $\sigma_p$ с учетом данных табл.3,10 и 11 по формуле (7):

$$N_\sigma = \frac{N_p \cdot n_z}{100} \quad , \text{авт/сутки}$$

Результаты расчета $N_\sigma$ запишем в табл.15.

---

x) Справочник по климату СССР, части I и II, вып.8. М.,Гидрометеоиздат,1964. Климатологический справочник.М.,Гидрометеоиздат,1938.

Таблица 12

| Расчетные параметры | Состояние неба | Величина параметров в расчетные месяцы | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь |
| $t_2$, °C | Ясно | 5,6 | 6,5 | 6,4 | 6,3 | 6,5 | 6,3 | 5,0 | 3,4 |
| | Полуясно | 4,1 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 4,9 | 4,1 | 3,2 | 2,7 |
| $J$, $\frac{\text{кал}}{\text{см}^2\text{мин}}$ | Ясно | 0,99 | 1,13 | 1,21 | 1,12 | 1,04 | 0,83 | 0,57 | 0,35 |
| | Полуясно | 0,69 | 0,81 | 0,74 | 0,73 | 0,61 | 0,47 | 0,30 | 0,17 |
| $t_0$, °C | Ясно | 15,0 | 17,2 | 17,8 | 16,9 | 16,3 | 14,1 | 10,4 | 6,7 |
| | Полуясно | 10,6 | 12,7 | 12,2 | 12,1 | 10,7 | 8,5 | 6,0 | 4,3 |
| Повторяемость числа дней в месяц[x)] | Ясно | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| | Полуясно | 5 | 11 | 12 | 13 | 11 | 8 | 6 | 1 |
| | Пасмурно | 11 | 15 | 15 | 15 | 16 | 18 | 22 | 8 |

x) Число расчетных дней взято с 10 апреля по 10 ноября в количестве 214 суток, или 2568 час, когда грунт основания талый.

Таблица 13

| $A_0$, °C x) | $\sigma_n$, кгс/см$^2$, в интервале 1 час полупериода $t$ = 12 час | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 8 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 2 | 1 |
| 10 | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 3 | 1 |
| 11 | 1 | 3 | 5 | 7 | 8 | 9 | 9 | 8 | 7 | 5 | 3 | 1 |
| 12 | 1 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 10 | 9 | 8 | 6 | 4 | 1 |
| 13 | 1 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 10 | 9 | 8 | 6 | 4 | 1 |
| 14 | 2 | 4 | 7 | 9 | 10 | 11 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 2 |
| 15 | 2 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 12 | 11 | 9 | 7 | 5 | 2 |
| 16 | 2 | 5 | 8 | 10 | 11 | 13 | 13 | 11 | 10 | 8 | 5 | 2 |
| 17 | 2 | 5 | 8 | 11 | 12 | 14 | 14 | 12 | 11 | 8 | 5 | 2 |
| 18 | 2 | 6 | 8 | 11 | 13 | 14 | 14 | 13 | 11 | 8 | 6 | 2 |

x) Амплитуды $A_0$ взяты из табл.12 с точностью до целых чисел.

Таблица 14

| $\sigma_т$, кгс/см$^2$ | Напряжения $\sigma_{р.т}$, кгс/см$^2$ при $\sigma_р$, кгс/см$^2$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6 | 9 | 10 | 11 | 13 | 15 | 16 | 17 | 21 |
| 0 | 6 | 9 | 10 | 11 | 13 | 15 | 16 | 17 | 21 |
| 1 | 7 | 10 | 11 | 12 | 14 | 16 | 17 | 18 | 22 |
| 2 | 8 | 11 | 12 | 13 | 15 | 17 | 18 | 19 | 23 |
| 3 | 9 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 19 | 20 | 24 |
| 4 | 10 | 13 | 14 | 15 | 17 | 19 | 20 | 21 | 25 |
| 5 | 11 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 | 22 | 26 |
| 6 | 12 | 15 | 16 | 17 | 19 | 21 | 22 | 23 | 27 |
| 7 | 13 | 16 | 17 | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 28 |
| 8 | 14 | 17 | 18 | 19 | 21 | 23 | 24 | 25 | 29 |
| 9 | 15 | 18 | 19 | 20 | 22 | 24 | 25 | 26 | 30 |
| 10 | 16 | 19 | 20 | 21 | 23 | 25 | 26 | 27 | 31 |
| 11 | 17 | 20 | 21 | 22 | 24 | 26 | 27 | 28 | 32 |
| 12 | 18 | 21 | 22 | 23 | 25 | 27 | 28 | 29 | 33 |
| 13 | 19 | 22 | 23 | 24 | 26 | 28 | 29 | 30 | 34 |
| 14 | 20 | 23 | 24 | 25 | 27 | 29 | 30 | 31 | 35 |

Для расчета повторяемости $N_{р.т.с}$ по формуле (30) вначале определим сумму часов за год $\Sigma t_1$, когда следует учитывать одинаковую величину напряжений $\sigma_т$. Для этого по табл.12 найдем повторяемость амплитуд $\theta_0$ за расчетное время года. Например, $\theta_0$ =17,2°≃ 17° повторяется 5 раз в мае, $\theta_0$ = 16,9° ≃ 17° повторяется 3 раза в июле или $\theta_0$ = 17° повторяется 8 раз за расчетное время года независимо от состояния неба. Согласно указанию приложения 5 при пасмурном небе принимаем $\theta_0$ = 0. Аналогично определим повторяемости других величин $\theta_0$ и результаты запишем в табл.16.

Сумму часов $\Sigma t_1$ в формуле (30) найдем из табл.13 и 16. Например, из табл.13 при $\theta_0$ = 10° имеем $\sigma_т$ = 5 кгс/см$^2$ в течение 2 час. Согласно табл.16 $\theta_0$ = 10°С повторяется за год 3 раза. Аналогично найдем из табл.13 повторяемость $\sigma_т$ = 5 кгс/см$^2$ при других $\theta_0$, равных 6° (6 раз по 2 час), 7° (1раз по 2 час), 8° (8 раз по 2 час), 11° (16 раз по 2 час),15° (4 раза по 2 час), 16° (4 раза по 2 час) и 17° (8 раз по 2 часа). Таким образом, при $\sigma_т$ = 5 кгс/см$^2$ получим $\Sigma t_1$ =2x3+2x6+2x1+2x8+2x16+2x4+2x4+2x8=100час за год.

Результаты расчета $\Sigma t_1$ запишем в табл.17. Затем найдем повторяемость $N_{р.т.с}$ по формуле (30):

$$N_{р.т.с} = \frac{N_б}{12} \cdot C \cdot \Sigma t_1 .$$

Результаты расчета $N_{р.т.с}$ при $C$ = 30 лет запишем в табл.18. Для сокращения объема цифрового текста в табл.18 даны величины $N_{р.т.с}$ и $N^{\circ}_{р.т.с}$ от $\sigma_т$ = 12 кгс/см$^2$ до $\sigma_т$ = 14 кгс/см$^2$.

8. Для приведения повторяемости $N_{р.т.с}$ с различными значениями характеристики цикла нагрузки $\rho$ к повторяемости $N^{\circ}_{р.т.с}$ от напряжений $\sigma_{р.т}$ с характеристикой $\rho \leq 0{,}1$ вначале найдем характеристику

Таблица 15

| Марка автомобиля | $P_p$, кгс | $N_p$, авт /сутки | $N_б$ за $t_p$ = 12 час при $б_p$ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 | 15 | 16 | 17 | 21 |
| ЗИЛ | 4428 | 264 | 26 | – | – | 132 | – | 66 | – | 40 | – | – | – |
| МАЗ | 6000 | 24 | – | – | – | – | – | – | 7 | – | 12 | – | 5 |
| Автобус | 4800 | 60 | – | – | – | – | 18 | – | 30 | – | – | 12 | – |
| Всего | | 348 | 26 | – | – | 132 | 18 | 66 | 37 | 40 | 12 | 12 | 5 |

Таблица 16

| $N_0$, °С | 0 | 4 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Повторяемость за год | 120 | 1 | 6 | 1 | 8 | 3 | 16 | 25 | 11 | 4 | 4 | 4 | 8 | 3 | 214 |

Таблица 17

| $б_г$, кгс/см$^2$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Sigma t_i$, час | 1442 | 142 | 78 | 58 | 122 | 100 | 118 | 54 | 140 | 120 | 88 | 46 | 24 | 14 | 22 | 2568 |

Таблица 18

| $\sigma_т$ | $\sigma_{р.т}$ | $\Sigma t_i$ | $N_б$ | $N_{р.т.с}$ | $\rho = \frac{\sigma_т}{\sigma_{р.т}}$ | $N^{\circ}_{р.т.с}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 18 | | 26 | 1560 | 0,7 | 55 |
| | 21 | | 132 | 7900 | 0,6 | 300 |
| | 22 | | 18 | 1080 | 0,5 | 150 |
| | 23 | | 66 | 3960 | 0,5 | 300 |
| | 25 | 24 | 37 | 2220 | 0,5 | 200 |
| | 27 | | 40 | 2400 | 0,4 | 300 |
| | 28 | | 12 | 720 | 0,4 | 150 |
| | 29 | | 12 | 720 | 0,4 | 150 |
| | 33 | | 5 | 300 | 0,4 | 70 |
| 13 | 19 | | 26 | 936 | 0,7 | 45 |
| | 22 | | 132 | 4750 | 0,6 | 200 |
| | 23 | | 18 | 647 | 0,6 | 55 |
| | 24 | | 66 | 2380 | 0,5 | 220 |
| | 26 | 14 | 37 | 1330 | 0,5 | 150 |
| | 28 | | 40 | 1440 | 0,5 | 150 |
| | 29 | | 12 | 432 | 0,4 | 90 |
| | 30 | | 12 | 432 | 0,4 | 90 |
| | 34 | | 5 | 180 | 0,4 | 50 |
| 14 | 20 | | 26 | 1400 | 0,7 | 55 |
| | 23 | | 132 | 7130 | 0,6 | 250 |
| | 24 | | 18 | 973 | 0,6 | 65 |
| | 25 | | 66 | 3560 | 0,6 | 150 |
| | 27 | 22 | 37 | 2000 | 0,5 | 200 |
| | 29 | | 40 | 2160 | 0,5 | 200 |
| | 30 | | 12 | 648 | 0,5 | 80 |
| | 31 | | 12 | 648 | 0,5 | 80 |
| | 35 | | 5 | 270 | 0,4 | 60 |

$\rho$ по формуле (32) приложения 6 при каждом значении $\sigma_{р.т}$ и запишем величины в табл. 18.

Согласно приложению 6 приведем $N_{р.т.с}$ к $N^{0}_{р.т.с}$ и полученные величины $N^{0}_{р.т.с}$ также запишем в табл.18.

9. Согласно приложению 6 найдем условную нагрузку на колесо $P_{усл}$ для каждого суммарного напряжения $\sigma_{р.т}$ и результаты запишем в табл.19. Нагрузку $P_{усл}$ найдем из формулы (8): $\sigma_{н} = \frac{M_{и}}{W}$, откуда

$$P_{усл} = \frac{\sigma_{р.т.} \cdot h^2}{0{,}28 \cdot 6} = 288\sigma_{р.т.}$$

10. Приведем повторяемость $N^{0}_{р.тс.}$ при $\rho \leq 0{,}1$ с различными $P_{усл}$ к повторяемости $N_{пр}$ с единой расчетной нагрузкой на колесо $P$ =10тс согласно приложению 6 (см.рис.4), а результаты приведения запишем в табл.20. Для сокращения цифрового текста в табл. 20 указаны $N_{пр}$ от $P_{усл.}$ =4,9 до $P_{усл.}$ =10тс. Отметим, что при данной интенсивности $N_{р}$ значения величин $N_{пр} \simeq 0$ и $P_{0}$ =10тс, когда $P_{усл} < 4{,}9$тс.

Таким образом, при $N_{пр}$ =520 автомобилей с расчетной нагрузкой $P_{0}$ =10тс получим по графику (см.рис. 4) требуемую толщину $h_{р}$ =21,2 см, что меньше $h_{н}$ на 0,8 см. Согласно указаниям п.30 примем толщину $h_{р}$ = 22см и длину плиты $l_{р}$ =6м.

**Пример 2.** Требуется рассчитать толщину и длину плит покрытия автомобильной дороги II категории в климатических условиях Ташкентской обл.

Исходные расчетные параметры те же, что и в примере 1. В результате расчета, аналогичного предыдущему примеру, но с учетом повышенной величины и повторяемости температурных напряжений и большей длительности расчетного периода года, получена толщина $h_{р}$=22,2см и длина плит $l_{р}$=4м. Для повышения транспортно-эксплуатационных качеств покрытия целесообразно назначить $l_{р}$ =8м между швами сжатия, разделив каждую плиту пополам швом коробления. Многолетняя эксплуатация экспериментальных конструкций по-

Таблица 19

| $\sigma_{р.т}$ | 6 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{усл}$ | 1,7 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 4 | 4,3 | 4,6 | 4,9 | 5,2 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 6,3 |

| $\sigma_{р.т}$ | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{усл}$ | 6,6 | 6,9 | 7,2 | 7,5 | 7,8 | 8,0 | 8,3 | 8,6 | 9,0 | 9,2 | 9,5 | 9,8 | 10 |

Таблица 20

| Величина $P_{усл} = P_0$ | Величина $N_{пр}$ при $N^0_{рт.с.}$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 90000 | 33000 | 12300 | 8100 | 1600 | 1500 | 600 | 70 | 110 |
| 4,9–5,5 | 90000 | | | | | | | | |
| 5,8–6,0 | | 53000 | | | | | | | |
| 6,3–6,6 | | | 32000 | | | | | | |
| 6,9–7,5 | | | | 12000 | | | | | |
| 7,8–8,0 | | | | | 5600 | | | | |
| 8,3–8,6 | | | | | | 3500 | | | |
| 9,0–9,2 | | | | | | | 2200 | | |
| 9,5 | | | | | | | | 1100 | |
| 9,8–10 | | | | | | | | | 520 |

крытий со швами коробления, построенных в 1964г. на дороге Ташкент–Голодная Степь, показала их хорошую работоспособность. По данным XIУ Дорожного конгресса, покрытия со швами коробления включены в нормы проектирования Англии, Швейцарии, ГДР и других стран.

Ответственный за выпуск В.О.Арутюнян

Редакторы: О.А.Ильина, И.А.Рубцова
Корректор Р.М.Шпигель
Технический редактор Л.А.Буланова

Подписано к печати 29.П 1972г. Формат 60x84/16
Л 100204 Заказ 46
Тираж 700
Уч.изд.л. 3,64
" 30 коп. Печ.л. 4,00

gost.e-ecolog.ru

Ротапринт Союздорнии