УДК 624.078.3:625.731.7

© М. П. Клековкина, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: 123megapolis@rambler.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-200-204

© M. P. Klekovkina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: 123megapolis@rambler.ru

НОРМАТИВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ И РЕАЛЬНАЯ РОЛЬ ШВОВ В ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ

RREGULATORY FUNCTION AND THE ACTUAL ROLE OF THE JOINTS IN RIGID ROAD CLOTHES

Рассмотрены недостатки существующих конструктивных решений жестких дорожных одежд в части влияния характеристик швов-разрезов на напряженно-деформированное состояние (НДС) дорожной одежды и их роли для оптимизации конструкции по обеспечению необходимых транспортно-эксплуатационных качеств и сроков службы дорог с разработкой новых конструктивно-технологических решений.

Ключевые слова: жесткие дорожные одежды, швы, регулирование напряженно-деформированного состояния.

The article examines some shortcomings of the existing design solutions of rigid road pavements in terms of the impact of the joints-cuts characteristics on the stress-strain state (SSS) of the road pavement and their role in optimizing the design of the road pavement ensuring necessary transport and operational qualities and service life of roads with development of new constructive technology solutions.

Keywords: rigid road pavement, joints, regulation of stress-strain state.

В соответствии с действующими нормативными требованиями использования типовых конструктивно-технологических решений цементобетонных покрытий и несущих слоев на их основе, швы (разрезы) в них предназначены для снижения нерегулируемого трещинообразования от воздействия природных факторов и транспортной нагрузки, а стыковые соединения швов — для передачи силовой нагрузки на смежные плиты.

Традиционно поперечные разрезы в нормативных конструкциях определены как швы сжатия и швы расширения. Швы сжатия (при понижении температуры и влажности) предназначены для снижения растягивающих напряжений в плитах и трещинообразования, а швы растяжения — для компенсации в них удлинения плит (при повышении температуры и влажности), снижения сжимающих усилий и выпучивания покрытия.

Продольные разрезы цементобетонного покрытия чаще выполняют по типу швов коромысла

(фактически это заанкерные швы сжатия), а рабочие швы (при приостановке работ по бетонированию) — по типу швов расширения.

При наличии морозного пучения дорожной конструкции и значений его величины расстояние между швами сокращают, обосновывая расчетом [1].

Известно, что характеристикой эффективной работы дорожной конструкции являются показатели однородности (степени неоднородности). Однородность — это степень неизменности физико-механических свойств, геометрических размеров, параметров технологических процессов, условий эксплуатации и производства работ [2].

В соответствии с этим для цементобетонных и комбинированных конструкций важными показателями являются степень однородности по площади и во времени геометрических параметров (геометрии покрытия и связи слоев, ровности и сцепных качеств (шероховатость)), степень однородности по площади и во време-

ни физико-механических показателей — прочности, устойчивости и других, оцениваемых на основе коэффициентов вариации.

Анализируя работу построенных по типовым нормативным решениям представленных в ОДН цементобетонных и комбинированных конструкций по показателям однородности, следует отметить, что:

- степень равномерности контактирования по площади и во времени цементобетонного покрытия и основания (устойчивость и плотность прилегания и взаимодействия слоев) в ходе эксплуатации постоянно меняется и в целом ухудшается, вызывая сползание плит к обочине и раскрытие швов, что требует специального анализа причин недостаточной устойчивости конструкции [3];

- вследствие неравномерного деформирования покрытия по площади от воздействия природных факторов (обуславливающих линейные деформации растяжения и коробления) традиционная конструкция не гарантирует нормативный срок службы из-за постепенного увеличения значений коэффициентов вариации по площади и во времени;

- конструкция не обеспечивает рациональную работу бетона покрытия, обуславливая напряжения разных знаков по площади и во времени (в том числе напряжения растяжения при изгибе), ухудшающих ее устойчивость;

- конструкция не способствует гашению динамических колебаний от воздействия транспортной нагрузки, не обеспечивая рациональное размещение и использование эффективных швов и стыковых соединений, а также плотное прилегание плит к основанию;

- в итоге в конструкции не предусмотрены обеспечение рационального напряженно-деформированного состояния (НДС) и оптимизация при выборе решений на основе таких регуляторов, как швы покрытия.

Для комбинированных дорожных конструкций актуальным остается решение задачи снижения толщины асфальтобетонных слоев, которые предусмотрены по величине в 16–20 см, что экономически очень затратно, причем такие решения способствуют образованию глубинной колеи и снижению межремонтных сроков службы покрытия. При этом принципом совер-

шения комбинированных конструкций считается повышение трещиностойкости асфальтобетонного слоя, что в нормативных документах предусмотрено компенсировать за счет увеличения его толщины.

Требуется новых конструктивно-технологических решений улучшение связи между несущим слоем и асфальтобетонным покрытием, что можно решать за счет рационального фрагментирования бетонного несущего слоя с разработкой эффективной системы швов-разрезов.

Как отмечено выше, регулирование НДС предусматривает включение механизма воздействия для повышения равномерности деформирования по площадям дорожной конструкции, необходимой для увеличения срока ее службы. Регулирование можно осуществлять за счет изменения или дополнения некоторых параметров конструкции, в том числе видов, количества, углов их расположения, форм и других характеристик разрезов, швов, их соединений и связей.

Впервые о роли рационального направления швов в повышении устойчивости покрытия отмечено в работе С. В. Лапшина и Л. Б. Каменецкого [4]. В данной работе показана значимость вектора направления швов (угла к продольной оси) в цементобетонном покрытии (с приведением схемы для определения максимального смещения плиты от воздействия транспортного средства и перепадов температур), повышающих устойчивость и ровность покрытия (рис. 1).

Поскольку плита лежит на поверхности, имеющей поперечный уклон, наблюдается ее поперечное смещение, вследствие чего после прекращения воздействия нагрузки плита совершает свободные колебания на величину сдвижки Δy_x с перемещением Δx , где $\Delta x = \Delta y_x \cdot i$.

При воздействии нагрузки на плиту массой m , вышедшую из положения статического равновесия на величину Δy_x , будут действовать силы: R — восстанавливающая, F — сопротивления, x — инерции. При разработке расчетной схемы рассмотрена свободнолежащая плита с равномерно распределенной массой при бесконечно большом числе степеней свободы. В данном случае использовано уравнение динамического равновесия всех сил, действующих на массу:

$$\Sigma Y = x + F + R = 0.$$

Рис. 1. Схема для установления характера смещения плиты от воздействия транспортного средства: ЦТ — центр тяжести плиты; Δx и Δy — характеристики смещения плиты

Подставим значения слагаемых:

$$x = -m \frac{d^2 y}{dt^2}; R = -\mu \Delta y; F = -R \frac{dy}{dt} = -R y',$$

где m — масса плиты; $\mu = \frac{1}{\delta_1}$ — величина, обратная перемещению конца плиты от автомобиля, δ_1 — перемещение конца плиты от транспортной нагрузки; R — коэффициент пропорциональности, не являющийся физической постоянной материала в уравнении динамического равновесия.

После преобразования уравнения динамического равновесия всех сил имеем дифференциальное уравнение второго порядка:

$$y'' + \frac{R}{m} y' + \frac{\mu}{m} \Delta y = 0.$$

Вертикальное перемещение середины плиты в первой фазе колебания, описывающей синусоидальную кривую (соответствующую первому тону колебаний), определено по формуле

$$\Delta y_x = \Delta y \cdot \sin\left(\frac{\omega + \varphi_0}{q}\right),$$

где Δy — начальное перемещение плиты; $\omega = \sqrt{\frac{\mu}{m}}$ — круговая частота при $R = 0$; q — половина средней линии трапеции.

Конец плиты также имеет положительное перемещение, то есть наблюдается кратковременный отрыв части плиты, при этом поперечное смещение плиты от одного прохода транспортного средства составит

$$\Delta x = \Delta y \cdot \sin\left(\frac{\omega + \varphi_0}{q}\right) i,$$

где i — поперечный уклон основания.

Определение поперечного смещения x_N плиты в зависимости от количества N проходов расчетного автомобиля может производиться по формуле

$$x_N = \Delta x \cdot N.$$

Поперечное смещение плиты прекращается при восстановлении контактирующих поверхностей смежных стенок шва. При этом максимально возможное смещение зависит от угла наклона поперечного шва к продольному. На рис. 2 приведена расчетная схема для определения максимально возможного смещения плит. Максимальная величина раскрытия неармированной части продольного шва составила по теоретическим расчетам 12 мм.

Величина возможного перемещения плиты y определится по формуле

$$y = \Delta l \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где $\Delta l = \alpha \cdot L' \Delta T$ — величина раскрытия поперечного шва; ΔT — перепад температур бетонной смеси при устройстве покрытия и температуры эксплуатируемого покрытия в рассматриваемый период; L' — средняя линия трапеции, равная $L' = \frac{L+l}{2}$.

При смещении плит уменьшается величина раскрытия швов сжатия и возрастает доля передачи нагрузки от транспортного средства с плиты на плиту.

Рассмотренный вариант конструктивного решения цементобетонного покрытия с «косыми» швами показал возможности регулирования НДС за счет выбора направления, количества и вида швов, позволяющих снизить недостатки существующих конструктивных решений, указанных в начале данной статьи.

Таким образом, метод расчета покрытия с трапецидальными плитами дает возможность оценить их напряженно-деформированное со-

Рис. 2. Расчетная схема для определения максимального смещения фрагмента плиты А относительно фрагмента плиты В от воздействия транспортного средства: 1 — арматурные стержни-анкеры; 2 — шов сжатия

Рис. 3. Фрагментирование несущего бетонного слоя: 1 — форма несущего элемента — шестигранник

стояние и управлять процессами трещино- и уступообразования.

Как показали наши исследования, аналогичные конструктивным решениям с косыми швами и трапецидальными формами плит, рациональной формой несущего элемента бетонного слоя является шестигранник, на основе использования которой возможно повысить устойчивость и ровность покрытия (рис. 3) [5].

До работы [4] в 1980-е годы обоснование эффективного устройства швов-разрезов под острым углом к оси дороги нашло отражение в диссертационных работах, выполненных кафедрой «Автомобильные дороги» ЛИСИ, где обеспечивалось повышение устойчивости и снижение динамики дорожных покрытий данного типа.

В 2000-е годы нами предложено фрагментирование бетонного несущего слоя на шестигранные элементы при устройстве монолитных бетонных комбинированных покрытий.

Использование рациональных разрезов несущего слоя по направлениям, количеству и видам при разработке комбинированных конструкций дорожных одежд позволит также отрегулировать связи между цементобетонным несущим слоем и асфальтобетонным покрытием на предмет предотвращения хаотического трещинообразования на покрытии от транспортной нагрузки и природно-климатических факторов.

Библиографический список

1. Карпов Б. Н. Характер работы швов и деформации дорожных бетонных покрытий под влиянием

воздействий природных факторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Л., 1970. 157 с.

2. Семенов В. А. Качество и однородность автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. 125 с.

3. Чернигов В. А., Зашчепин А. Н. К вопросу конструирования цементобетонных покрытий на основаниях различных // Труды СоюздорНИИ. Вып. 7. М.: Транспорт, 1966. С. 80–89.

4. Лапшин С. В., Каменецкий Л. Б. Исследование напряженно-деформированного состояния цементобетонных покрытий с трапецидальными плитами // Автомобильные дороги. Научно-технические достижения и передовой опыт в области автомобильных дорог: науч.-техн. информ. сб. Вып. 6. М., 1991. С. 44–54.

5. Клековкина М. П. Совершенствование конструкций и технологии строительства дорожных одежд с бетонным несущим основанием: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Волгоград, 2010. 189 с.

6. Платонов В. П. Сборные покрытия из малоармированных бетонных плит для внутрихозяйственных автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14. Л., 1989. 288 с.

7. Методические указания по проектированию жестких дорожных одежд. М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2004. 128 с.

8. Справочная энциклопедия дорожника. Т. 5. Проектирование автомобильных дорог / под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова. М., 2007. 1627 с.

9. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М.: Государственная служба дорожного хозяйства Минтранса РФ, 2001. 144 с.

References

1. Karpov B. N. *Kharakter raboty shvov i deformatsii dorozhnykh betonnykh pokrytiy pod vliyaniem vozdeystviy prirodnnykh faktorov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Performance features of joints and deformation of road concrete carpet under the influence of natural factors. PhD in Sci. Tech. diss.]. Leningrad, 1970, 157 p.

2. Semenov V. A. *Kachestvo i odnorodnost' avtomobil'nykh dorog* [Quality and uniformity of highways]. Moscow, Transport Publ., 1989, 125 p.

3. Chernigov V. A., Zashchepin A. N. *K voprosu konstruirovaniya tsementobetonnykh pokrytiy na osnovaniyakh razlichnykh* [To the issue of designing cement-concrete coverings on various bases]. *Trudy SoyuzdorNII* [Soyuzdor NII. Coll. of sci. works]. Iss. 7. Moscow, Transport Publ., 1966, pp. 80–89.

4. Lapshin S. V., Kamenetskiy L. B. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tsementobetonnykh pokrytiy s trapetseidal'nymi plitami* [Research of the intense deformed condition of cement-concrete coverings with trapezoidal plates]. *Nauch.-tekhn. inform.*

sb. «Avtomobil'nye dorogi. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt v oblasti avtomobil'nykh dorog» [Coll. of sci. works "Highways. Scientific and technical achievements and best practices in area of highways"]. Iss. 6. Moscow, 1991, pp. 44–54.

5. Klekovkina M. P. *Sovershenstvovanie konstruktivnykh i tekhnologii stroitel'stva dorozhnykh odezhd s betonnykh nesushchim osnovaniem*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improvement of designs and technology of construction of road clothes with the concrete bearing base. PhD in Sci. Tech. diss.]. Volgograd, 2010, 189 p.

6. Platonov V. P. *Sbornye pokrytiya iz maloarmirovannykh betonnykh plit dlya vnutrikhozyaystvennykh avtomobil'nykh dorog*. Diss. kand. tekhn. nauk [Combined coverings from the low-reinforced concrete plates for

intra-economic highways. PhD in Sci. Tech. diss.]. Leningrad, 1989, 288 p.

7. *Metodicheskie ukazaniya po projektirovaniyu zhestkikh dorozhnykh odezhd* [Methodical instructions on design of rigid road clothes]. Moscow, FGUP INFORMATODOR Publ., 2004, 128 p.

8. *Spravochnaya ehntsiklopediya dorozhnika. T. 5. Projektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Reference encyclopedia of the road builder. Vol. 5. Design of highways]. Ed. by. Fedotov G. A., Pospelov P. I. Moscow, 2007, 1627 p.

9. ODN 218.046–01. *Projektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd* [ODN 218.046-01. Design of non-rigid road clothes]. Moscow, Public service of road economy of Ministry of Transport of the Russian Federation, 2001, 144 p.