

УДК 630*383.4

А.В. КОРОЧКИН, канд. техн. наук, главный инженер

ООО «ТрансПроект», Департамент проектирования автомобильных дорог
(141070, Московская обл., г. Королев, мкр Первомайский, ул. Советская, 24)

Сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев жесткой дорожной одежды

Рассмотрена проблема проектирования и методов расчетов различных вариантов дорожных одежд с одновременным повышением транспортно-эксплуатационных качеств покрытия в условиях реальной работы конструкции, которая в настоящее время мало изучена. Также проанализированы существующие и перспективные алгоритмы оценки сдвига устойчивости покрытия. Приведены параметры, характеристика исследуемого объекта, детально рассмотрены экспериментальные исследования. Выполнено сопоставление результатов с техническими и проектными решениями, предлагаемыми в нормативных документах. Сформулированы выводы о направлениях дальнейшего развития проектирования дорожных одежд.

Ключевые слова: цементобетон, асфальтобетон, прочность, сдвиг, расчет.

A.V. KOROCHKIN, Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer

ООО "TransProekt", Department of Designing of Motor Roads (24 Sovetskaya str., Pervomaysky Community, Korolev, Moscow REG, 141070, Russian Federation)

Steadiness of Asphalt Concrete Layers of Rigid Road Pavement against Displacement

The issue of designing and methods of calculation of different variants of road pavements with simultaneous improvement of transport-operation qualities of the pavement under conditions of real operation of the structure which at present are not enough studied is considered. Existing and prospective algorithms of the assessment of pavement resistance to displacement are also analyzed. Parameters, characteristic of the object studied are presented; experimental studies are considered in details. The comparison of results with technical and design solutions offered in normative documents are made. Conclusions about the ways of the further development of road pavement designing are formulated.

Keywords: cement concrete, asphalt concrete, durability, shear, calculation.

В настоящее время жесткая дорожная одежда с асфальтобетонным покрытием значительно распространена на автомобильных дорогах и магистралях в разных регионах России. Цементобетонное основание с асфальтобетонными слоями покрытия позволяет обеспечить высокую прочность конструкции, а также достаточные транспортно-эксплуатационные показатели.

Жесткие дорожные одежды с асфальтобетонными покрытиями сооружают как для многополосных проезжих частей автомобильных магистралей, так и для двухполосных дорог, имеющих интенсивное движение большегрузных автомобилей.

В настоящее время расчет жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием производят согласно «Методическим рекомендациям по проектированию жестких дорожных одежд» [1]. При расчете основания и покрытия необходимо учесть все факторы, оказывающие разрушающее и изнашивающее воздействие на конструкцию. Одной из важнейших проблем жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием является сдвиг асфальтобетонных слоев по жесткому основанию.

Сдвиги — это неровности, вызванные смещением материала покрытия при устойчивом основании, вследствие чего на поверхности образуются наплывы, волны и складки [2, 3]. Чаще всего под действием касательных сил возникает сдвиг по основанию или по материалу слоя. Основными причинами возникновения сдвигов является избыток вяжущего, недостаточная теплоустойчивость при высоких значениях температуры и слабое сцепление с основанием.

Изучением сдвигоустойчивости занимались многие ученые в России, среди которых следует отметить: Н.Н. Иванова, В.Ф. Бабкова, А.М. Богуславского, М.А. Шахназарову, И.А. Медникова, В.А. Захарова, Э.А. Казарновскую, Л.С. Губача, Н.П. Толстикова, В.Н. Носкова, Д.И. Ганжула, В.И. Страгиса. Слабым местом с точки зрения сдвигоустойчивости в конструкции дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на цементобетонном основании является междуслой-

ная контактная поверхность. Горизонтальные усилия, возникающие в такой конструкции в контактной зоне под воздействием движения и торможения автотранспортных средств, способствуют образованию перечисленных неровностей. Эти усилия должны компенсироваться сцеплением верхнего слоя с нижним. Очевидно, для того чтобы предотвратить сдвиг покрытия по контакту, необходимо создать сцепление, которое могло бы противодействовать возникающим горизонтальным усилиям, что обеспечит сопротивление сдвигу.

Для оценки и прогнозирования устойчивости дорожных покрытий против сдвигающих усилий широкое распространение получила теория прочности О. Мора. Развитие этой теории нашло отражение в работах Н.Н. Иванова и Д.И. Ганжула, где высказано предположение о возможности применения упрощенной теории предельных напряженных состояний. Экспериментальное подтверждение этого предположения для горячего асфальтобетона позволило заменить предельную огибающую кривую (по О. Мору) прямой, описанной известным уравнением Кулона:

$$\tau_{\alpha} = \sigma_{\alpha} \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (1)$$

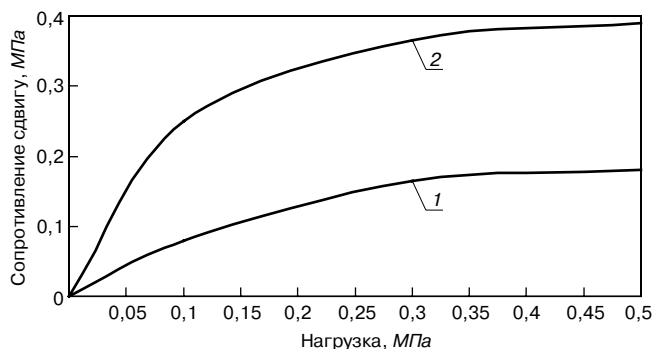
где τ_{α} , σ_{α} — соответственно касательное и нормальное напряжения в плоскости скольжения (сдвига); $\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения; C — внутреннее сцепление.

Сопротивление сдвигу определяют на основе закона Кулона по формуле:

$$\Theta = P \cdot \xi + C, \quad (2)$$

где Θ — сопротивление сдвигу; P — нагрузка; ξ — коэффициент, зависящий от площади действительного контакта; C — сцепление.

Н.Н. Иванов предложил формулу, которая описывает сопротивление сдвигу материалов на органических вяжущих уравнением, аналогичным уравнению Кулона:



Сопротивление сдвигу асфальтобетона по цементобетону в зависимости от нагрузки: 1 – гладкая поверхность; 2 – шероховатая поверхность

$$\tau = \text{ptg } \varphi + C_1 + C_2, \quad (3)$$

где τ – сдвигающее усилие; p – нормальное давление; C_1 – зацепление минеральных зерен сухих; C_2 – сцепление минеральных зерен битумом.

Известно, что сопротивление сдвигу асфальтобетонного покрытия по цементобетонному основанию в основном зависит от площади действительного контакта основания и покрытия, а именно от степени шероховатости основания. Следовательно, увеличение шероховатости поверхности цементобетонного основания и сцепления между слоями будет увеличивать сопротивление сдвигу.

Анализируя опытные данные, полученные при обследовании городских улиц Москвы, М.А. Шахназарова пришла к выводу, что для повышения устойчивости однослойных асфальтобетонных покрытий против сдвигов по основанию необходимо обеспечить условие их совместной работы, что, очевидно, может быть достигнуто путем создания надежного сцепления между ними (см. рисунок).

Сцепление обуславливается двумя важнейшими факторами: адгезией и когезией. Адгезия – это способность вяжущего прилипнуть к поверхности наполнителя, т. е. прочность на границе раздела фаз минеральный материал – вяжущее. Когезия характеризует прочность слоя вяжущего. С физической точки зрения это сила взаимного притяжения молекул в слое вяжущего, а адгезия определяет величину межмолекулярного притяжения.

Как показали экспериментальные исследования, повышение температуры по толщине всей конструкции асфальтобетонное покрытие + цементобетонное основание приводит к уменьшению их взаимного сцепления вследствие изменения различных физико-механических характеристик.

Наряду с горизонтальными усилиями, которые направлены на преодоление сил сцепления, на покрытие действуют вертикальные усилия от нагрузки, которые прижимают покрытие к основанию, вследствие чего возникает сила трения. Несомненно, что, характеризуемая коэффициентом трения, она противодействует сдвигу, исследованию которого были посвящены работы Л.И. Горещко и И.В. Крагельского. Очевидно, что при изменении указанных выше параметров будет соответственно меняться сцепление.

Н.Н. Иванов отмечает, что сопротивление трению обусловлено главным образом крупностью частиц минерального скелета, их однородностью и окатанностью. Оно выше при крупных, однородных и остроугольных частицах и несколько ниже при мелких, разноразмерных и окатанных, сравнительно мало изменяется в зависимости от температуры и длительности приложе-

ния нагрузки, но чувствительно к содержанию вяжущего в смеси. В зависимости от крупности, однородности и окатанности частиц, а также от содержания вяжущего коэффициент трения изменяется от 0,35 до 0,85 при угле трения 20–40°. Коэффициент трения снижается вследствие раздвигания крупных частиц мелкими, а также при избытке вяжущего, зависит от молекулярно-атомной шероховатости поверхности и не является величиной постоянной. При увеличении нагрузки его значение уменьшается. Он может быть определен как отношение силы трения к прилагаемой нагрузке:

$$f = \frac{F}{N}. \quad (4)$$

Предельный коэффициент трения выражается зависимостью:

$$f_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{Q}, \quad (5)$$

где $N_{\text{пр}}$ – предельно сдвигающая сила; Q – давление от нагрузки.

В момент сдвига покрытия по основанию образуется сила трения, которая противодействует этому сдвигу.

А.М. Богуславским была предложена формула срока службы асфальтобетонного покрытия по сдвигоустойчивости:

$$\tau_p = - \left[\frac{2 \cdot (\Theta + 0,5 \cdot t)}{P_1/P_2} \right]^{a/p}, \quad (6)$$

где Θ – время релаксации, с; t – время ретрадации, с; a – коэффициент, равный 0,25 при температуре 50°C; p – уровень напряжения, $p = \sigma/R$, где σ – горизонтальное усилие, МПа; R – предел прочности при сжатии при 50°C, МПа.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований В.Н. Антиповым было получено уравнение для расчета толщины покрытия из условия сдвигоустойчивости:

$$\frac{h}{D} = \frac{\lg T}{2 \cdot [0,11 R \lg \frac{2\Theta}{P_1/P_2} + h/P_0 - \sqrt{E_1/E_2} - 1,25 \cdot 10^{Q/P}]} \quad (7)$$

где h – толщина покрытия, м; D – диаметр отпечатка колеса, м; T – заданная продолжительность срока службы покрытия, гг.; R – предел прочности асфальтобетона при 50°C, МПа; Θ – время релаксации, с; P_1/P_2 – кинетическая характеристика; P_0 – удельное давление в пневматике колеса автомобиля, МПа; E_1 – модуль упругости асфальтобетона, МПа; E_2 – модуль упругости основания, МПа; Q – горизонтальное усилие, кН; P – вертикальное усилие, кН.

Проведенные в 2010–2012 гг. экспериментальные исследования также позволяют сделать заключение о необходимости проектирования и расчета жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на сдвиговое разрушающее воздействие. При проведении данного расчета следует учесть выполнение ряда факторов, в частности таких как трещиностойкость, износостойкость связанных асфальтобетонных слоев и их физико-механические параметры [4]. Также надо особенно тщательно рассматривать совместную работу двух материалов [5].

При возможном сроке службы основания из цементобетона порядка 40–50 лет применение верхнего слоя конструкции из асфальтобетона небольшой толщины в качестве защитного слоя и слоя износа существенно повышает долговечность дорожной одежды. Правильно запроектированная и устроенная такая комбинированная дорожная одежда в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к автомобильным дорожным одеждам различных категорий.

Список литературы

1. *Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд*. М., Информавтодор. 2004.
2. ГОСТ 9128–2009. *Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон*. М., 2010.
3. ОДН 218.1.052–2002 «*Оценка прочности нежестких дорожных одежд*». М., Информавтодор. 2003.
4. Кушинский В.А., Радьков Н.В., Игошин Д.Г., Сулимова А.Н. *Рекомендации по устройству защитных слоев износа по мембранной технологии на автомобильных дорогах с жесткими дорожными одеждами*. Минск: 1999.
5. *Технические рекомендации по устройству и приемке в эксплуатацию дорожных покрытий с учетом требований международных стандартов по ровности*. М.: ТР 134-03, Москва, 2003.
1. *Methodicheskie rekomendacii po proektirovaniju zhestkikh dorozhnyh odezhd [Methodical recommendations about designrigid road clothes]*. M.: Informavtodor. 2004 (in Russian).
2. ГОСТ 9128–2009. *Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, ajerodromnye i asfal'tobeton [Mixes asphalt concrete road, airfield and asphalt concrete]*. M.: 2010 (in Russian).
3. ОДН 218.1.052–2002 *Ocenka prochnosti nezhestkikh dorozhnyh odezhd [Assessment of durability of nonrigid road clothes]*. M.: Informavtodor. 2003 (in Russian).
4. Kushinskij V.A., Rad'kov N.V., Igoshin D.G., Sulimova A.N. *Rekomendacii po ustrojstvu zashhitnyh sloev iznosa po membrannoj tehnologii na avtomobil'nyh dorogah s zhestkimi dorozhnyimi odezhdami [Recommendations about the device of protective layers of wear about membrane technology on highways with rigid road clothes]*. Minsk: 1999 (in Russian).
5. *Tehnicheskie rekomendacii po ustrojstvu i priemkev jekspluataciju dorozhnyh pokrytij s uchetom trebovanij mezhdunarodnyh standartov po rovnosti [Technical recommendations about the device and acceptance for operation of pavings taking into account requirements of the international standards for flatness]*. M. TR 134-03, 2003 (in Russian).

References

1. *Methodicheskie rekomendacii po proektirovaniju zhestkikh dorozhnyh odezhd [Methodical recommendations about*

ИНФОРМАЦИЯ

Некоммерческое партнерство «Союз производителей бетона» отмечает 10-летие

16 декабря 2003 г. ряд предприятий – производителей бетона подписали Учредительный договор об образовании некоммерческого партнерства «Союз производителей бетона». Основная цель создания Союза, которая была поставлена учредителями, – перевод «дикого» рынка бетона в цивилизованное русло, создание приоритетов для качественного продукта на рынке и благоприятной обстановки для процветания своего бизнеса.

Некоммерческое партнерство «Союз производителей бетона» призвано защищать интересы производителей бетона высокого качества. Союз представляет своих членов в органах государственной власти, средствах массовой информации, координирует деятельность производителей бетона на рынке. Главная цель деятельности Союза – решение острых и ключевых проблем отрасли для конечного производителя.

Членство в «Союзе производителей бетона» – показатель профессионализма, авторитетности и добросовестности, дополнительная гарантия надежности компании. Участие в Союзе дает возможность влиять на отрасль и стратегические моменты ее развития, координировать усилия, политику, моральные аспекты деятельности участников отраслевого рынка.

За эти годы Союзу удавалось эффективно решать проблемы дебиторской задолженности своих членов, воздействуя через саморегулируемые организации строителей на руководителей предприятий, нарушающих принципы деловой этики.

Совместное использование интеллектуальных, финансовых, технических, организационных и иных ресурсов членов Союза дает мощный синергетический эффект. Одной компании часто не по силам участвовать в нужных для нее программах множества ассоциаций, фондов, консорциумов. Взаимодействие с ними через Союз не только дает экономию на членских взносах, но и избавляет от части проблем и связанных с ними организационных хлопот. С 2012 г. Союз является членом «Национального партнерства ассоциаций и союзов предприятий промышленности строительных материалов». Союз активно уча-

ствует в Координационно-экспертном совете Минрегиона России по реализации стратегии развития стройиндустрии до 2020 г. и содействует ее реализации, включая технологическое развитие производственной базы индустриального домостроения, в том числе обеспечение координации действий в процессе строительства и модернизации предприятий строительных материалов, изделий и конструкций, имеющих межрегиональное значение. Союз представлен в Комитете по строительным материалам, изделиям и конструкциям НОСТРОИ, где решается самая важная задача – объединение усилий представителей всей стройиндустрии по преодолению накопившихся противоречий между промышленниками, проектировщиками и строителями, проблем сбыта и обеспечения сырьевыми ресурсами, финансового обеспечения модернизации, кадровой подпитки.

Союз неоднократно принимал участие в тематических профессиональных выставках, представляя своих членов на едином стенде партнерства. Это позволило членам «Союза производителей бетона» участвовать в большем числе выставок с выгодой для себя.

На Всероссийском съезде производителей бетона, организованном Союзом, были рассмотрены вопросы противодействия кризису в отрасли и намечены пути стабилизации обстановки на рынке. В связи с ухудшающимся качеством бетона на рынке и отсутствием контроля над бетонными заводами со стороны Госстройнадзора Союз выступил с законодательной инициативой: внести дополнение в действующее законодательство о саморегулируемых организациях – «О создании общественными профессиональными объединениями добровольных отраслевых реестров производителей строительных материалов». При выборе поставщика строительных материалов вменить в обязанность строительным организациям, входящим в СРО, руководствоваться данными отраслевых реестров. Кроме того, Союз предложил ввести обязательную сертификацию цемента и бетона в Техническом регламенте Таможенного союза. Союз делает все возможное, чтобы улучшить качество бетона на рынке и повысить безопасность зданий и сооружений.