



**А. О. ГЛАЗАЧЕВ
Л. Ю. ГИМАДЕТДИНОВА
А. П. ГОНЧАРУК
И. В. НЕДОСЕКО**

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА НА СДВИГУСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

OPTIMAL DESIGN OF RIGID PAVEMENT MADE OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE SLABS BASED ON THE RESULTS OF THE CALCULATION OF THE SHEAR RESISTANCE BY FINITE ELEMENTS METHOD

Приводится сравнительный анализ результатов расчета жесткой дорожной одежды из сборных железобетонных плит на сдвигустойчивость, полученных классическим инженерным методом и с использованием численных расчетов. Делается вывод о возможности применения современных инструментов проектирования для разработки оптимальной конструкции жестких дорожных одежд.

The article presents a comparative analysis of the results of the calculation of rigid pavement on the shear stability obtained by the classical engineering method and using numerical calculations. The conclusion is made about the possibility of using modern design tools to select the optimal design of rigid pavement.

Ключевые слова: дорожная одежда, численные методы расчета, сдвигустойчивость

Keywords: road clothes, numerical methods of calculation, shear stability

Бетон и железобетон используются в дорожном строительстве еще с XIX столетия. Естественно, что за такой долгий период в технологии устройства бетонных оснований и покрытий для автомобильных дорог различных категорий произошли большие изменения, в частности в последние десятилетия в развитых странах мира вместо стандартного бетона (обычных классов по прочности В20-В30) все шире используются бетоны нового поколения — высокопрочные, дисперсно-армированные и др. [1–3]. Однако отечественные методики проектирования автомобильных дорог с бетонными покрытиями (как правило, на основе сборных железобетонных дорожных плит типа ПДН), созданные в 50-70-е гг. XX в., к сожалению, во многом устарели и не отвеча-

ют современным требованиям. Например, действующими нормативами при подборе толщины слоев дорожной одежды и материалов, из которых они будут изготовлены, нормативными документами [4–7] предусмотрен обязательный расчет на сдвигустойчивость подстилающего грунта и слабых конструктивных слоев. Основное требование — чтобы под действием кратковременных и длительных нагрузок за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения. Это значит, что под действием нагрузок в грунте или слоях дорожной одежды могут возникать зоны пластических деформаций сдвига. Добиваться, чтобы таких зон не возникало совсем, экономически нецелесообразно, поэтому их развитие ограничивается недо-

пустимыми остаточными деформациями, которые могут повлиять на эксплуатационную надежность как дороги в целом, так и отдельных ее элементов. По методике расчета [5] такие деформации не будут накапливаться, если выполняется условие

$$T \leq \frac{T_{np}}{K_{np}^{mp}},$$

где K_{np}^{mp} — требуемое минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности; T — расчетное активное напряжение сдвига в расчетной точке конструкции от действующей временной нагрузки; T_{np} — предельная величина активного напряжения сдвига, превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг.

В соответствии с [5] предельная величина активного напряжения сдвига определяется из условия равновесия в точке, где производится проверка. Здесь необходимо знать прочностные параметры грунта (угол внутреннего трения и удельное сцепление), а также вес вышележащего слоя. Кроме того, при расчете учитывается характер работы разных материалов на контакте слоев применением соответствующих коэффициентов. Действующие напряжения сдвига в интересующей точке определяются на основании специальных номограмм. Применение таких номограмм является удобным и быстрым инструментом для выполнения расчета, но как и все подобные методы он имеет ряд допущений и не учитывает многих факторов. Все это компенсируется запасами надежности, что не всегда обоснованно с экономической точки зрения.

Как и другие инженерные расчеты на динамическое воздействие, данная методика сводится к статическому расчету системы. Динамическое воздействие учитывается повышающими коэффициентами для нагрузок. Цикличность нагружения – сниже-

нием значений механических характеристик грунта. Все это в целом учитывает особенности работы конструкции и с определенной точностью дает возможность получить параметры, которые требуется заложить в конструкцию при проектировании.

В настоящее время активно развиваются инструменты моделирования и численного расчета конструкций, основанные на методах конечных элементов [8]. Такими инструментами служат различные программные комплексы, которые дают возможность выполнить расчет не только в упругой постановке, но и с учетом более сложных процессов путем применения различных моделей.

Так, при подборе конструкции дорожной одежды при строительстве автодороги Кашкалево-Новотазларово в Бураевском районе Республики Башкортостан был выполнен расчет на сдвигоустойчивость с использованием геотехнического программного комплекса Plaxis 3D. Расчет в целом производился по методике [5], за исключением того, что напряжения сдвига определялись не по номограммам, а численным методом.

Для выполнения расчетов были приняты следующие исходные данные:

- тип дорожной одежды (капитальный);
- категория дороги (IV);
- дорожно-климатическая зона (Ш1);
- нормативная нагрузка на ось (115 кН);
- коэффициент надежности по нагрузке (0,95).

Расчет выполнялся для уровня надежности 0,95 с коэффициентом прочности 1,00. Поперечный профиль дороги представлен на рис. 1.

При моделировании приняты следующие параметры конструктивных слоев дорожной одежды:

- железобетонные плиты ПНД серии 3.503.1-91 толщиной 140 мм;
- выравнивающий слой из песка толщиной 50 мм;

Конструкция дорожной одежды с покрытием из сборных дорожных плит ПНД по серии 3.503.1-91

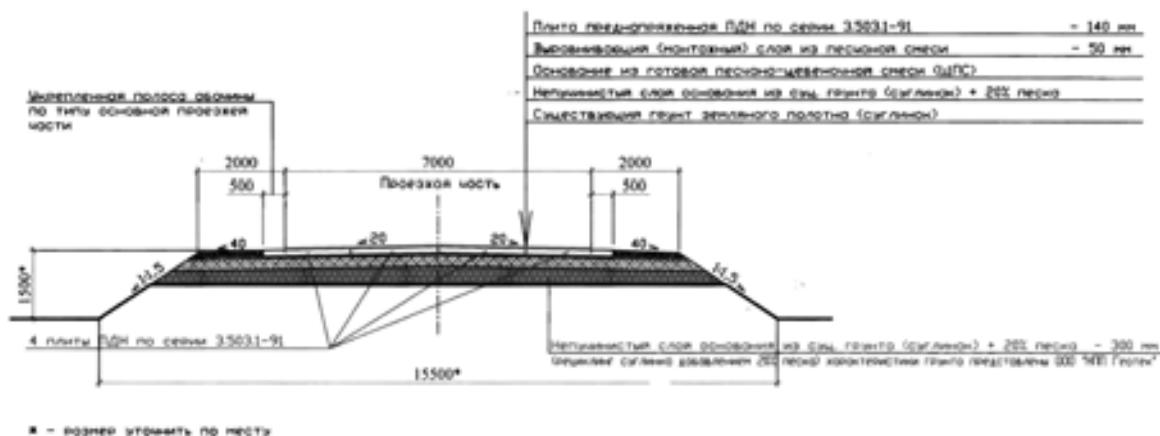


Рис. 1. Поперечный профиль дороги

- щебеночно-песочная смесь (ЩПС) толщиной 350(400) мм;
 - суглинок с песком (супесь) толщиной 300(250) мм;
 - суглинок.
- При численных расчетах в качестве модели материала железобетонной плиты покрытия применя-

лась упруго-линейная модель, которая подчиняется закону Гука. Для моделирования грунтового основания использовалась модель Мора-Кулона. Она описывает упругое поведение среды при напряжениях ниже предела текучести и простое равнообъемное пластическое течение при напряжениях на пределе текучести.

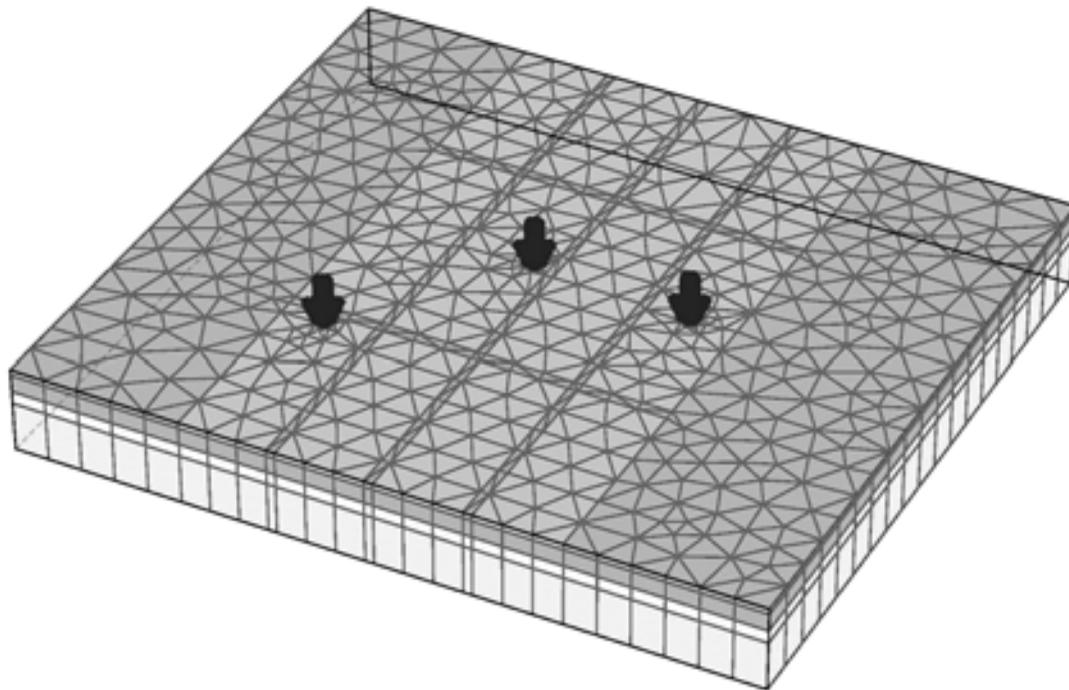


Рис. 2. Расчетная схема численной модели

В ходе численного моделирования в трехмерной постановке была сгенерирована расчетная схема, представленная на рис. 2. Приложение нагрузки выполнялось путем приложения круглого пятна давления диаметром 36,5 см. Нагрузка прикладывалась в трех положениях плиты: 1) в центре, 2) у края длинной стороны и 3) у края короткой стороны. Анализ напряжений велся при толщине ЩПС 350 мм (глубина 54 см) и 400 мм (глубина 59 см). Общая толщина дорожной одежды остается без изменений — 84 см.

В результате расчетов были получены касательные напряжения на глубинах 54; 59 и 84 см для трех вариантов приложения нагрузки. В соответствии с [5] были определены предельные напряжения сдвига для интересующих нас глубин, что позволило вычислить коэффициенты прочности. Для толщины слоя ЩПС 350 мм коэффициент прочности составил 0,80, а для толщины слоя 400 мм — 1,05. Таким образом, критерий выполнения условия прочности на сдвиг для уровня надежности 0,95 соблюдается при толщине ЩПС 400 мм.

При определении напряжений сдвига по номограммам дорожная одежда получалась с более мощными слоями. Применение численных методов моделирования позволило наиболее точно учесть работу всех элементов конструкций. Напряжения в грунте зависят от учета жесткости железобетонной плиты и ее распределительной способности, что при моделировании достаточно просто выполнить.

По принятым техническим решениям планируется строительство опытного участка дороги, где будет проводиться мониторинг состояния и контроль основных параметров конструкций дорожной одежды и земляного полотна, в результате чего можно будет сопоставить результаты расчета с результатами наблюдений.

При более широком применении численных расчетов с использованием сложных грунтовых моделей можно получать не только значения напряжений, но и значения упругих и остаточных деформаций с учетом режима работы конструкции (цикличность нагружения и т. д.) и других особенностей материала конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сталефибробетонные конструкции в автодорожном строительстве Республики Башкортостан / И.В. Недосеко, В.В. Бабков, Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, В.Н. Мохов, Р.Ш. Дистанов // Строительные материалы. 2006. № 3. С. 50–53.

2. Сталефибробетон в производстве изделий и конструкций дорожного назначения / В.В. Бабков, И.В. Недосеко, Р.Ш. Дистанов, М.А. Ивлев, Ю.Д. Федотов, И.Б. Струговец, М.М. Латыпов // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 40–45.

3. Фибробетон в производстве дорожных плит / Н.Н. Латыпов, И.Б. Струговец, В.В. Бабков, И.В. Недосеко // Строительные материалы. 2009. № 11. С. 50–52.

4. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд: взамен ВСН 197-91. М., 2004. 135 с.

5. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. М.: Информавтодор, 2001. 145 с.

6. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги / Министерство регионального развития РФ. М., 2013. 106 с.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. М.: Стандартинформ, 2016. 5 с.

8. Конечно-элементные модели для расчета плиты жесткого дорожного покрытия / И.В. Демьянушко, В.П. Носов, В.М. Стаин, А.В. Стаин // Транспортное строительство. 2012. № 4. С. 7–10.

Об авторах:

ГЛАЗАЧЕВ Антон Олегович

кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного инжиниринга и компьютерной графики
Уфимский государственный нефтяной технический университет
450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195
тел. +7 (917) 401-53-37
E-mail: anton.glazachev@mail.ru

GLAZACHEV Anton O.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Comprehensive Engineering and Computer Graphics Chair
Ufa State Petroleum Technological University
450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195,
tel. (917) 401-53-37
E-mail: anton.glazachev@mail.ru

ГИМАДЕТДИНОВА Лилия Юнусовна

аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. +7 (927) 605-01-28
E-mail: ajupovalilija@rambler.ru

GIMADETDINOVA Liliya Y.

Postgraduate Student of Building Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (927) 605-01-28
E-mail: ajupovalilija@rambler.ru

ГОНЧАРУК Алексей Павлович

инженер управления научных исследований и разработок
Уфимский государственный нефтяной технический университет
450062, Россия, Республика Башкортостан, г.Уфа,
ул. Космонавтов, 1,
тел. +7 (917) 345-51-35
E-mail: wi-fi97@mail.ru

GONCHARUK Alexey P.

Engineer of Scientific Research and Development Department
Ufa State Petroleum Technological University
450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195,
tel. (917) 345-51-35
E-mail: wi-fi97@mail.ru

НЕДОСЕКО Игорь Вадимович

доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический университет
450062, Россия, Республика Башкортостан, г.Уфа,
ул. Космонавтов, 1,
тел. +7 (987) 254-00-96
E-mail: nedoseko1964@mail.ru

NEDOSEKO Igor V.

PhD in Engineering Science, Associate professor of the Building Constructions Chair
Ufa State Petroleum Technological University
450062, Russia, Republic of Bashkortostan,
Ufa, Cosmonavtov str., 1,
tel. (987) 254-00-96
E-mail: nedoseko1964@mail.ru

Для цитирования: Глазачев А.О., Гимадетдинова Л.Ю., Гончарук А.П., Недосеко И.В. Выбор оптимальной конструкции жесткой дорожной одежды из сборных железобетонных плит по результатам расчета на сдвигоустойчивость методом конечных элементов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 4-7. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.1.

For citation: Glazachev A.O., Gimadetdinova L.Yu., Goncharuk A.P., Nedoseko I.V. Optimal Design of Rigid Pavement Made of Prefabricated Reinforced Concrete Slabs Based on the Results of the Calculation of the Shear Resistance by Finite Elements Method // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 4-7. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.1.