

Особенности проектирования дорожной одежды в зоне размещения датчика веса

© С.С. Гаврюшин¹, В.А. Годзиковский², М.В. Смирнов¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

²ЗАО «ВИК «Тензо-М», Московская обл., пос. Красково, 140050, Россия

В целях предотвращения разрушения и увеличения прочности дорожного покрытия в зоне размещения датчика веса проведен расчет дорожного покрытия. Для автоматизации расчета разработана программа, взаимодействующая с САЕ-комплексом системы ANSYS. С помощью данной программы рассмотрены три различных конфигурации датчиков веса и один тип дорожной одежды — покрытия. Расчет проведен при разных температурах окружающей среды. Получены распределение напряжений в дорожном покрытии, зоны перенапряжений, коэффициент разветвления силы. Разработанная программа позволяет моделировать произвольные конфигурации дорожного покрытия, датчика, колеса автомобиля.

Ключевые слова: автоматизация, дорожная одежда, прочность, датчик веса, коэффициент разветвления силы, ANSYS

Введение. В связи с увеличением интенсивности дорожного движения, повышением нагрузок на оси и перегрузки автомобилей сверх нормативов ускоренное разрушение дорожных покрытий и снижение безопасности движения стали проблемой для всех стран, в том числе и для России. Необходим контроль нагрузок на оси колес и общего веса автомобиля. Для проведения контроля применяют весы поосного взвешивания.

Однако весы при внедрении в дорожное покрытие изменяют его напряженно-деформированное состояние (НДС) и снижают прочность по сравнению со штатным режимом (простой проезд автомобиля) и, если не принять специальных конструктивных мер, могут также ускорить разрушение примыкающих участков дорожного покрытия.

В настоящей работе рассмотрено взаимодействие весов для поосного взвешивания автомобилей с дорожным покрытием. Исследованы нежесткие дорожные покрытия из асфальтобетона, которых пока в России большинство.

Дискуссии, какое покрытие лучше — нежесткое асфальтобетонное или жесткое цементобетонное, продолжаются и в настоящее время. По данным ФКУ «Росдортехнологии», доля цементобетонных дорог в России составляет 2 % [1]. Поэтому актуальной задачей является исследование установки датчиков в нежесткое дорожное покрытие.

Исследования проводили для одного варианта конструкции многослойного нежесткого покрытия и трех профилей поперечного сечения датчика.

Исследование долговечности дорожного покрытия. Живучесть дорожного покрытия с датчиком можно определить двумя способами: экспериментальным и расчетным.

Для экспериментальной оценки дорожного покрытия в МАДИ используется специальный стенд «Карусель». Срок жизни датчика в покрытии в соответствии с опубликованными данными колеблется от 3 до 15 лет [2]. Конструкция стенда эквивалентна четырехосному грузовику, а скорость его вращения — скорости колес автомобиля, т. е. 60–140 км/ч. Следовательно, стенд нужно крутить много месяцев, чтобы увидеть разрушение. Это очень медленные испытания, проще сразу установить датчик в реальное покрытие. Но проведение экспериментов на дороге организационно сложно и также требует длительного наблюдения за весами. Несомненно, необходимо проводить испытания в реальных условиях, но проведение предварительного расчета позволит отбросить неудовлетворительные конструкции дорожного покрытия и датчика.

Метод масштабирования. Поскольку напряжения невелики, разрушение дороги продолжительное, а также с учетом линейности задачи для расчета дорожных слоев в зоне датчика СВВД (WIM) предложен метод масштабирования, заключающийся в приложении расчетной нагрузки в 100 и 1 000 раз большей, чем реальная. Полученные результаты ускоренного испытания показывают, где в дорожном покрытии имеются перенапряжения, т. е. в каких местах через 8–10 лет можно ожидать серьезных разрушений.

Метод виртуального датчика. В ходе работы применяли метод виртуального датчика, суть которого заключается в том, что в дорожное покрытие «мысленно» встраивается датчик, геометрически совпадающий с реальным, но обладающий упругими характеристиками дороги. Выполняется расчет покрытия, затем в то же самое место «мысленно» встраивается реальный датчик, и расчет повторяется.

Сравнивая напряжения и деформации в сходных точках виртуального и реального датчиков, определяют, где и во сколько раз увеличиваются напряжения дорожного покрытия при установке реального датчика и, соответственно, где в будущем произойдут разрушения.

Метод склеивания слоев. В процессе моделирования дорожного покрытия возникла проблема расслоения (рис. 1).

Дорога фактически рассыпалась под воздействием нагрузки. Для решения данной проблемы был предложен метод так называемого склеивания. Между слоями дорожного покрытия, а также между датчиком и асфальтобетоном был введен тонкий склеивающий упругий материал (2–3 мм).

Данный расчетный метод соответствует физической реальности, так как при укладке слоев дорожного покрытия на границе слоев вы-

полняют тонкие битумные прослойки для их лучшего сцепления. Битум обладает практически такими же свойствами, что и тонкий слой упругого материала.

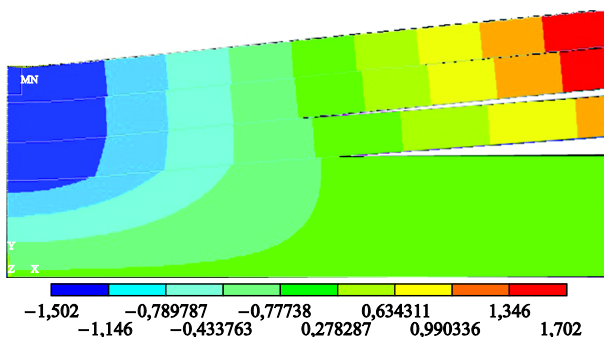


Рис. 1. Расслоение

После введения в модель тонких склеивающих слоев расслоение при нагружении исчезло.

Расчет дорожного покрытия. В связи с необходимостью контроля веса автомобиля (вследствие ускорившегося разрушения дорожного полотна), а также для того, чтобы датчик непосредственно не стал причиной разрушения, исследовали взаимодействие датчика с покрытием. При этом необходимо выполнить совместное проектирование покрытия и датчика.

Исследовали слоистое дорожное покрытие, состоящее из асфальтобетона, слабого асфальтобетона, песчано-гравийной смеси и песка, в которое помещали датчик. На эту конструкцию действует давление от колеса автомобиля. Характеристики материалов, согласно Отраслевым дорожным нормам, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельные значения модулей упругости слоев

Номер п/п	Слой	Модуль упругости, МПа	
		Минимальный	Максимальный
1	Плотный и высокоплотный асфальтобетон	350 (50 °С, жидкий битум, БГ-70/130)	4 400 (10 °С, вязкий битум, БНД и БН: 40/60, 90/130)
2	Пористый и высокопористый асфальтобетон	330 (50 °С, вязкий битум, БНД и БН-130/200)	2800 (10 °С, вязкий битум, БНД и БН-40/60, 90/130)
3	Плотный дегтебетон	350 (50 °С)	3 800 (10 °С)
4	Пористый дегтебетон	300 (50 °С)	2 000 (10 °С)

Номер п/п	Слой	Модуль упругости, МПа	
		Минимальный	Максимальный
5	Холодный асфальтобетон (10 °С): Бх Вх Гх Дх		
			1 300
			1 100
			900
		750	
6	Песчано-гравийная смесь	300	700
7	Песок	50	130
8	Датчик (сталь)	100 000	200 000

Из приведенных данных следует, что с изменением температуры характеристики материалов существенно изменяются, и эту зависимость необходимо учитывать при расчете.

Для автоматизации решения данной задачи на базе ANSYS создана программа, которая позволяет задать произвольную конфигурацию дорожного покрытия и любые виды датчиков, затем провести расчет в ANSYS, получить результаты, на основании которых сделать вывод о параметрах рассматриваемого варианта (рис. 2).

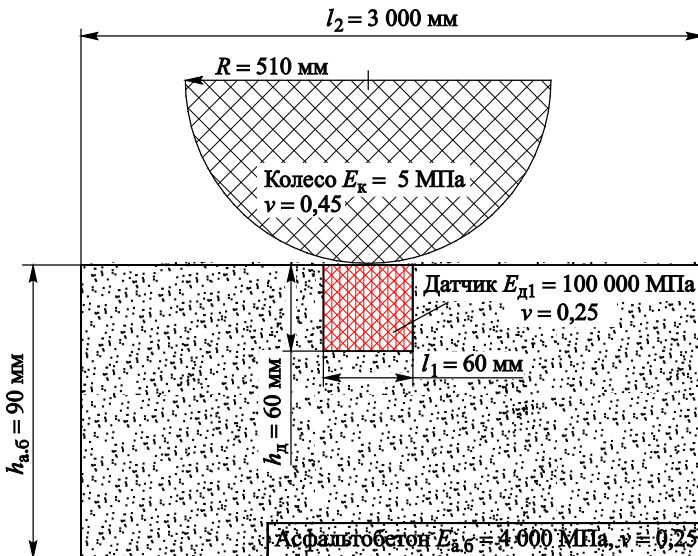


Рис. 2. Постановка задачи

Расчет проводили для трех конструкций датчиков веса ЗАО «ВИК «Тензо-М» (применяемых и перспективных), параметры которых приведены в табл. 2.

Параметры датчиков

Вид датчика	Ширина l_1 , мм	Высота h_d , мм
Узкая полоса	60	60
Широкая полоса	100	30
Изгибаемая плита	300	40

Программа позволяет вводить необходимые параметры колеса и дорожного покрытия. После нажатия на кнопку «Рассчитать» программа выдает максимальные и минимальные значения напряжения по Мизесу, а также значение чаши прогиба. Также будут построены картины распределения напряжений и перемещений (рис. 3).

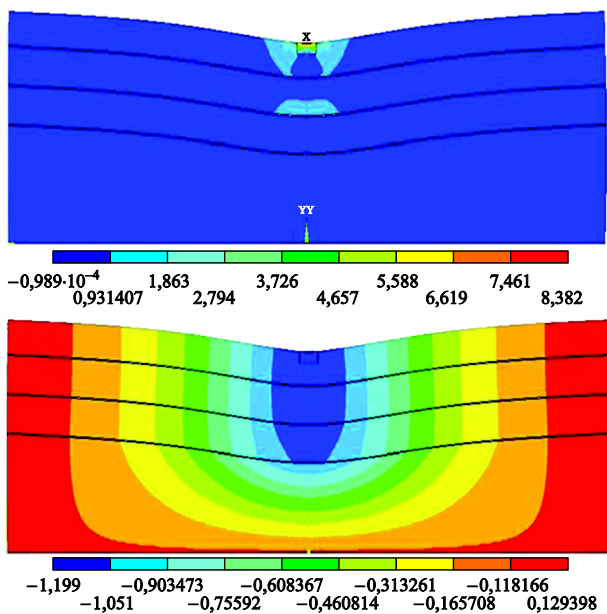


Рис. 3. Результаты расчетов при максимальном напряжении по Мизесу $\tau_{\max \text{ Mises}} = 8,38$ МПа; минимальном напряжении по Мизесу $\tau_{\min \text{ Mises}} = 0,0098$ МПа; максимальной чаше прогиба $h = 1,19$ мм

Данная программа позволяет получать произвольные результаты, по которым можно оценивать, при каких вариантах конфигураций дорожной одежды (покрытия) и датчика получается оптимальный вариант, т. е. возникают наименьшие напряжения в дорожной одежде, что позволит избежать ее разрушения.

Коэффициент разветвления силы. Помимо проблемы разрушения дорожного покрытия вследствие локальных перенапряжений,

существует проблема разветвления силы веса. Если пятно контакта больше, чем размер датчика, только часть силы проходит через датчик, т. е. измеряется, а оставшаяся часть проходит через окружающее датчик покрытие, т. е. не измеряется. Это служит источником систематической составляющей погрешности. Для решения данной проблемы необходимо учитывать коэффициент разветвления силы, показывающий, какая часть силы идет через датчик, а какая — в обход.

Данный коэффициент зависит от температуры. При более низких температурах асфальт тверже, чем при высоких, соответственно на датчик приходится большая нагрузка, из-за этого изменяется та часть нагрузки, на которой основано определение веса.

Согласно Приказу МВД от 20.01.2015 г. № 32, погрешность измерения осевой нагрузки не должна превышать 2 % при скорости автомобиля 40 км/ч и 10 % при 140 км/ч. Соответственно, чтобы спроектировать датчик, отвечающий требованиям МВД, необходимо провести расчеты.

В ходе расчетов были получены напряжения по Мизесу для всех датчиков и рассчитан коэффициент разветвления силы. Сводная таблица (табл. 3) напряжений в зоне датчика показывает, что из выбранных трех вариантов датчиков наибольшие напряжения в дорожном покрытии, чаша прогиба и коэффициент разветвления силы возникают при введении датчика размером 60×60, т. е. в виде узкой полосы.

Таблица 3

Сводная таблица напряжений

Вид датчика	Максимальная чаша прогиба, мм	Максимальное напряжение по Мизесу, МПа	Коэффициент разветвления силы
Датчик 60×60	1,21	2,86	0,7
Датчик 100×30	1,19	2,78	0,5
Датчик 300×40	1,12	2,77	0,01

По результатам исследования однозначно ответить на вопрос, какой датчик вносит меньшие напряжения, невозможно, так как полученные значения максимальных напряжений оказались одного порядка, примерно равны между собой.

Выводы.

1. Расчет НДС дорожного покрытия в зоне датчика веса необходим для увеличения срока службы дорожного покрытия.

2. При расчете в ANSYS датчика, установленного в дорожном покрытии, целесообразно применять методы виртуального датчика и склеивания слоев.

3. На частном случае дорожного покрытия не удалось установить, какой датчик вносит меньшие деформации в дорожное покрытие. Таким образом, необходимо исследовать большее число вариантов дорожных покрытий и датчиков веса для определения оптимального датчика, вызывающего наименьшие деформации дорожного покрытия.

4. Разветвление силы веса на датчике существенно зависит от температуры; чтобы получить погрешность 2 % (согласно приказу МВД), необходимо применять меры по уменьшению этой зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шейнин А.М., Эккель С.В. Обеспечение качества монолитного бетона для дорожного строительства. *Тр. II Всеросс. (междунар.) конф. по бетону и железобетону «Бетон и железобетон — пути развития»*. Москва, 5–9 сентября 2005 г. Москва, 2005, т. 5, с. 148–157.
- [2] Калёнова Е.В., Лугов С.В. Методика и результаты измерений износа асфальтобетонных покрытий на колесном стенде. [Электронный ресурс]. *Интернет-журнал Науковедение*, 2014, вып. 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/34TVN214.pdf>
- [3] Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., Борискин О.Ф. *Численный анализ элементов конструкций машин и приборов*. 2-е изд., испр. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 479 с.
- [4] Иванова Н.Н. *Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд*. Москва, Транспорт, 1973, 328 с.
- [5] Семёнов В.А. *Качество и однородность автомобильных дорог*. Москва, Транспорт, 1989, 125 с.
- [6] Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S. *Engineering Analysis with ANSYS Software*. Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2011, 453 p.
- [7] Moran G. *The Effects of Overloading on Road Assets*. Kempsey, Mid North Weight of Loads Group, 2005, 68 p.
- [8] Taylor B., Berthelot C., Loewen T. Mechanistic-Empirical Load Equivalencies Using Weigh in Motion. *Report on the 6th International Conference on Heavy Vehicle Weights and Dimensions Proceedings*. Saskatoon, 2000, pp. 135–144.
- [9] Лукьянова А.Н. *Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS*. Самара, Самар. Гос. техн. ун-т, 2010, 52 с.
- [10] Hjort M., Haraldsson M., Jansen J.M. Road Wear from Heavy Vehicles. *Report on NVF Committee Vehicles and Transports*. Borlänge, Vägverket, 2008, 47 p.
- [11] Szary P., Maher A. Implementation of Weight-in-Motion (WIM) System. *Report of Center for Advanced Infrastructure & Transportation. February 2009*. New Jersey, Federal Highway Administration, 2009, 125 p.
- [12] Гаврюшин С.С., Коровайцев А.В. *Методы расчета элементов конструкций на ЭВМ*. Москва, Изд-во ВЗПИ, 1991, 160 с.

Статья поступила в редакцию 14.11.2016

Ссылку на статью просим оформлять следующим образом:

Гаврюшин С.С., Годзиковский В.А., Смирнов М.В. Особенности проектирования дорожной одежды в зоне размещения датчика веса. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 1.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-01-1577>

Гаврюшин Сергей Сергеевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: gss@bmstu.ru

Годзиковский Василий Александрович — начальник НИИАО ЗАО «ВИК «Тензо-М». e-mail: weight@tenso-m.ru

Смирнов Максим Владимирович — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (1-й курс). e-mail: maxim-smirnof@yandex.ru

Special features of pavement design in the weight sensor placement area

© S.S. Gavryushin¹, V.A. Godzikovskiy², M.V. Smirnov¹

¹Bauman Moscow State Technical University, 105005 Moscow, Russia

²JSC Weight Measuring Company Tenso-M, Moscow Region,
Kraskovo, 140050, Russia

Mechanical interaction of automobiles and road surface has to be simulated in order to prevent structural deformation of the road and to increase the pavement strength in places where weigh sensors are deployed. We developed a special program that interacts with CAE system ANSYS. It automates engineering analysis of the road surface. We considered three types of sensors for a single pavement configuration and carried out an engineering analysis at different ambient temperatures. The results include stress distributions in the pavement as well as the areas of surge and the branching ration. The developed program is capable of simulating any pavement, sensor, wheel configuration.

Keywords: automation, pavement, strength, weight sensor, power branching ratio, ANSYS

REFERENCES

- [1] Sheynin A.M., Eckel S.V. Obespechenie kachestva monolitnogo betona dlya dorozhnogo stroitelstva [Quality assurance situ concrete for road construction]. *II Vserossiiskaya (mezhdunarodnaya) konferentsiya po betonu i zhelezobetonu. Beton i zhelezobeton — puti razvitiya: Moscow, 5–9 sentyabrya 2005 g.* [II Russian (international) concrete and reinforced concrete conference. Concrete and reinforced concrete — ways of development. 5–9 September 2005]. Vol. 5. Moscow, 2005, pp. 148–157.
- [2] Kalenova E.V., Lugov S.V. *Internet-zhurnal “Naukovedenie” — Scientific open access journal “Naukovedenie”*, 2014, no. 2. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/34TVN214.pdf>
- [3] Gavryushin S.S., Baryshnikova O.O., Boriskin O.F. *Chislennyi analiz elementov konstruktivnykh mashin i priborov* [Numerical analysis of structural elements of machines and devices]. 2nd edition, corrected. Moscow, BMSTU Publ., 2014, 479 p.
- [4] Ivanova N.N. *Konstruirovaniye i raschet nezhestkikh dorozhnykh odezhd* [The design of nonrigid roads]. Moscow, Transport Publ., 1973, 328 p.
- [5] Semenov V.A. *Kachestvo i odnorodnost avtomobilnykh dorog* [The quality and uniformity of roads]. Moscow, Transport Publ., 1989, 125 p.
- [6] Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S. *Engineering Analysis with ANSYS Software*. Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2011, 453 p.
- [7] Moran G. *The Effects of Overloading on Road Assets*. Kempsey, Mid North Weight of Loads Group, 2005, 68 p.
- [8] Taylor B., Berthelot C., Loewen T. Mechanistic-Empirical load equivalencies using weigh in motion. *Report on the 6th International Conference on Heavy Vehicle Weights and Dimensions Proceedings*. Saskatoon, 2000, pp. 135–144.
- [9] Lukyanov A.N. *Modelirovaniye kontaktnoy zadachi s pomoschyu programmy ANSYS* [Modeling contact problem using ANSYS software]. Teaching allowance. Samara, SSTU Publ., 2010, 52 p.

- [10] Hjort M., Haraldsson M., Jansen J.M. Road Wear from Heavy Vehicles. *Report on NVF Committee Vehicles and Transports*. Borlänge, Vägverket, 2008, 47 p.
- [11] Szary P., Maher A. Implementation of Weight-in-Motion (WIM) System. *Report of Center for Advanced Infrastructure & Transportation (February 2009)*. New Jersey, Federal Highway Administration, 2009, 125 p.
- [12] Gavryushin S.S., Korovaytsev A.V. *Metody rascheta elementov konstruksiy na EVM* [Methods of calculation of structural elements on a computer]. Moscow, VZPI Publ., 1991, 160 p.

Gavryushin S.S., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Computer Systems of Manufacture Automation, Bauman Moscow State Technical University.
e-mail: gss@bmstu.ru

Godzиковский V.A., Head of the Research and Information Department, JSC Weight Measuring Company Tenso-M. e-mail: weight@tenso-m.ru

Smirnov M.V., 1st-year post-graduate student, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: maxim-smirnof@yandex.ru