

**УДК 539.3**

**СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СХЕМ ПРИЛОЖЕНИЯ  
НАГРУЗКИ ПРИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ  
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ**

**COMPARISON OF SOME LOAD APPLICATION SCHEMES  
DURING ASPHALT CONCRETE LABORATORY TESTING**

**Богомолов В.А., д.т.н., проф. Жданюк В.К., д.т.н., проф., Цинка А.А., аспирант, Богомолов С.В., Ph.D. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)**

**Bogomolov V.O., Doctor of Engineering, professor, Zhdanyuk V.K., Doctor of Engineering, professor, Tsynka A.O., Ph.D. student, Bogomolov S.V., Ph.D. (Kharkiv National Automobile and Highway University)**

Предложена методика численной оценки степени соответствия расчетной области точек НДС асфальтобетонных образцов, при испытании в лабораторных условиях по той или иной схеме нагружения, расчетной области точек НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды в области пятна контакта с ним шины грузового автомобиля.

Methodology of numerical estimation of degree of conformity of computational region of points of strain-stress distribution of asphalt concrete samples, when testing under laboratory conditions at some load application scheme, computational region of points of strain-stress distribution of asphalt concrete pavement within contact patch of a truck has been proposed. Results of asphalt concrete testing at “shearing of beam sample in two cross-sections” can be used to plot limiting surface (by allowable stresses) when calculating flexible pavements.

Ключевые слова: асфальтобетон, дорожная одежда, схема нагружения, напряженно-деформированное состояние.

Keywords: asphalt concrete, pavement, load application scheme, strain-stress distribution.

При построении предельных поверхностей (критериев прочности) используются так называемые контрольные точки, через

которые должны проходить эти поверхности [1-3].

Очевидно, что чем больше будет таких точек, и чем точнее они будут отражать реальное напряженно-деформированное состояние (НДС) конкретной инженерной конструкции, тем объективнее, впоследствии, разработанный критерий прочности (предельная поверхность), будет отражать допустимое НДС материалов этой конструкции.

Под «точностью отражения реального НДС дорожной одежды», в данном случае, понимается насколько область точек НДС асфальтобетонных слоёв покрытий нежесткой дорожной одежды, в координатах главных напряжений [3-5]  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ - $\sigma_3$ , соответствует области точек НДС асфальтобетонных образцов при лабораторных испытаниях. Т.е. степень взаимопересечения (взаимопроникновения) этих областей является критерием пригодности той или иной схемы приложения нагрузки на асфальтобетонный образец в решаемой задаче (см. рис. 4, 6).

В подавляющем большинстве случаев при конструировании наиболее распространённых типов предельных поверхностей используются три контрольные точки [1-4]:

- чистое растяжение

$$\sigma_1=[\sigma_+]; \sigma_2=0; \sigma_3=0; \quad (1)$$

- чистое сжатие

$$\sigma_1=0; \sigma_2=0; \sigma_3=-[\sigma_-]; \quad (2)$$

- чистый сдвиг (кручение образца)

$$\sigma_1=[\tau]; \sigma_2=0; \sigma_3=-[\tau]; \quad (3)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  – главные напряжения [4, 5];  
[ $\sigma_+$ ]; [ $\sigma_-$ ]; [ $\tau$ ] – допускаемые напряжения на чистое растяжение, сжатие и сдвиг, соответственно.

Такой подход имеет свои недостатки.

Из (1-3) видно, что в координатах главных напряжений  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ - $\sigma_3$  все три точки имеют координату  $\sigma_2=0$ . Как отмечается в работе [4] это может приводить к заметным погрешностям при оценке предельного НДС материала.

В работе [10] применительно к дорожным одеждам, сформулированы основные требования к конструированию предельных поверхностей:

1) предельная поверхность должна проходить через заранее известные контрольные точки, см. например [3];

2) граничная поверхность должна максимально отвечать современным представлениям о механике деформированного твёрдого тела, а именно кинетической концепции деформирования и разрушения, а также термофлуктуационной концепции разрушения [11];

3) граничная поверхность должна быть максимально приближена к реальному НДС дорожной одежды и особенностям её прочностных свойств [12].

Остановимся более подробно на третьем требовании, поскольку именно оно определяет применимость схемы нагружения образца при испытаниях на долговечность.

Целью настоящей работы является обоснование схемы нагружения асфальтобетонных образцов при лабораторных испытаниях, наиболее приемлемой как для построения предельных поверхностей, так и для испытания их на долговечность.

#### *Чистое сжатие*

Для испытаний на чистое сжатие наиболее приемлема схема приложения нагрузки на образец согласно [13] (показана на рис. 1).

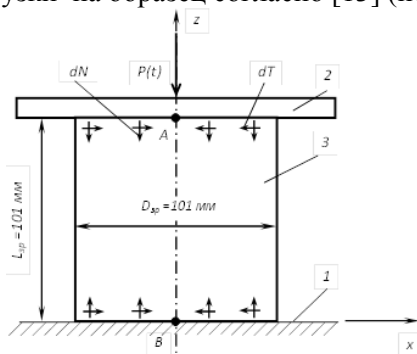


Рис. 1. Схема нагружения образца асфальтобетона при сжатии:  
1, 2 – неподвижная и подвижная жесткие (металлические) опоры;  
3 – образец асфальтобетона;

$dN$ ,  $dT$  – элементарные силы нормального давления и трения

Параллельно отметим, что для получения НДС, наиболее приближенного к чистому сжатию в соответствии с рекомендациями [14], при таких испытаниях необходимо применять мероприятия по снижению сил трения  $dT$  (см. рис. 1), например,

смазывать поверхности контакта между асфальтобетонным образцом 3 и стальными опорами 1, 2.

Проведенные расчёты показывают, что при движении груженого трёх-, четырёхосного автомобиля только 10-12 % объёма (в области пятна контакта между шиной и асфальтобетонным покрытием нежесткой дорожной одежды) испытывает НДС, близкое к чистому сжатию.

### *Чистое растяжение*

Согласно [15,16] наиболее приемлемыми схемами приложения нагрузки к асфальтобетонным образцам при испытаниях на чистое растяжение являются варианты, представленные на рис. 2.

Как показывают расчёты, проведенные в ХНАДУ, НДС, близкое к чистому растяжению, испытывает только 5-6 % рабочего объёма в области пятна контакта шины с поверхностью асфальтобетонного покрытия дорожной одеждой.

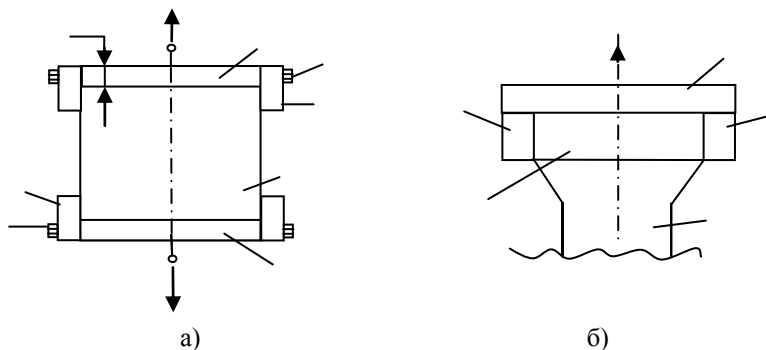


Рис. 2. Схемы нагружения образцов из асфальтобетона при испытании растяжении: а) схема одноосного растяжения цилиндрического образца; б) усиленная конструкция образца-гантели; 1, 2 - стальные пластины, приклеенные к образцу; 3 – цилиндрический образец асфальтобетона; 4 - усиливающие пластины, приклеенные к образцу 3; 5 - болты крепления деталей 4 к деталям 1, 2; 6 - образец-гантели; 7 - 9 - стальные накладки, приклеенные к образцу 6 и склеенные между собой;  $P$  - растягивающее усилие;  $S$  - толщина пластин 1, 2.

### Чистый сдвиг (кручение)

Наиболее близкая к чистому сдвигу схема нагружения асфальтобетонного образца круглого сечения [6, 17, 18], но без осевой нагрузки, а только со скручивающим моментом (приведена на рис. 3).

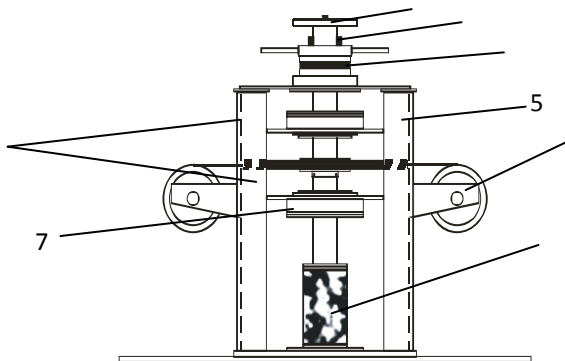


Рис. 3. Схема прибора для испытаний асфальтобетонных образцов на кручение: 1 - пригрузочная плита; 2 - втулка; 3 - подшипник качения; 4 - радиальные подшипники; 5 - рама прибора; 6 - образец; 7 - вал; 8 - кронштейн с роликом

Расчёты показывают, что НДС, близкое к чистому сдвигу испытывает <1 % рабочего объёма в области пятна контакта шины с поверхностью асфальтобетонного покрытия дорожной одежды.

Выполненные расчёты показывают, что три типа НДС (рис. 1-3) даже в сумме составляют незначительную часть рабочего объёма в области пятна контакта шины с поверхностью асфальтобетонного покрытия дорожной одежды.

В связи с изложенным выше возникает необходимость установления схемы нагружения асфальтобетонных образцов при лабораторных испытаниях, которая наиболее близко отражает НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды при движении гружёного грузового автомобиля.

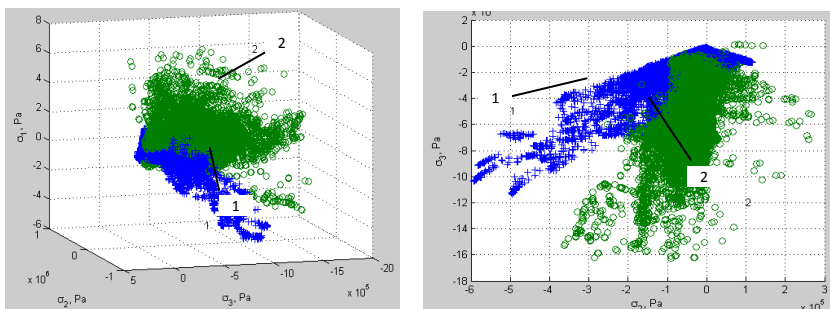
Для этого дополнительно рассмотрим наиболее известные схемы приложения нагрузки при испытании асфальтобетонных образцов в лабораторных условиях. Предпочтительность той или иной схемы нагружения асфальтобетонных образцов будем оценивать по степени взаимопроникновения областей группирования точек НДС в координатах  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ - $\sigma_3$  для

асфальтобетонного слоя покрытия нежесткой дорожной одежды в области пятна контакта с ним шины четырёхосного грузового автомобиля и для асфальтобетонного образца, испытываемого в лабораторных условиях.

### *Кручение с осевым сжатием*

Методика проведения испытаний по схеме кручения с осевым сжатием приведена в работах [6, 17, 18]. Схема прибора для таких испытаний представлена на рис. 3.

Результаты расчётов представлены на рис. 4.



а)

б)

Рисунок 4 – Результаты расчёта НДС при схеме испытания «Кручение цилиндрического асфальтобетонного образца + осевое сжатие»:

а) в координатах  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ - $\sigma_3$ ; б) со стороны оси  $\sigma_1$ ;

1 - область точек НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды; 2 – область точек НДС асфальтобетонного образца, испытанного в лаборатории по схеме «Кручение с осевым сжатием»

Из рис. 4 видно, что область 2 точек НДС асфальтобетонного образца, испытанного в лаборатории, лишь на (30 - 40) % соответствует области 1.

### *Изгиб образца-балки*

Согласно [7-9], при определении предела прочности на растяжение асфальтобетонов применяется схема испытания на «изгиб образца - балки». Схема приложения нагрузки при испытаниях на растяжение при изгибе представлена на рис. 5.

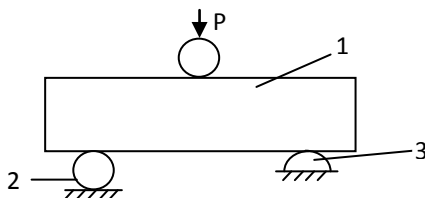


Рис. 5. Схема испытаний образца-балки на растяжение при изгибе:  
1 - образец - балка; 2, 3 - подвижная и неподвижная опоры

Результаты расчётов приведены на рис. 6

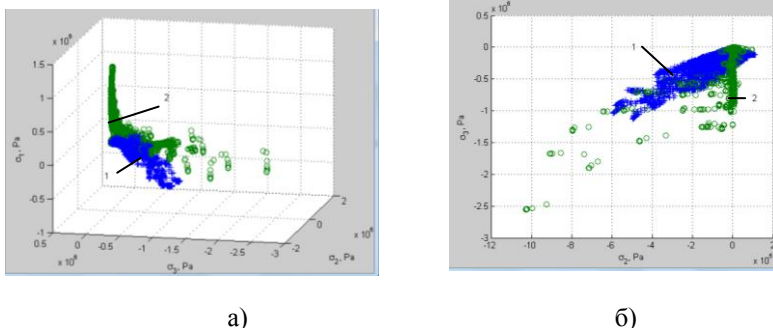


Рис. 6. Результаты расчётов по схеме испытания асфальтобетонного образца-балки на растяжение при изгибе: а) в координатах  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ - $\sigma_3$ ; б) со стороны оси  $\sigma_1$ ;

- 1 - точки НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды;
- 2 – точки НДС асфальтобетонного образца-балки, испытанного по схеме рис. 5

Результаты расчётов, приведенные на рис. 6 свидетельствуют о том, что НДС асфальтобетонного образца-балки при нагружении по схеме на рис. 5 только на 10 % соответствует области точек НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды в области пятна контакта с ним шины четырёхосного грузового автомобиля.

#### *Другие схемы испытаний*

Также были выполнены расчеты НДС асфальтобетонных образцов, при приложении нагрузки по следующим схемам: раскол цилиндрического образца [13]; сжатие по схеме Маршалла [13]; сжатие со сдвигом [15]; продавливание [19]; сдвиг образца-балки по двум сечениям [15].

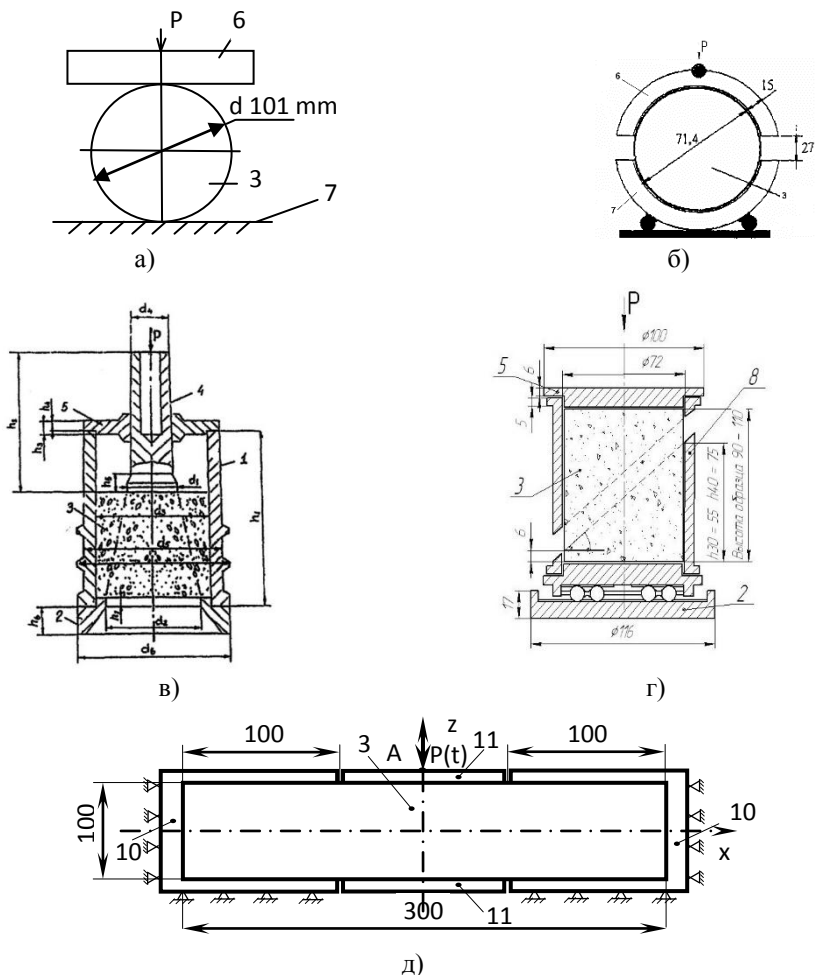


Рис. 7. Схемы нагружения асфальтобетонных образцов:  
 а) раскол цилиндрического образца; б) сжатие по схеме Маршалла; в) продавливание; г) сжатие со сдвигом; д) сдвиг прямоугольного образца в двух сечениях; 1 - корпус приспособления на рис. 7в; 2 - основа; 3 - асфальтобетонный образец; 4 - пуансон; 5 - крышка; 6,7 - подвижная и неподвижная обоймы; 8 - обойма; 10 - неподвижные обоймы; 11 - подвижная обойма



Результаты расчётов НДС приведены в таблице 1.

Таблица 1

Степень соответствия области точек НДС асфальтобетонных образцов, испытанных в лаборатории, области НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды в области пятна контакта с ним шины четырёхосного грузового автомобиля

Тип нагружения	Схема нагружения асфальтобетонных образцов	Степень соответствие области точек НДС асфальтобетонных образцов области точек НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды, %
Кручение с осевым сжатием	рис. 3	30-40
Изгиб прямоугольной балки	рис. 5	~ 10
Раскол цилиндрического образца	рис. 7а	< 10
Сжатие по схеме Маршалла	рис. 7б	< 10
Сжатие со сдвигом	рис. 7в	< 10
Продавливание	рис. 7г	70-80
Сдвиг образца-балки по двум сечениям	рис. 7д	> 80

### Выводы.

Предложена методика численной оценки степени соответствия расчетной области точек НДС асфальтобетонных образцов, при испытании в лабораторных условиях по той или иной схеме нагружения, расчетной области точек НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды в области пятна контакта с ним шины грузового автомобиля. Область точек НДС асфальтобетонов, испытанных в лабораторных условиях по схеме «сдвиг образца-балки по двум сечениям», в наибольшей степени приближается к

расчетной области точек НДС асфальтобетонного покрытия дорожной одежды в области пятна контакта с ним шины грузового автомобиля. Результаты испытаний асфальтобетонов по схеме «сдвиг образца-балки по двум сечениям» могут использоваться для построения предельной, по допускаемым напряжениям, поверхности, при расчетах нежестких дорожных одежд.

1. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – К.: Изд-во «Наукова думка», 1975. – 704 с.

2. Лебедев А.А. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряжённом состоянии: Справочник / [Лебедев А.А., Ковальчук Б.И., Гишняк Ф.Ф., Ламашевский В.П.].– К.: Наукова думка, 1983. – 366 с.

3. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / [Писаренко Г.С., Агарёв В.А., Квитка А.Л. и др.]; под ред. Г.С. Писаренко – [4-е изд.]. – К.: Головн. из-во издат-го объед. «Вища школа», 1979. – 696 с.

4. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Безухов Н.И. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1968. – 512 с.

5. Тимошенко С.П. Курс теории упругости / Тимошенко С.П.; [под ред. Э.И. Григolloка]. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1972. – 506 с.

6. Золотарёв В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В.А. Золотарёв. – М.: изд. Высшая школа, 1972. -114 с.

7. Бахрах Г.С. Проектирование нежестких дорожных одежд по критерию усталостного растрескивания / Г.С. Бахрах // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. - №2. – с 25-27.

8. Матуа В.П. Новое лабораторное оборудование и методика проведения испытаний дорожно-строительных материалов / В.П. Матуа, С.А. Мирончук // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. - №4. – С.16-18.

9. Споруди транспорту: Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В 2.3-218-186-2004.–Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2004.-176 с.

10. Розробити трьохмірну реологічну (фізичну та математичну) моделі роботи монолітних матеріалів в конструкціях дорожніх одягів нежорсткого типу: Заключний звіт про науково-дослідну роботу за темою № 27/35-41-11 / ХНАДУ/; Керівник теми В.К. Жданюк; № держреєстрації 0111U003850. Харків; 2014.-261 с.

11. Потапова Л.Б. Механика материалов при сложном напряжённом состоянии. Как прогнозируют предельные напряжения / Л.Б. Потапова, В.П. Ярцев. – М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2005.-244 с.

12. Богомолов В.О. Щодо необхідності розробки нової методики розрахунку напружено-деформованого стану дорожнього одягу/ В.О.

Богомолов, В.К. Жданюк, С.В. Богомолов // Автошляховик України. – 2011.-№1 (219).- с.23-26.

13. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань: ДСТУ БВ. 2.7-89-99.- [Чинний від 2000-01-01].-К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000.- 45 с.- (Державний стандарт України).

14. Конструирование и расчёт нежестких дорожных одежд / под ред. Н.Н. Иванова.- М., «Транспорт», 1973.-328 с.

15. Провести дослідження асфальтобетонів різних типів і видів та розробити методика визначення показників границі міцності при розтягу та зсуві: Заключний звіт про науково-дослідну роботу за темою № 3/35-04-13/ХНАДУ/: Керівник теми В.К. Жданюк; № держреєстрації 0113U004111.-Харків, 2014.-190 с.

16. Методика визначення показників границі міцності асфальтобетонів при розтягу та зсуві М 02071168-731:2014 / Державне агентство автомобільних доріг України.- Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2014.-16 с.

17. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість: М 218-02071168-681: 2011.- Харків: 2011.-61 с.

18. Золотарёв В.А. Исследование свойств асфальтобетоннов различной макроструктуры дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Золотарёв Виктор Александрович. – Харьков (ХАДИ), 1967. – 250 с.

19. Методические рекомендации по оценке сдвигоустойчивости асфальтобетона / Мин. тран-та рос. фед-ции.- М.: Гос. сл-ба дор. хоз-ва, 2002.-11 с.