

**EXPERIMENTAL EVALUATION
OF HOT MIX ASPHALT FATIGUE DURABILITY****B. B. Teltayev**Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: bagdatbt@yahoo.com**Key words:** hot mix asphalt, fatigue, durability, four point bending equipment.

Abstract. In the paper the results of experimental evaluation of the conventional fine graded hot mix asphalt fatigue durability are presented. The hot mix asphalt was prepared with using of road viscous bitumen of grade BND-100/130. Testing of hot mix asphalt specimens has been carried out in laboratory conditions on the four point bending equipment at temperatures of 0, 10, 20, 30 °C and at frequency of 10 Hz in the mode of controlled strain. Dependence of the hot mix asphalt initial modulus from temperature has been stated. Graphs of dependence of the hot mix asphalt fatigue durability from controlled strain value and above indicated temperatures have been plotted. By mean of statistical processing of obtained results a mathematical equation for describing of the hot mix asphalt fatigue durability from strain and temperature has been obtained.

УДК 691.16:539.431

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА
УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА****Б. Б. Телтаев**

Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: асфальтобетон, усталость, долговечность, прибор четырехточечного изгиба.

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментального определения усталостной долговечности традиционно используемого в дорожном строительстве горячего мелкозернистого асфальтобетона, приготовленного с использованием дорожного вязкого битума марки БНД-100/130. Испытание образцов асфальтобетона выполнялось в лабораторных условиях с помощью прибора четырехточечного изгиба при температурах 0, 10, 20 и 30 °C и при частоте нагружения 10 Гц в режиме контролируемой деформации. По результатам испытания установлена зависимость начального комплексного модуля от температуры и построены графики зависимости усталостной долговечности асфальтобетона от величины контролируемой деформации при указанных выше температурах. Путем статистической обработки полученных данных установлено единое математическое выражение для описания зависимости усталостной долговечности асфальтобетона от деформации и температуры.

Асфальтобетон является наиболее распространенным материалом, из которого устраиваются верхние наиболее прочные слои конструкций дорожных одежд современных автомобильных дорог. Одним из видов разрушения дорожных асфальтобетонов – это усталостное растрескивание, появляющееся из-за многократного проезда автомобилей. Поэтому в действующем нормативном документе [1] предусмотрен расчет конструкций дорожных одежд по критерию усталостного разрушения монолитных (асфальтобетонных) материалов.

В настоящей работе выполнена экспериментальная оценка усталостной долговечности горячего мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б. Этот вид асфальтобетона в Казахстане традиционно используется для устройства покрытия автомобильных дорог высших технических

категорий [1, 2]. Приготовление асфальтобетонной смеси, изготовление образцов и их испытание выполнено в лаборатории Казахстанского дорожного научно-исследовательского института.

Асфальтобетон, удовлетворяющий требованиям стандарта СТ РК 1225 [3] был приготовлен с использованием щебня фракций 5-10 мм (20 %), 10-15 мм (13 %) и 15-20 мм (10 %) из Ново-Алексеевского карьера (Алматинская область), отсев дробления фракции 0-5 мм (50 %) из завода «Асфальтобетон-1» (г. Алматы) и активированного минерального порошка (7 %) из Кордайского карьера (Жамбылская область).

В качестве вяжущего был использован битум марки БНД-100/130, удовлетворяющий требованиям стандарта СТ РК 1373 [4]. Битум был произведен Павлодарским нефтехимическим заводом из сырой нефти Западной Сибири (Россия) способом прямого окисления.

Основные стандартные показатели битума, щебня и асфальтобетона представлены в таблицах 1–3. Кривая гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона показана на рисунке 1.

Таблица 1 – Основные стандартные показатели битума

| Показатель | Единица измерения | Требования СТ РК 1373-2013 | Значение |
|------------------------------------|--------------------|----------------------------|------------|
| Пенетрация, 25 °С, 100 гр, 5 с | 0,1 мм | 100-130 | 98 |
| Индекс пенетрации PI | – | -1,0... +1,0 | -0,96 |
| Растяжимость: - 25 °С - 0 °С | см | ≥ 65 ≥ 4,0 | 139 5,5 |
| Температура размягчения | °С | ≥ 43 | 45,3 |
| Температура хрупкости | °С | ≤ -20 | -24,6 |
| Динамическая вязкость, 60 °С | Па·с | ≥ 75 | 174,2 |
| Кинематическая вязкость | мм ² /с | ≥ 180 | 409,0 |

Таблица 2 – Основные стандартные показатели щебня

| Показатель | Единица измерения | Требование СТ РК 1284-2004 | Значение | |
|---|-------------------|----------------------------|-----------------|------------------|
| | | | фракция 5-10 мм | фракция 10-20 мм |
| Средняя плотность | г/см ³ | – | 2,55 | 2,62 |
| Содержание игловатых и лещадных зерен | % | ≤ 25 | 13 | 9 |
| Содержание пылеватых и глинистых частиц | % | ≤ 1,0 | 0,3 | 0,2 |
| Сцепление с битумом | – | – | Удовл. | Удовл. |
| Водонасыщение | % | – | 1,93 | 0,90 |

Таблица 3 – Основные стандартные показатели асфальтобетона

| Показатель | Единица измерения | Требования СТ РК 1225-2013 | Значение |
|---|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Средняя плотность | г/см ³ | – | 2,39 |
| Водонасыщение | % | 1,5-4,0 | 2,3 |
| Пористость минеральной части | % | ≤ 19 | 14 |
| Пористость асфальтобетона | % | 2,5-5,0 | 3,8 |
| Прочность при сжатии: - 0 °С - 20 °С - 50 °С | МПа | ≤ 13,0 ≥ 2,5 ≥ 1,3 | 7,3 3,4 7,3 |
| Водостойкость | – | ≥ 0,85 | 0,92 |
| Сдвигустойчивость | МПа | ≥ 0,38 | 0,40 |
| Трещиностойкость | МПа | 4,0-6,5 | 4,1 |

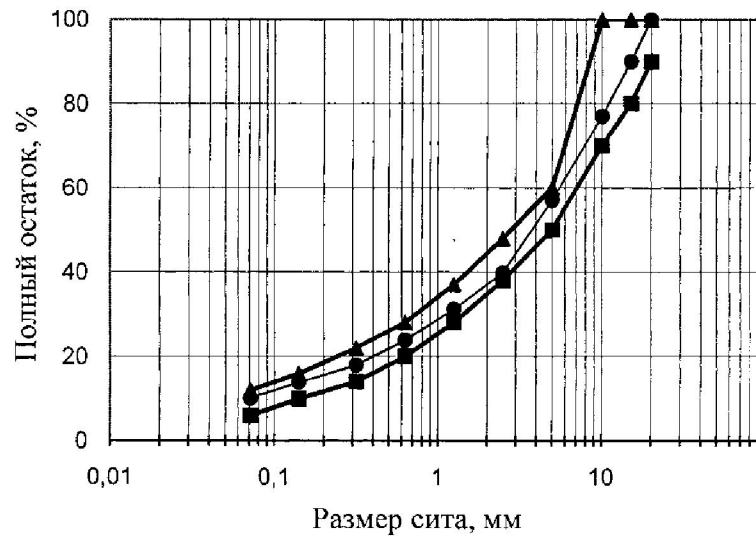


Рисунок 1 – Кривая гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона

Испытание образцов асфальтобетона осуществлялся по стандарту Европы EN 12697-24 [5] на приборе компании Соорег (Великобритания) по схеме четырехточечного изгиба (4PB beam test) модели CRT-SA4 PT-BB (рисунок 2) в режиме контролируемой деформации. Образцы асфальтобетона в виде прямоугольной балки длиной 380 мм, шириной 50 мм и высотой 50 мм были изготовлены следующим образом. Сначала с помощью роллерного компактора компании Соорег модели CRT-RC2S по стандарту EN 12697-33 [6] были приготовлены образцы асфальтобетона в виде прямоугольной плиты. Затем из асфальтобетонных плит были вырезаны образцы в виде балки. Отклонения в размерах балок не превышали 2 мм.

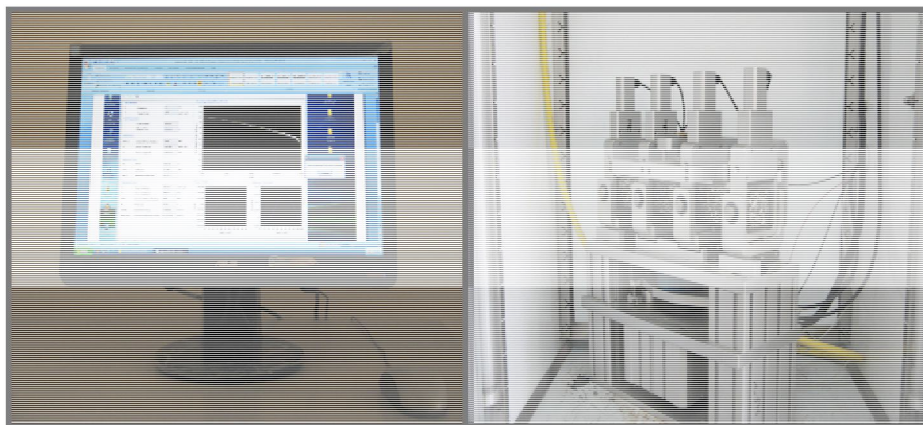


Рисунок 2 – Прибор четырехточечного изгиба в климатической камере

При испытании частота нагружения была принята равной 10 Гц. Температура равнялась 0, 10, 20 и 30 °С. Величина контролируемой деформации в зависимости от температуры находилась в пределах от 0,000200 до 0,000700. Все образцы испытывались до уменьшения жесткости (комплексного модуля) до 50 % (E_{f50}^*) от первоначальной величины E_{50}^* (комплексный модуль при 50-м цикле нагружения).

Максимальные значения напряжения (σ_{\max} , Па) и деформации (ε_{\max} , м/м) в асфальтобетонном образце в любом цикле нагружения определяются по формулам:

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot a \cdot P}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{12 \cdot h \cdot \ell}{3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2}, \quad (2)$$

где P – сила, Н; b , h – ширина и высота образца соответственно, м; L – расстояние между внешними опорами, м; a – расстояние между внутренними опорами, м; ℓ – максимальный прогиб в центре образца, м.

Жесткость (комплексный модуль E^* , Па) в любом цикле вычисляется по формуле:

$$E^* = \frac{\sigma_{\max}}{\varepsilon_{\max}}. \quad (3)$$

Всего было испытано 39 образцов асфальтобетона. При каждом значении температуры и контролируемой (постоянной) деформации число параллельных испытаний составляло от 2 до 4. Усредненные результаты испытания представлены в таблице 4. Из таблицы видно, что величина комплексного модуля сильно изменяется в зависимости от температуры, но имеет хорошую однородность при отдельных значениях температуры. Температурная зависимость начального комплексного модуля показана на рисунке 3. Она с высокой достоверностью ($R^2 = 0,945$) описывается экспоненциальной зависимостью:

$$E_{50}^* = 11054,208 \cdot e^{-0,091 \cdot T}, \quad (4)$$

где E_{50}^* – начальный комплексный модуль асфальтобетона, МПа; T – температура, °С.

Усталостная долговечность (число циклов нагружения до разрушения) асфальтобетона сильно зависит как от температуры, так и от величины контролируемой деформации. Усталостная долговечность растет с уменьшением деформации и повышением температуры.

Таблица 4 – Результаты испытания асфальтобетонных образцов на приборе четырехточечного изгиба

| Постоянная деформация ε | Количество образцов | Начальный комплексный модуль E_{50}^* , МПа | Конечный комплексный модуль E_{f50}^* , МПа | Число циклов нагружения до разрушения N_f |
|-------------------------------------|---------------------|---|---|---|
| Температура $T = 0$ °С | | | | |
| 0,000200 | 2 | 10 649,66 | 5 145,47 | 242 700 |
| 0,000300 | 2 | 9 141,29 | 4 428,10 | 17 430 |
| 0,000400 | 2 | 10 189,78 | 4 913,74 | 3 122 |
| Температура $T = 10$ °С | | | | |
| 0,000200 | 3 | 5 954,92 | 2 950,26 | 523 332 |
| 0,000250 | 3 | 6 239,26 | 3 000,51 | 193 080 |
| 0,000300 | 3 | 5 911,92 | 2 871,36 | 39 833 |
| 0,000350 | 3 | 6 541,83 | 3 168,44 | 26 333 |
| 0,000400 | 4 | 6 097,06 | 2 897,28 | 18 296 |
| Температура $T = 20$ °С | | | | |
| 0,000300 | 2 | 1 148,25 | 543,20 | 683 189 |
| 0,000400 | 2 | 1 417,22 | 648,64 | 105 464 |
| 0,000500 | 2 | 1 399,27 | 633,09 | 129 862 |
| 0,000600 | 2 | 1 088,05 | 498,23 | 42 580 |
| 0,000700 | 2 | 1 380,33 | 607,98 | 20 640 |
| Температура $T = 30$ °С | | | | |
| 0,000500 | 2 | 771,53 | 354,25 | 70 370 |
| 0,000600 | 3 | 881,65 | 393,91 | 29 492 |
| 0,000700 | 2 | 807,10 | 366,88 | 27 110 |

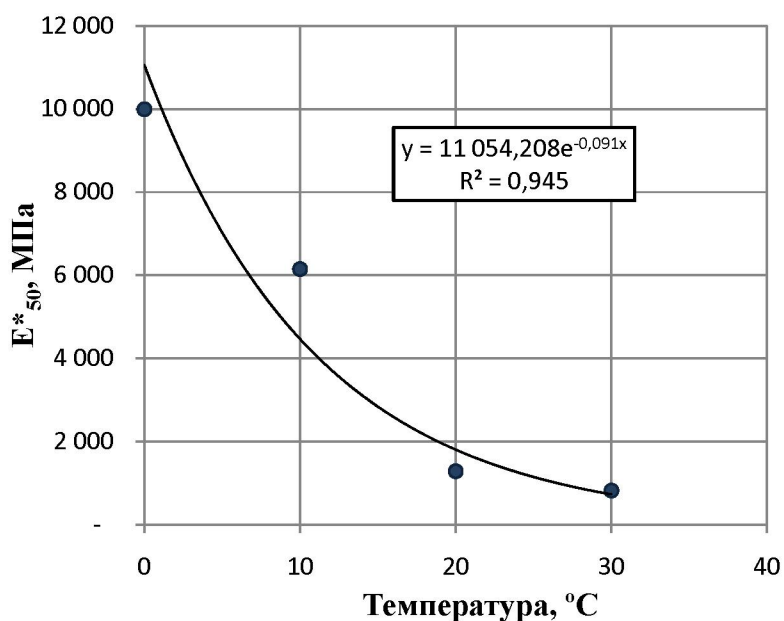


Рисунок 3 – Зависимость начального комплексного модуля от температуры

В процессе обработки результатов испытания было найдено, что данные об усталостной долговечности рассматриваемого вида асфальтобетона при температурах 20 и 30 °C можно объединить. С учетом этого на рисунке 4 представлена зависимость усталостной долговечности асфальтобетона от контролируемой деформации при разных температурах. Как видно, в логарифмических координатах зависимость усталостной долговечности от деформации при всех рассмотренных значениях температуры описывается уравнением прямой линии с высокими значениями достоверности. Это значит, что указанная зависимость представляет собой степенную функцию следующего вида:

$$N_f = k_1 \cdot \varepsilon^{k_2} \tag{5}$$

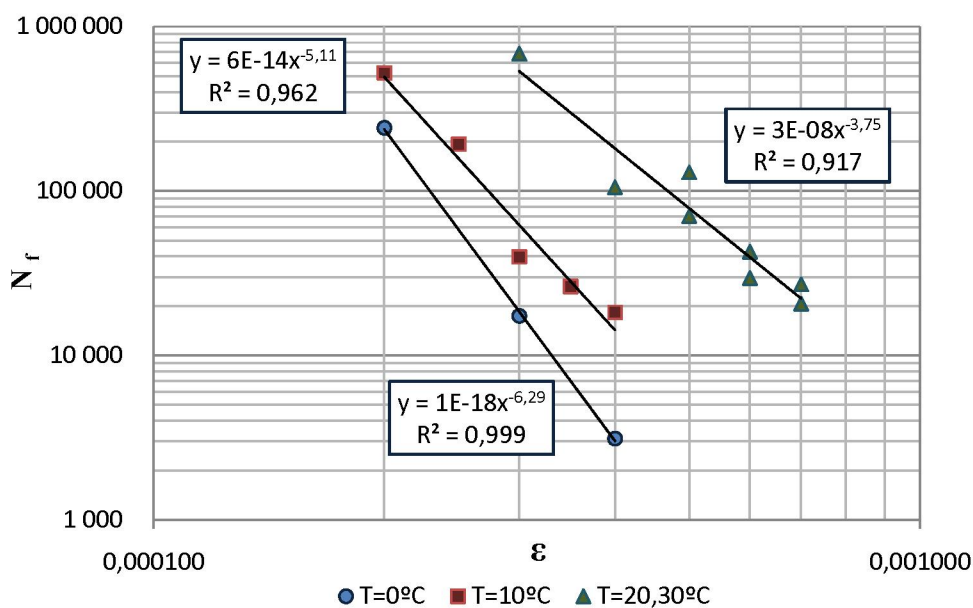


Рисунок 4 – Зависимость усталостной долговечности асфальтобетона от деформации при разных температурах

Следует отметить, что коэффициент k_2 показывает на какой порядок уменьшается усталостная долговечность (число циклов нагружения до разрушения) при увеличении деформации на один порядок. Значения коэффициентов k_1 , k_2 и показателя достоверности (R^2) зависимости (5) при разных температурах даны в таблице 5. Как видно, оба коэффициента изменяются в зависимости от температуры. Так как значение коэффициента k_2 уменьшается с повышением температуры, можно утверждать, что чувствительность асфальтобетона к изменению деформации уменьшается по мере повышения температуры. Графики этих зависимостей представлены на рисунках 5 и 6.

Таблица 5 – Значения коэффициентов k_1 , k_2 и показателя достоверности R^2

| Температура, °C | Коэффициенты | | Показатель достоверности R^2 |
|-----------------|--------------------|-------|--------------------------------|
| | k_1 | k_2 | |
| 0 | $1 \cdot 10^{-18}$ | -6,29 | 0,999 |
| 10 | $6 \cdot 10^{-14}$ | -5,11 | 0,962 |
| 20, 30 | $3 \cdot 10^{-8}$ | -3,75 | 0,917 |

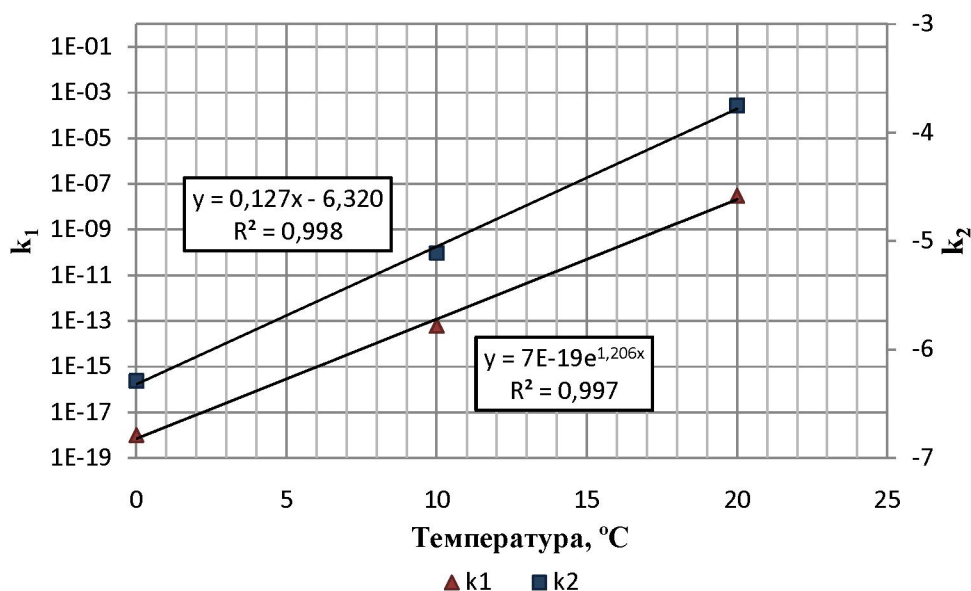


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов k_1 и k_2 уравнения (5) от температуры

Оказалось, что температурная зависимость коэффициента k_1 удовлетворительно аппроксимируется экспоненциальной функцией:

$$k_1 = 7 \cdot 10^{-19} \cdot e^{1,2063 \cdot T}, \tag{6}$$

а коэффициента k_2 – линейной функцией:

$$k_2 = 0,127 \cdot T - 6,3201. \tag{7}$$

Подставляя выражения (6) и (7) в уравнение (5), получим единое выражение для описания зависимости усталостной долговечности асфальтобетона от деформации и температуры в следующем виде:

$$N_f = 7 \cdot 10^{-19} \cdot e^{1,2063 \cdot T} \cdot \varepsilon^{(0,127 \cdot T - 6,3201)}. \tag{8}$$

Рекомендуется выражением (8) пользоваться для определения усталостной долговечности (число циклов нагружения до разрушения) рассмотренного вида асфальтобетона при частоте контролируемого деформирования 10 Гц и температуре от 0 до 30 °C.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. – Астана, 2007. – 87 с.
[2] СНиП РК 3.03-09-2006*. Автомобильные дороги. – Астана, 2007. – 51 с.
[3] СТ РК 1225-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Астана, 2013. – 27 с.
[4] СТ РК 1373-2013. Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вяжущие. Технические условия. – Астана, 2013. – 16 с.
[5] EN 12697-24. Bituminous Mixtures. Test Methods for Hot Mix Asphalt. – Part 24: Resistance to Fatigue. European Committee for Standardization. – Brussels, Belgium. – 2004. – 64 p.
[6] EN 12697-33. Bituminous Mixtures. Test Methods for Hot Mix Asphalt. – Part 33: Specimen prepared by roller compactor. – European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. – 2003. – 22 p.

REFERENCES

- [1] CN RK 3.03-19-2006. Design of flexible pavements. Astana, 2007. 87 p. (in Russ.).
[2] CNIP RK 3.03-09-2006*. Roads. Norms of design. Astana, 2007. 51 p. (in Russ.).
[3] СТ РК 1225-2013. Hot mix asphalt for roads and airfields. Technical specifications. Astana, 2013. 27 p. (in Russ.).
[4] СТ РК 1373-2013. Bitumens and bitumen binders. Oil road viscous bitumens. Technical specifications. Astana, 2013. 16 p. (in Russ.).
[5] EN 12697-24. Bituminous Mixtures. Test Methods for Hot Mix Asphalt. Part 24: Resistance to Fatigue. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2004. 64 p. (in Eng.).
[6] EN 12697-33. Bituminous Mixtures. Test Methods for Hot Mix Asphalt. Part 33: Specimen prepared by roller compactor. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2003. 22 p. (in Eng.).

**АСФАЛЬТОБЕТОННЫҢ ШАРШАУ ҰЗАҚМЕРЗІМДІЛІГІН
ТӘЖРИБЕЛІК АНЫҚТАУ****Б. Б. Телтаев**

Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: асфальтбетон, шаршау, ұзақмерзімділік, төрт нүктелі иілу аспабы.

Аннотация. Мақалада жол құрылысында үнемі қолданылатын ыстық майда түйіршікті асфальтбетонның шаршау ұзақмерзімділігін тәжірибелік анықтау нәтижелері келтірілген. Асфальтбетон МЖБ-100/130 маркалы тұтқыр жол битумын пайдаланып дайындалды. Асфальтбетон үлгілерін сынау зертхана жағдайында төрт нүктелі иілу аспабының көмегімен 0, 10, 20 және 30 °С температураларда, 10 Гц жүктеу жиілігімен бақыланатын деформация жағдайында орындалды. Сынақ нәтижелері бойынша асфальтбетонның бастапқы комплекстік модулінің температурамен байланысы және оның шаршау ұзақмерзімділігінің бақыланатын деформация мәнімен жоғарыда аталған температуралардағы байланысының графиктері сызылды. Алынған дефектерді статистикалық өңдеу жолымен асфальтбетонның ұзақмерзімділігінің деформациямен және температурамен байланысының ортақ математикалық өрнегі анықталды.

Поступила 20.03.2015 г.