

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 303 (2015), 35 – 57

UDC 691.16:539.431

**REGULARITIES OF INCREASING OF TEMPERATURE CRACKS  
NUMBER IN ASPHALT PAVEMENT OF HIGHWAY**

**B.B. Teltayev**

Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan  
[bagdatbt@yahoo.com](mailto:bagdatbt@yahoo.com)

**Key words:** Road asphalt pavement, temperature crack, first critical temperature, increasing of number of temperature cracks, rate of pavement cracking.

**Abstract:** In this work existing models of appearance and distribution of temperature cracks on asphalt pavement of highway are analyzed. By analyzing results of studying of asphalt cracking in the provinces Alberta and Manitoba (Canada) and in the highway section "Astana-Shchuchinsk" showed that during the cold period when temperature decreases below a certain value in asphalt pavement, firstly only one temperature crack appears and the number of cracks in subsequent increases. Based on the analysis of temperature cracks number in asphalt pavements sections of roads located in different climatic conditions, which have different duration of operation and structural features, it was found that the average number of thermal cracks increases proportional to logarithm of amount of air temperature decrease to the first critical temperature of asphalt pavement and below. Rate of temperature cracking is inversely proportional to number of critical decrease of air temperature and with increase of the last quickly decreases.

Distribution of temperature cracks along road sections length has a great variation. The more the length of road section the more reliable the definition of number of cracks per one kilometer of road.

**УДК 691.16:539.431**

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРЕЩИН  
НА АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

**Б. Б. Телтаев**

Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан  
[bagdatbt@yahoo.com](mailto:bagdatbt@yahoo.com)

**Ключевые слова:** Дорожное асфальтобетонное покрытие, температурная трещина, первая критическая температура, увеличение количества температурных трещин, скорость растрескивания покрытия.

**Аннотация:** В работе проанализированы известные модели появления и распространения температурных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги. Путем анализа результатов изучения растрескивания асфальтобетонных покрытий в провинциях Алберта и Манитоба (Канада) и на участке автомобильной дороги «Астана-Щучинск» показано, что в холодный период при понижении температуры до определенного значения на асфальтобетонном покрытии сначала появляется первая температурная трещина, и количество трещин в последующем увеличивается. На основе анализа количества температурных трещин на асфальтобетонных покрытиях участков автомобильных дорог, расположенных в разных климатических условиях, которые имеют разную продолжительность эксплуатации и конструктивные особенности, установлено, что среднее количество температурных трещин увеличивается пропорционально логарифму количества понижений температуры воздуха до первой критической температуры асфальтобетонного покрытия и ниже. Скорость температурного растрескивания обратно пропорциональна количеству критических понижений температуры воздуха и с увеличением последнего быстро уменьшается. Распределение температурных трещин по длине участков автомобильной дороги характеризуется большой неоднородностью. Чем больше длина участка дороги, тем надежнее определение среднего количества трещин на один километр дороги.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных видов разрушения дорожного асфальтобетонного покрытия в регионах с холодным климатом является низкотемпературное растрескивание (рисунок 1) [1-5]. Несмотря на то, что явление низкотемпературного растрескивания дорожным специалистам известно достаточно давно [6, 7] и до настоящего времени изучается, ещё не разработаны надежные методы моделирования появления и распространения температурных трещин. Видимо, такое положение объясняется сложностью явления растрескивания дорожного асфальтобетона в области низких температур.

В настоящей работе приводятся краткий обзор известных в мировой литературе методов моделирования низкотемпературного трещинообразования на дорожном асфальтобетонном покрытии и результаты обработки и анализа исследований по увеличению количества температурных трещин, выполненных на ряде участков автомобильных дорог, расположенных в разных климатических условиях и имеющих разную продолжительность эксплуатации, а также конструктивные особенности.



Рисунок 1. Низкотемпературное растрескивание асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги

## 2. МОДЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

Современные научные представления о низкотемпературном трещинообразовании на дорожном покрытии можно получить из обзора следующих работ [8-10].

В работе Hiltunen D.R. и Roque R. [9] в качестве основных допущений принято, что в верхнем асфальтобетонном слое дорожной одежды имеются участки потенциальных трещин, расположенные равномерно, расстояние между которыми равно  $S$  (рисунок 2). Приняты также следующие допущения:

- попечальные температурные трещины на поверхности дорожного покрытия обнаружимы визуально;
- каждая из этих трещин может под действием температурного напряжения распространяться сверху вниз с разной скоростью, обусловленной пространственной неоднородностью свойств материала дорожного покрытия.



Рисунок 2. Схема физической модели участка дорожного покрытия

Предложенная модель низкотемпературного растрескивания состоит из двух моделей:

1. Механическая модель, с помощью которой вычисляется развитие (распространение) вертикальной трещины на участке потенциальной трещины, имеющей усредненные свойства материала дорожного покрытия (рисунок 3).
2. Вероятностная модель, которая позволяет вычислить общее количество температурных трещин, видных на поверхности дорожного покрытия, исходя из текущего среднего значения глубины трещины и предположенного распределения глубин трещин в дорожном покрытии.

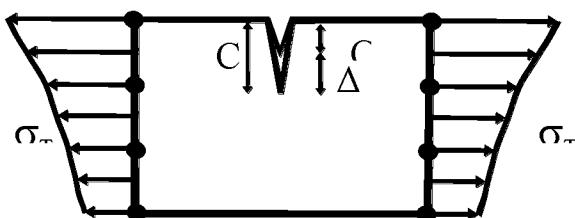


Рисунок 3. Схема роста глубины трещины

В механической модели процесс развития температурной трещины в зависимости от числа циклов охлаждения основан на известном законе Париса и учитываются линейные вязкоупругие свойства материала дорожного покрытия, определенные в лабораторных условиях.

Вероятностная модель количества трещин основана на следующих допущениях:

- в пределах данного участка автомобильной дороги имеется максимальное (фиксированное) количество возможных температурных трещин и эти трещины равномерно распределены;

- пространственное (по длине участка дороги) распределение глубин трещин подчиняется нормальному закону. Среднее значение распределения равно глубине трещины, вычисленной с помощью указанной выше механической модели. Параметры распределения неизвестны и определяются по результатам калибровки модели на участках дорог, расположенных в конкретных климатических и других условиях. Принятые параметры модели считаются постоянными для всех рассматриваемых участков дороги.

В этой модели количество трещин является функцией вероятности того, что глубина трещины равна или больше толщины дорожного покрытия (рисунок 4). При этом принято, что логарифм глубин трещин в покрытии распределен по нормальному закону со средним значением  $\log C_0$  (глубина трещины, вычисленная по механической модели) и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ . Количество трещин вычисляется по выражению:

$$AC = \beta_1 \cdot P(\log C > \log D), \quad (1)$$

где  $AC$  - количество трещин;

$\beta_1$  - коэффициент регрессии, определяемый по результатам полевой калибровки модели;

$P(\dots)$  - вероятность того, что условие (...) справедливо;

$C$  - глубина трещины;

$D$  - толщина дорожного покрытия.

Выражение (2) представлено также и в следующем виде:

$$AC = \beta_1 \cdot N\left(\frac{\log C / D}{\sigma}\right), \quad (2)$$

где  $N (\dots)$  – стандартное нормальное распределение, вычисленное при ( $\dots$ );

$\sigma$  - среднеквадратическое отклонение логарифма глубин трещин в покрытии.

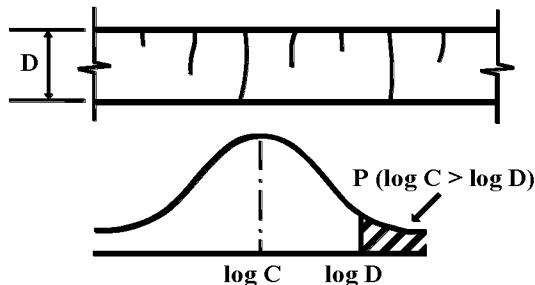


Рисунок 4. Схема модели количества трещин

Авторами выбор модели числа трещины в виде выражений (1) и (2) обоснован тем, что:

- логарифмическая форма предполагает, что число трещин пропорционально отношению C/D. Число трещин представлено как величина, нормализованная по отношению к толщине дорожного покрытия;

- использование  $\log C_o$  подразумевает, что изменчивость глубины трещин растет с увеличением глубины этих трещин.

Сами же авторы отмечают, что предложенная ими модель не может предсказать больше, чем 50 % возможного общего числа трещин в дорожном покрытии. Это соответствует тому положению, когда средняя глубина трещин равна толщине дорожного покрытия. В данном случае подразумевается, что 50 % трещин имеют глубину больше, чем толщина покрытия, а 50 % трещин не развились до полной глубины, равной толщине покрытия. Это – существенный недостаток модели, являющийся прямым следствием принятых допущений о нормальном распределении логарифма глубин трещин и о том, что средняя глубина трещин равна величине, вычисленной по механической модели.

Изложенная выше методика была включена в действующее в Америке Руководство по проектированию конструкций дорожных одежд [11, 12]. Она также была включена в опубликованную относительно недавно коллективную монографию по моделированию асфальтобетона [1].

В разработанной B.W. Shen и D.J. Kirkner модели низкотемпературного трещинообразования асфальтобетонного покрытия [8] принято, что изначально в асфальтобетонном покрытии имеется множество фиктивных трещин с размерами в мезомасштабе (одного порядка с размерами зерен заполнителя). Механизм появления видимых на глаз низкотемпературных трещин они предлагают следующим: при понижении температуры некоторые из фиктивных мезотрещин начинают «активизироваться» и из-за сил сцепления асфальтобетонного покрытия с основанием трещины на макроуровне появляются через некоторые расстояния (рисунок 5). При этом каждая фиктивная мезотрещина имеет свой предел прочности и она способна раскрываться до определенной величины. Связь между напряжением и величиной раскрытия фиктивной трещины принята в простой линейной форме (рисунок 6):

$$\sigma = \sigma_f \left(1 - \frac{w}{w_c}\right), \text{ когда } w < w_c, \quad (3)$$

$$\sigma = 0, \quad \text{когда } w \geq w_c, \quad (4)$$

где  $\sigma$  - напряжение;

$\sigma_f$  - прочность фиктивной трещины;

$w$  - раскрытие фиктивной трещины;

$w_c$  - раскрытие фиктивной трещины, за пределом которого  $\sigma = 0$ .

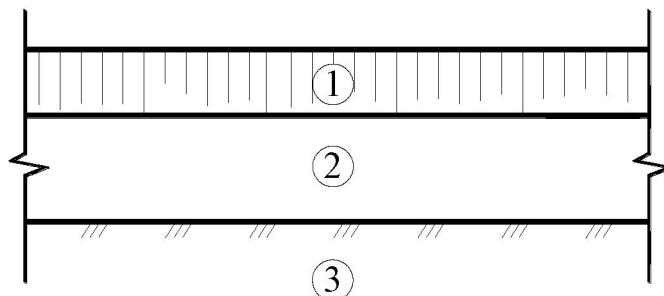


Рисунок 5. Схема модели низкотемпературного трещинообразования: 1 – асфальтобетонное покрытие; 2 – основание дорожной одежды; 3 – земляное полотно; 4 – фиктивные трещины; 5 – температурные (макро-) трещины

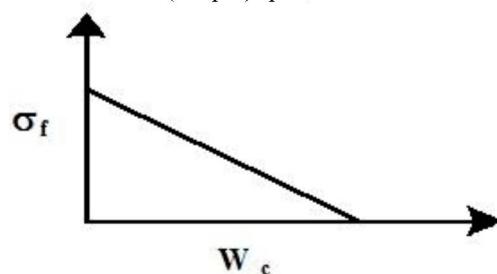


Рисунок 6. Зависимость между напряжением и раскрытием для фиктивной трещины

На наш взгляд, основным недостатком являются то, что распределение фиктивных трещин по длине асфальтобетонного покрытия и прочность каждой из них задаются расчетчиком. Так как значения указанных параметров получить в натурных условиях (из дороги) в настоящее время практически невозможно, и они задаются по выбору расчетчика. Результат моделирования получается такой, какой расчетчик желает получить.

Предположение об изначальном существовании воображаемых вертикальных трещин в дорожном покрытии в решении задач о появлении низкотемпературных трещин при понижении температуры и в настоящее время служит основой для моделирования. Это можно видеть в недавно опубликованной работе A. Amarasiri и J. Grenfell [10]. Они также предполагают, что в плите дорожного покрытия до понижения температуры существуют скрытые вертикальные сцепленные поверхности (т.е. фиктивные трещины) (рисунок 7). Связь этих парных поверхностей, как и в статье [8], характеризуется зависимостью «напряжение-раскрытие трещины» (рисунок 6). Основание рассматривается как Винклеровское (перемещение точки поверхности пропорционально приложенной нагрузке). Материал плиты покрытия считается деформируемым линейно упруго. Условие сцепления между плитой покрытия и основанием определено критерием Кулона-Мора. В результате выполнения ряда расчетов с изменением входных параметров установлено, что расстояние между температурными трещинами увеличивается с повышением прочности материала плиты покрытия и снижением жесткости материала основания.

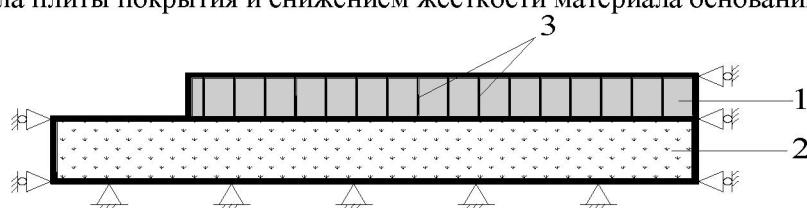


Рисунок 7. Схема модели низкотемпературного трещинообразования: 1 – плита дорожного покрытия; 2 – основание; 3 – сцепленные поверхности (фиктивные трещины)

Известен способ определения количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии [13]. Он основан на результатах анализа температурных трещин, фиксированных в ходе

выполнения диагностики эксплуатационного состояния ряда автомобильных дорог Казахстана и климатические особенности регионов учитывает с помощью карты районирования территории республики по расчетным температурам асфальтобетонного покрытия [14, 15]. Этот способ также учитывает количество прошедших зимних периодов с начала эксплуатации дороги. Но его недостатком является невозможность прогнозирования количества температурных трещин во времени.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

#### 3.1. Первая температурная трещина

Дорожным специалистам известно, что в северных регионах Казахстана, России, Канады и в северных континентальных штатах Америки в суровый зимний период дорожное асфальтобетонное покрытие растрескивается сильнее и количество температурных трещин увеличивается из года в год. Логически понятно, что на асфальтобетонном покрытии сперва должна появляться первая температурная трещина при определенном значении низкой температуры и с последующим понижением температуры число трещин должно увеличиваться.

В качестве прямых экспериментальных данных, подтверждающих появление первых одиночных температурных трещин на асфальтобетонном покрытии во время охлаждения воздуха в зимний период, можно привести результаты, полученные канадскими специалистами в работе [16]. В 60-х годах прошлого века вблизи Алberta и Манитоба, расположенных в Западной Канаде, были осуществлены проекты по оценке низкотемпературного поведения асфальтобетонных дорожных покрытий. Дорожный исследовательский проект Манитоба был реализован совместно с Департаментом транспорта Манитоба и компанией Shell Canada. Экспериментальные участки автомобильной дороги в количестве 29 штук были построены летом 1967 года, каждый из которых имел длину 1 км. На 7 участках была использована специальная система фиксации времени и места появления температурной трещины на асфальтобетонном покрытии. Конструкции дорожной одежды на опытных участках показаны на рисунке 8. Асфальтобетонная смесь была приготовлена с использованием битумов марок 150-200 и 300-400 по пенетрации.

Было установлено, что первая температурная трещина на асфальтобетонном покрытии конструкции дорожной одежды *B* с битумом марки 150-200 появилась 31 декабря 1967 года при минимальной температуре -28,9 °C и 1, 3, 4, 5 и 7 января 1968 года появились следующие трещины.

На покрытии конструкции *C* (марка битума 150-200) первая трещина появилась 1 января 1968 года и последующие трещины были фиксированы 6 и 7 января. Температура опустилась до -28,9 °C.

Первая трещина на покрытии конструкции *D* с битумом той же марки была обнаружена 30 декабря 1967 года при минимальной температуре -28,9 °C. Следующие трещины появились 31 декабря 1967 года и 4 января 1968 года, когда температура опустилась до -30,0 °C и -31,7 °C соответственно.

В рассматриваемой работе также отмечено, что на покрытии конструкции *B* с битумом марки 300-400 первая и вторая температурные трещины появились в 2 часа 50 минут и в 6 часов 40 минут 4 января 1968 года при минимальных температурах -35,6 °C и -36,7 °C соответственно.

Из сравнительного анализа изложенных выше данных следует, что:

- наличие слоя основания, толщины слоя основания и асфальтобетонного покрытия практически не оказывают влияния на процесс трещинообразования;
- существенное влияние на растрескивание асфальтобетонного покрытия оказывает марка (вязкость) битума. На покрытиях с вязким битумом (150-200) первые температурные трещины появились при температуре -28,9 °C, а на покрытии с менее вязким битумом (300-400) – при температуре -35,6 °C. Последующие трещины появляются при более низких температурах, чем температура появления первых трещин.

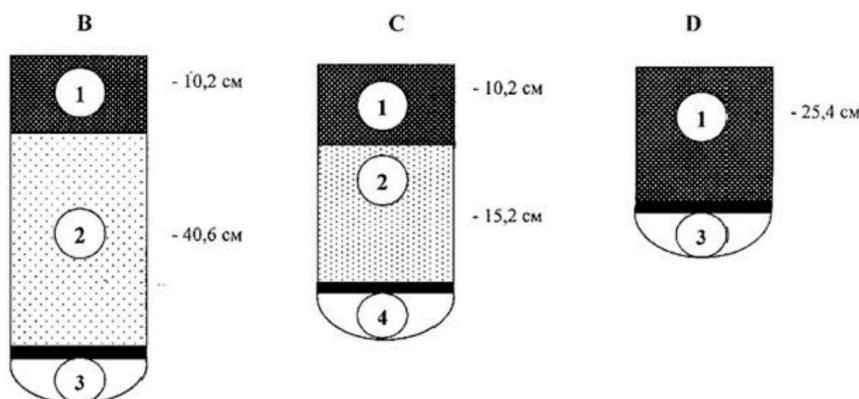


Рисунок 8. Конструкции дорожной одежды (Манитоба, Канада):  
1 – асфальтобетон; 2 – зернистое основание; 3 – глина; 4 – песок

В таблице 1 приведены результаты измерения количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии участка 2 (подрядчик – ТОО «Тодини») автомобильной дороги «Астана-Щучинск» в разные моменты времени. Как видно из таблицы, к моменту первого обследования (29 января 2010 года) на указанных километрах дороги не имелось ни одной температурной трещины на асфальтобетонном покрытии. Через 24 суток (22 февраля 2010 года) на многих километрах обнаружены трещины и в последующем их число увеличивалось. Так, на километрах 87-88, 92-93, 97-98, 99-100 во время второго обследования дороги было фиксировано по одной трещине, а третью и четвертое обследования показали, что их количества увеличились и составили 16, 7, 22, 10 и 22, 15, 29, 23 соответственно.

Таким образом, из изложенного выше ясно, что в холодный период при понижении температуры до определенного значения на асфальтобетонном покрытии появляется первая температурная трещина и число трещин увеличивается в последующем.

Таблица 1 . Данные об увеличении количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии участка 2 автомобильной дороги «Астана-Щучинск» (прямое направление, год строительства – 2009)

Адрес, км-км	Количество температурных трещин, шт			
	Время измерения	29.01.2010	22.02.2010	23.10.2011
69-70		0	6	20
70-71		0	7	2
72-73		0	16	44
73-74		0	9	41
74-75		0	17	55
75-76		0	12	56
76-77		0	11	15
77-78		0	15	33
78-79		0	13	25
79-80		0	7	27
80-81		0	9	36
82-83		0	13	36
85-86		0	10	38
87-88		0	1	16
88-89		0	3	13
89-90		0	0	5
90-91		0	0	6
91-92		0	0	10
92-93		0	1	7
93-94		0	0	5
94-95		0	0	10
95-96		0	0	16
96-97		0	0	6
97-98		0	1	22
98-99		0	0	13

99-100	0	1	10	23
Общее количество, шт	0	152	564	785
Среднее количество, шт/км	0	6	22	30

### 3.2. Автомобильная дорога «Астана-Щучинск»

Реконструкция автомобильной дороги «Астана-Щучинск» выполнена в период с 2007 по 2009 гг. Дорога с общей протяженностью 234 км при реконструкции была поделена на пять участков. На первом и пятом участках дорожное покрытие было устроено из цементобетона, а на втором, третьем и четвертом участках – из щебеноно-мастичного асфальтобетона. Протяженность участков дороги с асфальтобетонным покрытием – 43 км, 51 км и 33 км соответственно. В связи с большой протяженностью участков и большого количества полос движения (6 полос) конструкция дорожной одежды на указанных участках дороги была устроена в течение 2008 и 2009 гг. Подробные сведения об участках (подучастках) дороги с указанием года строительства конструкции дорожной одежды приведены в таблице 2. Конструкция дорожной одежды на рассматриваемых участках автомобильной дороги состоит из следующих слоев:

1- слой: Щебеноно-мастичный асфальтобетон (ЩМА-20) на битуме марки БНД 90/130, толщина  $h_1 = 6$  см;

2-слой: Горячий пористый асфальтобетон на битуме марки БНД 90/130,  $h_2 = 9$  см;

3-слой: Черный щебень,  $h_3 = 12$  см;

4-слой: Щебеноно-песчаная смесь, укрепленная цементом (7 %),  $h_5 = 18$  см;

5-слой: Отсев дробления,  $h_6 = 20$  см.

Грунт земляного полотна – суглинок тяжелый песчанистый.

Таблица 2. Сведения о подучастках автомобильной дороги «Астана-Щучинск» с указанием года строительства конструкции дорожной одежды

Номер участка	Подрядная организация	Подучасток, км-км	Протяженность, км	Год строительства
Направление движения «Астана-Щучинск»				
2	ТОО «Тодини»	69-101	32	2009
		101-112	11	2008
		43		
3	ТОО «Дена-kz»	112-118	6	2008
		118-140	22	2009
		140-163	23	2008
		51		
4	ТОО «Акмола курылыс материалдары»	163-189	26	2009
		189-196	7	2008
		33		
Направление движения «Щучинск-Астана»				
2	ТОО «Тодини»	69-75	6	2009
		75-92	17	2008
		92-112	20	2009
		43		
3	ТОО «Дена-kz»	112-163	51	2009
		51		
4	ТОО «Акмола курылыс материалдары»	163-189	26	2009
		189-196	7	2008
		33		

Визуальный осмотр участков с фиксацией количества появившихся к моменту осмотра температурных трещин после полного ввода в эксплуатацию автомобильной дороги выполнялся четыре раза с завершением осмотра 29 января и 22 февраля 2010 года, 23 октября 2011 года и 19 июля 2015 года. Продолжительность каждого осмотра составляла 2-3 суток. Второй осмотр был выполнен сотрудниками Государственного учреждения «Акмолажоллаборатория», а остальные три – сотрудниками Казахстанского дорожного научно-исследовательского института. Общее,

усредненное и удельное (на 1 км дороги) количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии на участках автомобильной дороги, фиксированные в моменты осмотра, с учетом года строительства конструкции дорожной одежды и направления движения представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Количество температурных трещин на подучастках автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

Номер участка	Год строительства	Время измерения			
		29.01.2010		22.02.2010	
		Количество трещин		Количество трещин	
		Общее, шт	на 1 км, шт/км	Общее, шт	на 1 км, шт/км
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					
2	2008	116	11	132	12
	2009	22	1	227	7
<b>Направление движения «Щучинск-Астана»</b>					
2	2008	296	17	400	24
	2009	311	12	544	21
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					
3	2008	1000	34	1057	36
	2009	456	21	498	23
<b>Направление движения «Щучинск-Астана»</b>					
3	2008	-	-	-	-
	2009	501	10	767	15
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					
4	2008	172	25	163	23
	2009	360	14	473	18
<b>Направление движения «Щучинск-Астана»</b>					
4	2008	130	19	170	24
	2009	351	14	458	18

продолжение таблицы 3

Номер участка	Год строительства	Время измерения			
		23.10.2011		19.07.2015	
		Количество трещин		Количество трещин	
		Общее, шт	на 1 км, шт/км	Общее, шт	на 1 км, шт/км
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					
2	2008	358	33	423	38
	2009	813	25	1107	35
<b>Направление движения «Щучинск-Астана»</b>					
2	2008	784	46	850	50
	2009	841	32	1313	51
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					
3	2008	1989	69	2218	76
	2009	1318	60	1609	73
<b>Направление движения «Щучинск-Астана»</b>					
3	2008	-	-	-	-
	2009	2000	39	2607	51
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					
4	2008	267	38	473	68
	2009	872	34	1464	56
<b>Направление движения «Щучинск-Астана»</b>					
4	2008	258	37	360	51
	2009	1171	45	1522	58

Таблица 4. Усредненное количество температурных трещин на подучастках автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

Номер участка	Год строительства	Время измерения			
		29.01.2010		22.02.2010	
		Количество трещин		Количество трещин	
		Общее, шт	на 1 км, шт/км	Общее, шт	на 1 км, шт/км
<b>Направление движения «Астана-Щучинск»</b>					

2	2008	412	15	532	20
	2009	333	6	771	13
3	2008	1000	34	1057	36
	2009	957	13	1265	17
4	2008	302	22	333	24
	2009	711	14	931	18

продолжение таблицы 4

Номер участка	Год строительства	Время измерения			
		23.10.2011		19.07.2015	
		Количество трещин		Количество трещин	
		Общее, шт	на 1 км, шт/км	Общее, шт	на 1 км, шт/км
2	2008	1142	42	1273	47
	2009	1654	29	2420	42
3	2008	1989	69	2218	76
	2009	3318	45	4216	58
4	2008	525	38	833	60
	2009	2043	39	2986	57

На рисунках 9 и 10 представлены гистограммы, показывающие количества температурных трещин, фиксированные в разные моменты времени на участках дороги. Видно, что наибольшее количество трещин имеется на участке 3, особенно на подучастке, построенном в 2008 году. Наименьшее количество трещин фиксировано на участке 2. Отчетливо видно, что на всех участках дороги количество трещин с течением времени увеличивается.

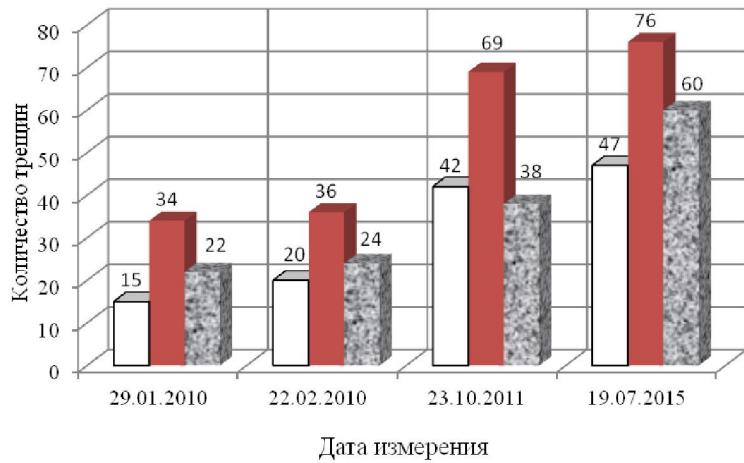


Рисунок 9. Количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии на участках автомобильной дороги «Астана-Шучинск», построенных в 2008 году, в разные моменты времени

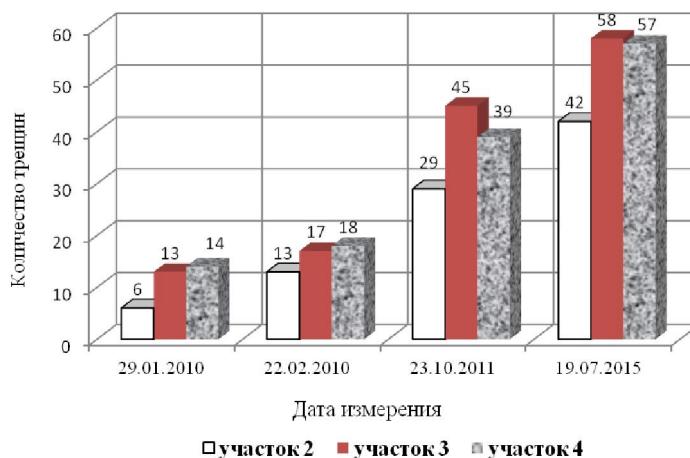


Рисунок 10. Количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск», построенных в 2009 году, в разные моменты времени

В работах [2, 3] показана важность критической температуры в оценке низкотемпературной трещиностойкости асфальтобетонного покрытия. В работе [4] установлено, что критическая температура асфальтобетонного покрытия не зависит от скорости охлаждения и линейно зависит от начальной температуры охлаждения.

В настоящей работе для установления закономерности роста количества температурных трещин во времени выдвинута гипотеза следующего содержания: «*Количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии увеличивается пропорционально количеству понижений температуры воздуха до первой критической температуры асфальтобетонного покрытия и ниже*». В дальнейших исследованиях среднее значение первой критической температуры для асфальтобетонных покрытий всех рассматриваемых участков автомобильных дорог принято равным  $-18^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 11 в качестве примера показаны графики изменения температуры воздуха в декабре 2009 года и январе 2010 года, построенные по данным метеостанции г. Астаны. Имея такие графики для всех холодных месяцев с момента ввода дороги в эксплуатацию до любого интересующего момента времени, можно определить количество характерных понижений температуры. Определенные таким путем количества понижений температуры воздуха для моментов фиксации количества температурных трещин на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск», указанных в таблицах 2 и 3, даны в таблице 5.

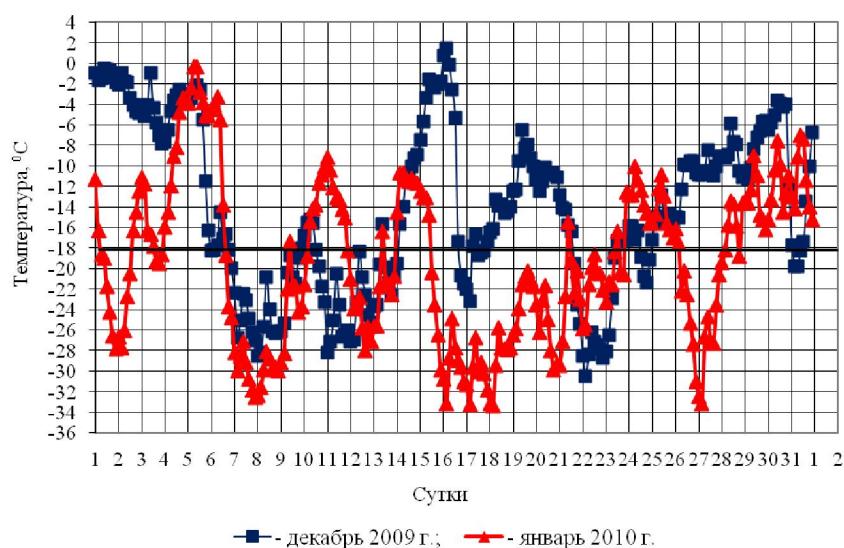


Рисунок 11. Графики изменения температуры воздуха в декабре 2009 года и январе 2010 года по данным метеостанции г. Астаны

Таблица 5. Количество понижений температуры воздуха до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже для участков автомобильной дороги «Астана-Щучинск», построенных в 2008 и 2009 гг.

Дата подсчета количества трещин	Количество понижений температуры воздуха построенного в		для участка,
	2008 г.	2009 г.	
29.01.2010	34	12	
22.02.2010	38	16	
23.10.2011	72	50	
19.07.2015	204	182	

Графики зависимости среднего количества температурных трещин на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск» от количества критических понижений температуры воздуха показаны на рисунках 12-14.

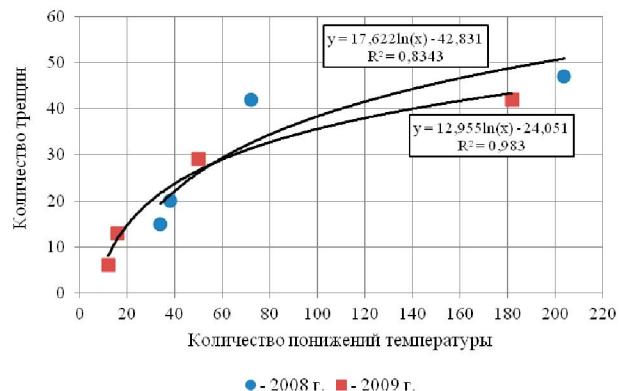


Рисунок 12. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участке 2 автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

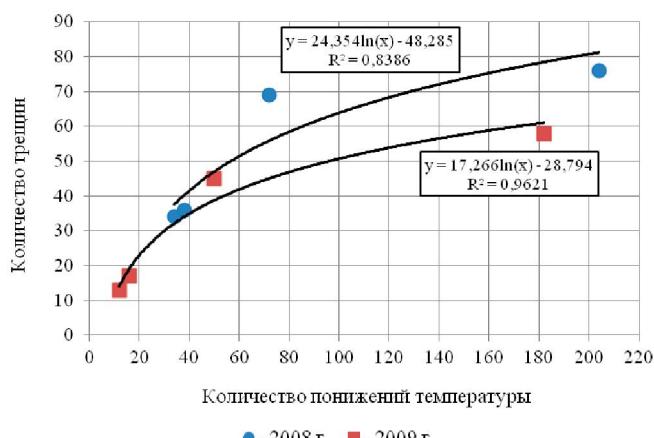


Рисунок 13. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участке 3 автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

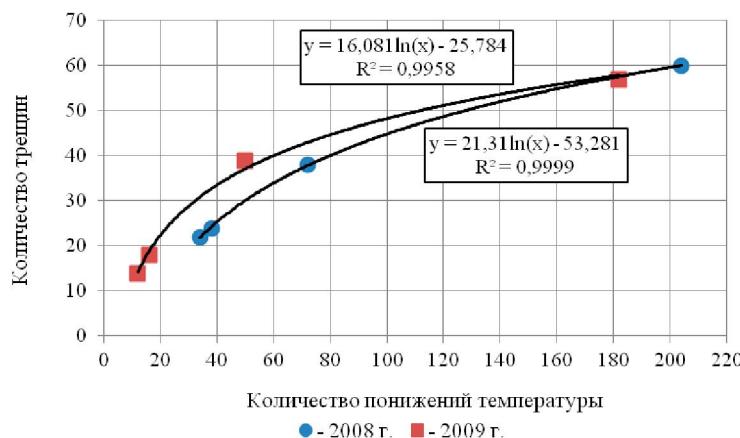


Рисунок 14. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участке 4 автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

Как видно, аппроксимация этих графиков логарифмической зависимостью показывает наличие тесной ( $R^2 = 0,83 - 1,0$ ) корреляционной связи между рассматриваемыми показателями. Объединение графиков для подучастков, построенных в 2008 и 2009 гг., в один в пределах каждого из участков дороги также показало высокую корреляционную связь ( $R^2 = 0,87-0,94$ ) между количеством температурных трещин и количеством понижений температуры воздуха (рис. 15-17).

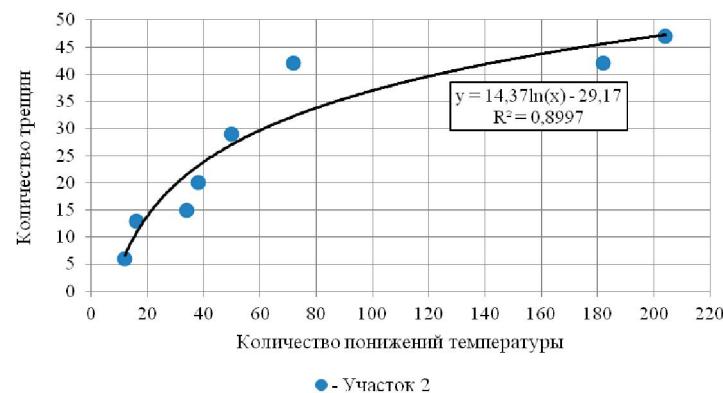


Рисунок 15. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участке 2 автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

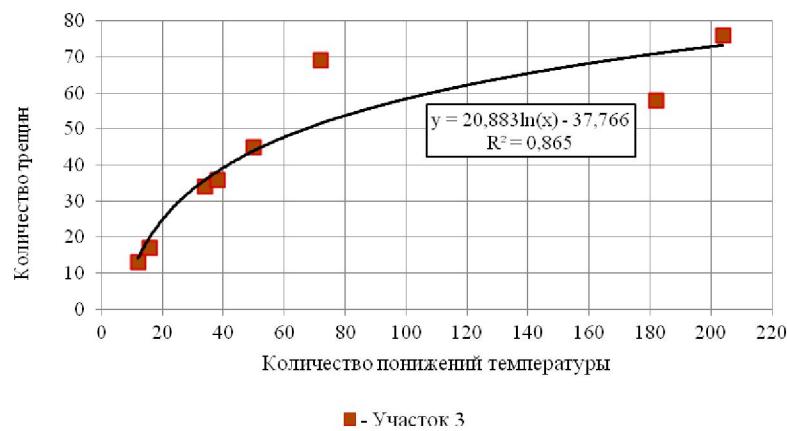
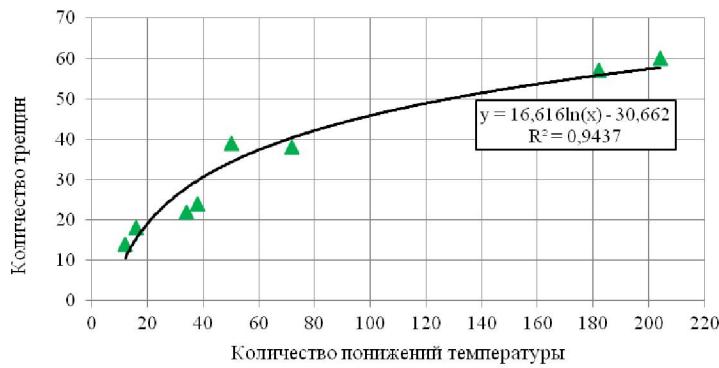


Рисунок 16. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участке 3 автомобильной дороги «Астана-Щучинск»



▲ - Участок 4

Рисунок 17. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участке 4 автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

Таким образом, оказалось, что количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги увеличивается со временем пропорционально логарифму количества понижений температур воздуха до первой критической температуры и ниже.

Установленная зависимость имеет вид:

$$N_T = a + b \cdot \ln(N_{cr1}), \quad (5)$$

где  $N_T$  - количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии;

$N_{cr1}$  - количество понижений температуры воздуха до первой критической и ниже;

$a, b$  - коэффициенты.

Коэффициент  $b$  имеет физический смысл. Он показывает во сколько раз увеличивается количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии при увеличении количества критических понижений температуры воздуха в 2,72 раза, т.е. характеризует скорость роста количества температурных трещин.

Зависимость (5) в полулогарифмических координатах представляет прямую линию. Поэтому значения коэффициентов  $a$  и  $b$  могут быть определены по следующим выражениям, используя результаты измерения количеств температурных трещин и соответствующих количеств критических понижений температуры воздуха в два разные моменты времени:

$$a = N_{T1} - \left[ \frac{N_{T2} - N_{T1}}{\ln\left(\frac{N_{cr2}}{N_{cr1}}\right)} \right] \cdot \ln(N_{cr1}), \quad (6)$$

$$b = \frac{N_{T2} - N_{T1}}{\ln\left(\frac{N_{cr2}}{N_{cr1}}\right)}, \quad (7)$$

где  $N_{T1}, N_{T2}$  - количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии в моменты времени первого и второго измерений соответственно;

$N_{cr1}, N_{cr2}$  - количества критических понижений температуры воздуха с начала эксплуатации дороги до моментов времени первого и второго измерений соответственно.

### 3.3. Количество критических понижений температуры

Количество критических понижений температуры воздуха является характеристикой погодно-климатических условий и зависит, главным образом, от географического положения местности. В качестве наглядного примера на рисунке 18 показана гистограмма количества критических понижений температуры воздуха (до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже) по данным метеостанций гг. Астана, Алматы и Кызылорда в течение двадцати последовательных лет с 1992 г. по 2011 г. Как следовало ожидать,

количество критических понижений температуры воздуха зависит от географического положения местности и сильно изменяется в разные годы. Так, оно в г. Астане имело минимальное значение, равное 12, в 2002 г., а максимальное, равное 50 – в 1998 г.; в г. Алматы максимальное количество, равное 20, отмечено в 2001 и 2006 гг. и в течение 6 лет (1992, 1993, 2000, 2003, 2004 и 2009 гг.) температура воздуха ни разу не опускалась до критической величины ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) и ниже; и в г. Кызылорде 2 года (1992 и 2004 гг.) температура воздуха все время была выше критической, а максимальное количество её критического понижения, равное 22, имело место в 2006 г.

В течение указанного периода времени (1992-2011 гг.) общее количество критических понижений температуры воздуха в гг. Астане, Алматы и Кызылорде составило 664, 140 и 226 соответственно, а среднее годовое количество – 33, 70 и 11 соответственно.

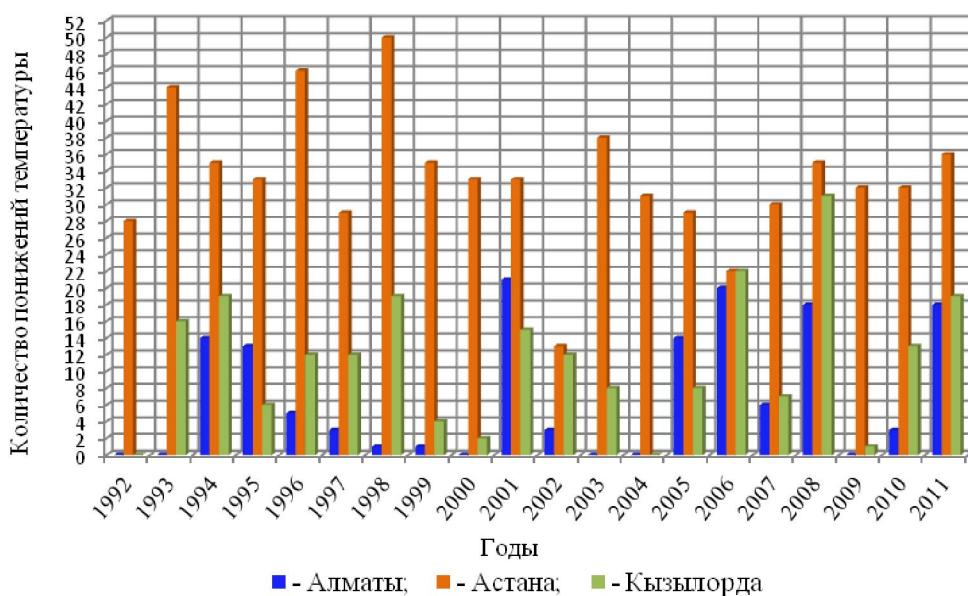


Рисунок 18. Количество критических понижений температуры воздуха по данным метеостанций гг. Астаны, Алматы и Кызылорды

### 3.4. Статистика распределения температурной трещины

При построении гистограмм (рисунки 9 и 10) и рисунков 12-17 были использованы средние количества температурных трещин на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск». Но следует отметить, что покилометровое распределение количества трещин на участках автомобильной дороги имеет существенную неоднородность. Например, из рисунков 19 и 20, на которых приведены покилометровые распределения трещин на участке 3 автомобильной дороги «Астана-Щучинск», построенные по данным измерения 29 января 2010 г. и 19 июля 2015 г., хорошо видно, что неравномерность количества трещин по длине участка в ранний период времени (29 января 2010 г.) очень большая: есть километры дороги (132 км и 137 км), на которых трещина отсутствует вообще, тогда как единичное максимальное количество (31 шт.) фиксировано на 157-ом километре дороги; среднее арифметическое количество трещин равно 10.

В течение пяти лет (до 19 июля 2015 г.) среднее количество трещин на рассматриваемом участке увеличилось в 5 раз. Из рисунка 20 видно, что за исключением нескольких километров количество температурных трещин близко среднему арифметическому, т.е. однородность покилометрового распределения трещин на участке повысилась.

Статистические характеристики распределения температурных трещин на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск» приведены в таблице 6. Данные таблицы показывают, что практически на всех участках дороги величина коэффициента вариации для последнего измерения снизилась по сравнению с первым. На участках, построенных в 2009 году это снижение существенно – в 2,3 раза (участок 2), в 2,0 раза (участок 3) и в 2,1 раза (участок 4). Из рисунка 21 видно, что среднее значение коэффициента вариации количества

трещин на рассматриваемой автомобильной дороге практически линейно уменьшается с увеличением количества критических понижений температуры воздуха.

Из приведенного выше анализа статистических характеристик распределения трещин следует вывод, имеющий важное практическое значение: чем больше длина участка дороги, на котором определяется количество температурных трещин, тем результат определения надежнее.

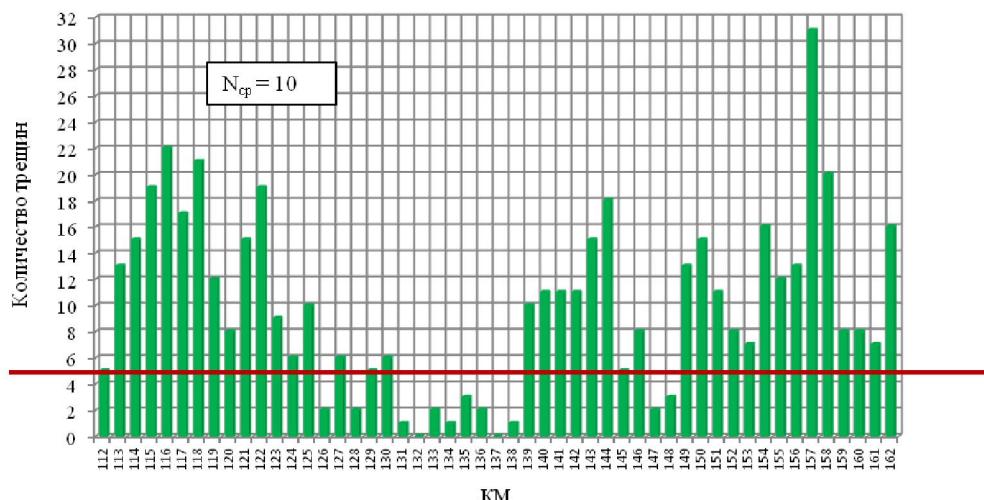


Рисунок 19. Распределение количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии участка 3 автомобильной дороги «Астана-Щучинск». Обратное направление. Дата измерения – 29.01.2010 г.

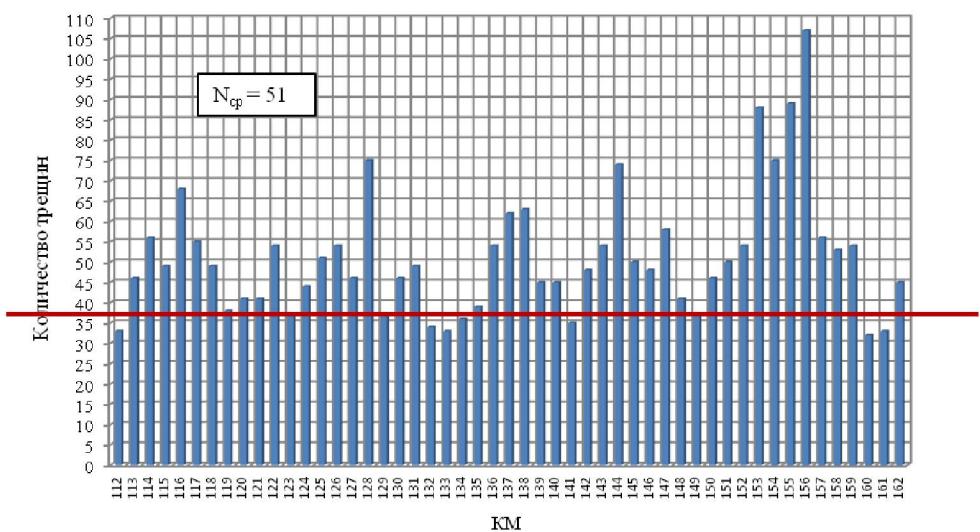


Рисунок 20. Распределение количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии участка 3 автомобильной дороги «Астана-Щучинск». Обратное направление. Дата измерения – 19.07.2015 г.

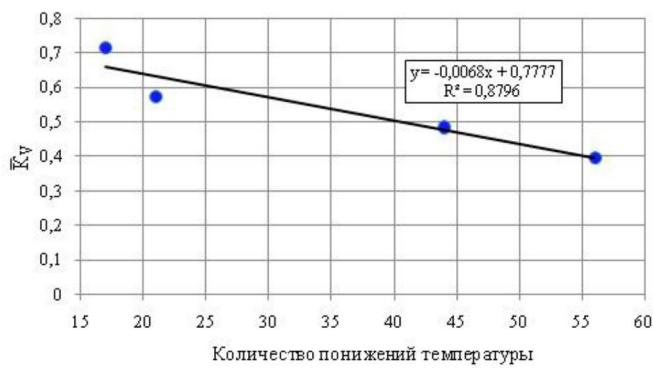


Рисунок 21. Зависимость среднего коэффициента вариации от количества критических понижений температуры воздуха

Таблица 6. Статистические характеристики температурных трещин на асфальтобетонном покрытии на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск»

№ участка	Год строительства	29.01.2010			22.02.2010		
		N <sub>T</sub> , шт/км	σ	K <sub>v</sub>	N <sub>T</sub> , шт/км	σ	K <sub>v</sub>
2	2008	15	9,064	0,604	19	9,646	0,508
	2009	6	10,627	1,771	13	15,572	1,198
3	2008	34	8,229	0,242	36	10,332	0,287
	2009	13	8,727	0,671	17	7,572	0,445
4	2008	22	12,134	0,552	24	15,194	0,633
	2009	14	6,279	0,449	18	6,694	0,372
Среднее		17	9,177	0,715	21	10,835	0,574

продолжение таблицы 6

№ участка	Год строительства	23.10.2011			19.07.2015		
		N <sub>T</sub> , шт/км	σ	K <sub>v</sub>	N <sub>T</sub> , шт/км	σ	K <sub>v</sub>
2	2008	41	33,821	0,825	45	18,167	0,404
	2009	29	16,745	0,577	42	32,371	0,771
3	2008	69	20,925	0,303	76	21,448	0,282
	2009	45	22,084	0,491	58	19,705	0,340
4	2008	38	13,641	0,359	60	22,859	0,381
	2009	39	14,091	0,361	57	12,182	0,214
Среднее		44	20,218	0,486	56	21,122	0,399

Примечание: N<sub>T</sub> – среднее количество трещин, шт/км; — σ – среднее квадратическое отклонение, шт/км;  
K<sub>v</sub> – коэффициент вариации

### 3.5. Автомобильные дороги в других регионах

Если установленная выше зависимость количества температурных трещин от количества критических понижений температуры воздуха на участках автомобильной дороги «Астана-Щучинск» имеет закономерный характер для асфальтобетонных покрытий в целом, то она должна быть выявлена и на других автомобильных дорогах, расположенных в других климатических условиях. Для проверки справедливости этого положения и подтверждения выдвинутой выше гипотезы были обработаны и проанализированы данные об определении количества температурных трещин на асфальтобетонных покрытиях участков ряда автомобильных дорог, расположенных в разных климатических условиях. Конструкции дорожных одежд участков рассматриваемых автомобильных дорог приведены ниже.

#### Автомобильная дорога «Западная Европа-Западный Китай»

1-слой: Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА-20) на битуме марки БНД 60/90, толщина h<sub>1</sub> = 5 см;

2-слой: Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД

60/90,  $h_2 = 10$  см;

3-слой: Горячий высокопористый крупнозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 90/130,  $h_3 = 12$  см;

4-слой: Щебеночно-песчаная смесь С4 (фракции 0-80 мм),  $h_4 = 15-24$  см;

5-слой: Гравийно-песчаная смесь природная,  $h_5 = 20-30$  см.

Земляное полотно на разных участках было сооружено из грунтов разных видов (таблица 2).

*Автомобильная дорога «Карабутак-Ыргыз»*

1-слой: Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон на битуме марки БНД 60/90, толщиной  $h_1 = 6$  см;

2-слой: Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон на битуме марки БНД 60/90,  $h_2 = 12$  см;

3-слой: Щебеночно-песчаная смесь,  $h_3 = 18$  см;

4-слой: Песчано-гравийная смесь,  $h_4 = 24$  см;

5-слой: Гравийно-песчано-грунтовая смесь,  $h_5 = 17$  см.

Грунт земляного полотна – супесь пылеватая.

*Автомобильная дорога «Жалтыр-Жаксы»*

1-слой: Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 60/90, толщиной  $h_1 = 5$  см;

2-слой: Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 60/90,  $h_2 = 7$  см;

3-слой: Материал измельчения старого асфальтобетонного покрытия + новый щебеночный материал + битум марки БНД 60/90 (3 %),  $h_3 = 18$  см;

4-слой: Щебеночно-песчаная смесь,  $h_4 = 30$  см;

Грунт земляного полотна – суглинок.

*Автомобильная дорога «Костанай-Троицк»*

1-слой: Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 60/90, толщиной  $h_1 = 5,5$  см;

2-слой: Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 60/90,  $h_2 = 8,5$  см;

3-слой: Гравийно-песчаная смесь,  $h_3 = 14$  см;

4-слой: Песок мелкий,  $h_4 = 5$  см;

5-слой: Старое асфальтобетонное покрытие,  $h_5 = 9$  см.

Грунт земляного полотна – суглинок.

*Автомобильная дорога «Алматы-Бишкек»*

1-слой: Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 60/90, толщиной  $h_1 = 5$  см;

2-слой: Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон типа Б на битуме марки БНД 60/90,  $h_2 = 7$  см;

3-слой: Черный щебень,  $h_3 = 13$  см;

4-слой: Щебеночно-гравийная смесь,  $h_4 = 17$  см;

5-слой: Песчано-гравийная смесь,  $h_5 = 40$  см.

Грунт земляного полотна – суглинок легкий пылеватый.

Сравнительный анализ приведенных конструкций дорожных одежд показывает, что:

1. Имеют двухслойное асфальтобетонное покрытие с общей толщиной 12-18 см, верхний слой которого устроен из горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона (5-6 см), а нижний – из горячего пористого крупнозернистого асфальтобетона (7-12 см);

2. Асфальтобетоны приготовлены с использованием битума одной марки – вязкого нефтяного дорожного битума марки БНД 60/90;

3. За исключением участков автомобильной дороги «Западная Европа-Западный Китай» и «Жалтыр-Жаксы», слои основания дорожной одежды устроены из смесей несвязных материалов.

Средние количества температурных трещин на асфальтобетонных покрытиях с указанием ряда важных данных представлены в таблицах 7 и 8. Построенная по данным таблицы 8 зависимость температурных трещин от количества критических понижений температуры воздуха показана на рисунке 22. Как видно, получена как раньше полулогарифмическая зависимость с высоким показателем достоверности корреляционной связи между рассматриваемыми характеристиками.

Таблица 7. Среднее количество температурных трещин на участках международной автомобильной дороги «Западная Европа-Западный Китай»

№ лота	Адрес, км-км	Протяженность участка, км	Среднее количество температурных трещин, шт/км	Грунт земляного полотна
4	1498-1578	80	1,28	песок мелкий песок пылеватый
6	1650-1702	52	1,66	суглинок пылеватый
7	1702-1752	52	0,42	песок мелкий песок пылеватый супесь пылеватая
8	1752-1837	85	0,36	суглинок пылеватый супесь пылеватая
9	1837-1877	40	1,31	суглинок пылеватый
10	1877-1917	40	0,14	суглинок пылеватый
13	1980-2012	32	0,88	песок пылеватый супесь пылеватая суглинок пылеватый
13*		6	19,17	
Среднее**			0,86	

Примечание: 1) Участки построены в период апрель-сентябрь 2011 года. 2) \* - участок построен в июле 2010 года. 3) Все участки обследованы в феврале 2012 года. 4) \*\* - для участков, построенных в 2011 году.

Таблица 8. Среднее количество трещин и число критических понижений температуры на участках автомобильных дорог

Участок автомобильной дороги	Область	Продолжительность эксплуатации до обследования, лет	Среднее количество трещин, шт/км	Число критических понижений температуры (до -18 °C и ниже)
Западная Европа-Западный Китай	Кызылординская	1	1	14
		2	19	25
Костанай-Троицк, км 2074-2118	Костанайская	7	45	221
Жалтыр-Жаксы, км 1530-1576	Акмолинская	7	34	180
Карабутак-Биргыз, км 1057-1153	Актюбинская	2	29	78
		4	35	156
Алматы-Бишкек, км 40-59	Алматинская	12	35	84

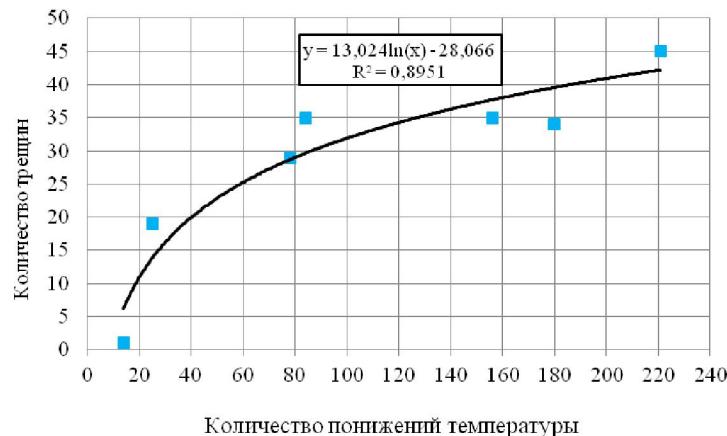


Рисунок 22. Зависимость количества температурных трещин от количества понижений температуры до  $-18^{\circ}\text{C}$  и ниже на участках автомобильных дорог, расположенных в разных регионах (Костанайской, Актюбинской, Акмолинской и Кызылординской областях) Казахстана

Следует подчеркнуть, что рассмотренные участки автомобильных дорог расположены в разных частях республики с разными климатическими условиями, в которых суровость и продолжительность зимних периодов разные. Участки дороги имеют разную продолжительность (от 1 года до 12 лет) эксплуатации. Среднее количество температурных трещин на асфальтобетонном покрытии (1-45 шт/км) и количество критических понижений температуры воздуха (14-221) также сильно отличаются. Земляное полотно на участках дорог устроено из разных грунтов – песков мелких и пылеватых, супесей пылеватых. Число слоев основания дорожной одежды (6 и 7), толщины этих слоев и материалы, из которых они устроены, не одинаковы. Материалы верхнего слоя покрытия (горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон и щебеночно-мастичный асфальтобетон) и толщины обоих слоев асфальтобетонного покрытия (5-6 см и 7-12 см соответственно) также разные. Несмотря на указанные выше и другие различия в конструкциях, асфальтобетонных покрытиях, погодно-климатических и других условиях, получена хорошая корреляционная зависимость среднего количества температурных трещин от количества критических понижений температуры воздуха.

Таким образом, на основе результатов анализа количества температурных трещин на асфальтобетонных покрытиях участков автомобильных дорог, расположенных в разных климатических условиях, имеющих разную продолжительность эксплуатации и конструктивные особенности, установлена неизвестная ранее закономерность увеличения количества температурных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильных дорог, заключающаяся в том, что среднее количество температурных трещин увеличивается пропорционально логарифму количества понижений температуры воздуха до первой критической температуры асфальтобетонного покрытия и ниже.

На рисунке 23 представлены графики зависимостей, показанных на рисунках 15-17 и 22, в полулогарифмических координатах, а в таблице 9 приведены коэффициенты уравнения (5) и значения показателя достоверности для участков дорог. Хорошо видно, что наибольшая скорость увеличения количества температурных трещин получена для участка 3 автомобильной дороги «Астана-Щучинск», а наименьшая скорость – для группы участков автомобильных дорог, расположенных в разных регионах республики. Для всех рассмотренных участков автомобильных дорог зависимость (5) получена с высокой степенью достоверности ( $R^2 = 0,87-0,94$ ) и в полулогарифмических координатах зависимость между средним количеством температурных трещин и количеством критических понижений температуры воздуха характеризуется постоянной скоростью  $b$ .

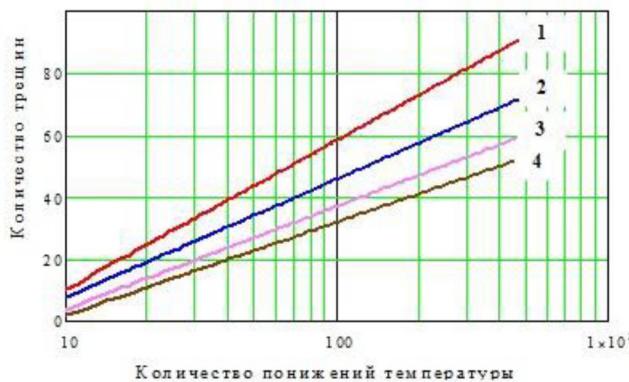


Рисунок 23. Зависимость среднего количества температурных трещин от количества критических понижений температуры воздуха: 1 - участок 3; 2 - участок 4; 3 - участок 2; 4 - группа участков

Таблица 9. Коэффициенты корреляционной зависимости  $N_T = a + b \cdot \ln(N_{cr1})$

Автомобильная дорога	Коэффициенты		$R^2$
	$a$	$b$	
Астана-Шучинск участок 2	-29,17	14,37	0,90
Астана-Шучинск участок 3	-37,77	20,83	0,87
Астана-Шучинск участок 2	-30,66	16,62	0,94
Автомобильные дороги разных регионов	-28,07	13,02	0,90

Продифференцировав уравнение (5) по аргументу  $N_{cr1}$ , получим следующего вида уравнение для изменения скорости количества температурных трещин ( $R_{NT}$ ) в зависимости от количества критических понижений температуры воздуха:

$$R_{NT} = b \cdot \frac{1}{N_{cr1}}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) видно, что скорость растрескивания асфальтобетонного покрытия обратно пропорциональна количеству критических понижений температуры и с увеличением последнего быстро убывает, что наглядно показано на рисунке 24. Следует заметить, что в отличие от рисунка 23, на рисунке 24 ось абсцисс представлена в арифметических координатах. Из указанного рисунка также видно, что с увеличением  $N_{cr1}$  скорости растрескивания всех рассмотренных участков становится мало отличающимися. Так, с достаточной точностью для практического использования можно скорость растрескивания при  $N_{cr1} \geq 70$  для участков 2, 4 и группы участков автомобильных дорог, расположенных в разных регионах республики, принять одинаковой. Это свойство скорости растрескивания в дальнейшем может быть использовано при нормировании предельно допустимого количества температурных трещин на дорожном асфальтобетонном покрытии.

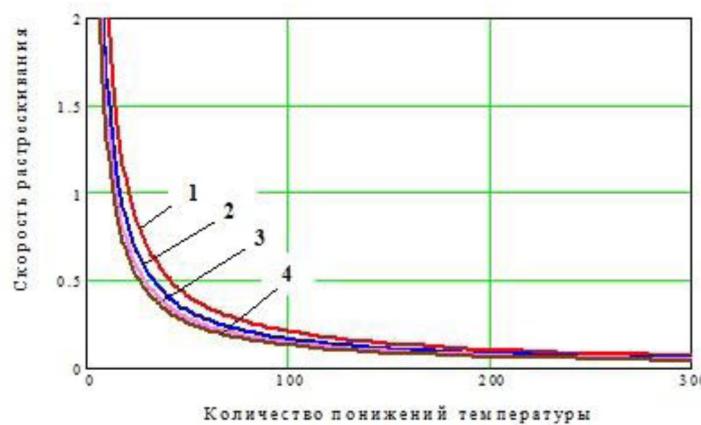


Рисунок 24. Изменение скорости появления температурных трещин: 1 - участок 3; 2 - участок 4; 3 - участок 2; 4 - группа участков

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время отсутствуют надежные модели появления и распространения температурных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги.
2. В холодный период при понижении температуры до определенного значения на асфальтобетонном покрытии сначала появляется первая температурная трещина, и число трещин в последующем увеличивается.
3. Установлена ранее неизвестная закономерность увеличения количества трещин, заключающаяся в том, что среднее количество температурных трещин увеличивается пропорционально логарифму количества понижений температуры до первой критической температуры асфальтобетонного покрытия и ниже.
4. Однородность распределения трещин по длине участка автомобильной дороги увеличивается с увеличением их количества. Поэтому чем больше длина участка дороги, на котором определяются их средние покилометровые количества, тем результат определения надежнее.
5. Скорость температурного растрескивания асфальтобетонного покрытия обратно пропорциональна количеству критических понижений температуры и с увеличением последнего быстро уменьшается, что в дальнейшем может быть учтено при нормировании предельно допустимого количества температурных трещин.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Modeling of asphalt concrete. Edited by Prof. Y.R. Kim. ASCE Press. McGraw Hill Construction. 2009, 482 p.
- [2]. The Asphalt Handbook. MS-4. 7<sup>th</sup> Edition. Asphalt Institute. 2007. – 788 p.
- [3]. Teltayev B.B. Evaluation of low temperature cracking indicators of hot mix asphalt pavement. International Journal of Pavement Research and Technology. 2014. No. 5, p. 343-351.
- [4]. Teltayev B., Kaganovich Ye., Amirkayev Ye. Evaluation of low temperature stability of bitumen and hot mix asphalt pavement. 12<sup>th</sup> International Society of Asphalt Pavement Conference on Asphalt Pavements. June 1-5, 2014. Program and Abstracts. Raleigh, North Carolina, USA, 2014. P. 52.
- [5]. Телтаев Б.Б. Закономерности самоорганизации низкотемпературного растрескивания дорожного асфальтобетонного покрытия //Доклады НАН РК. 2015. № 4. – С. 40-65.
- [6]. Сюни Г.К. О причинах образования температурных трещин на городских асфальтобетонных покрытиях и мерах их предупреждения. – Киев: Госстройиздат, 1955. – 23 с.
- [7]. Monismith C.L., Secor G.A., Secor K.E. Temperature induced stresses and deformations in asphalt concrete. Proceedings of the Asphalt Paving Technologists. Vol. 34. 1965, pp. 248-285.
- [8]. Shen B.W., Kirkner D.J. Thermal cracking of viscoelastic asphalt-concrete pavement. Journal of engineering mechanics. July 2001, p. 700-709.
- [9]. Hiltunen D.R., Roque R. A mechanistic-based prediction model for thermal cracking of asphalt concrete pavement. Journal of the Association of asphalt paving technologists, vol 63, 1994, p.81-108.
- [10]. Amarasinghe A., Grenfell J. Numerical modeling of thermal cracking of pavements. International journal of pavement research and technology. Vol. 8, No. 2, March 2015, p. 85-93.
- [11]. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. Part 3. Design Analysis. Chapter 3. Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. ARA, Inc., ERES Consultants Division. Champaign, Illinois, 2004, 113 p.
- [12]. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Document. Appendix HH: Field Calibration of the Thermal Cracking Model. ARA, Inc., ERES Consultants Division. Champaign, Illinois, 2003, 143 p.
- [13]. Телтаев Б.Б. К нормированию количества низкотемпературных трещин на асфальтобетонном покрытии //Вестник КаздорНИИ. 2012. № 3-4. - С. 18-30.
- [14]. Телтаев Б.Б., Каганович Е.В. Учет климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей //Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. № 2. – С. 17-20.
- [15]. Teltayev B.B., Kaganovich E.V. Bitumen and asphalt concrete requirements improvement for the climatic conditions of The Republic of Kazakhstan. Proceedings of the XXIVth World Road Congress. Mexico. 2011.
- [16]. Cristison J.T., Murray D.W., Anderson K.O. Stress prediction and low temperature fracture susceptibility of asphaltic concrete pavements. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1972, vol.41, p. 494-523.

## REFERENCES

- [1]. Modeling of asphalt concrete. Edited by Prof. Y.R. Kim. ASCE Press. McGraw Hill Construction. 2009, 482 p. (in Eng.).
- [2]. The Asphalt Handbook. MS-4. 7<sup>th</sup> Edition. Asphalt Institute. 2007. – 788 p. (in Eng.).
- [3]. Teltayev B.B. Evaluation of low temperature cracking indicators of hot mix asphalt pavement. International Journal of Pavement Research and Technology. 2014. No. 5, p. 343-351. (in Eng.).
- [4]. Teltayev B., Kaganovich Ye., Amirkayev Ye. Evaluation of low temperature stability of bitumen and hot mix asphalt pavement. 12<sup>th</sup> International Society of Asphalt Pavement Conference on Asphalt Pavements. June 1-5, 2014. Program and Abstracts. Raleigh, North Carolina, USA, 2014. P. 52.

Abstracts. Raleigh, North Carolina, USA, 2014. P. 52. (in Eng.).

[5]. Teltayev B.B. Self-organization laws of road asphalt pavement low temperature cracking. Reports of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. No. 302. 2015, p. 40-65. (in Russ.).

[6]. Syuni G.K. About reasons of temperature cracking on urban asphalt pavements and ways of its prevention. Kiev, Gosstroyzdat, 1955. – 23 p. (in Russ.).

[7]. Monismith C.L., Secor G.A., Secor K.E. Temperature induced stresses and deformations in asphalt concrete. Proceedings of the Asphalt Paving Technologists. Vol. 34. 1965, pp. 248-285. (in Eng.).

[8]. Shen B.W., Kirkner D.J. Thermal cracking of viscoelastic asphalt-concrete pavement. Journal of engineering mechanics. July 2001, p. 700-709. (in Eng.).

[9]. Hiltunen D.R., Roque R. A mechanistic-based prediction model for thermal cracking of asphalt concrete pavement. Journal of the Association of asphalt paving technologists, vol 63, 1994, p.81-108. (in Eng.).

[10]. Amarasiri A., Grenfell J. Numerical modeling of thermal cracking of pavements. International journal of pavement research and technology. Vol. 8, No. 2, March 2015, p. 85-93. (in Eng.).

[11]. Gruide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. Part 3. Design Analysis. Chapter 3. Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. ARA, Inc., ERES Consultants Division. Champaign, Illinois, 2004, 113 p. (in Eng.).

[12]. Gruide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Document. Appendix HH: Field Calibration of the Thermal Cracking Model. ARA, Inc., ERES Consultants Division. Champaign, Illinois, 2003, 143 p. (in Eng.).

[13]. Teltayev B.B. To developing the normative number of low temperature cracks in asphalt pavement. Bulletin of Kazakhstan highway research institute. 2012. No. 3-4, p. 18-30. (in Russ.).

[14]. Teltayev B.B., Kaganovich E.V. Accounting of climatic conditions of operation in choosing of bitumen for hot mix asphalt. Science and technique in road industry. 2008. No. 2, p. 17-20. (in Russ.).

[15]. Teltayev B.B., Kaganovich E.V. Bitumen and asphalt concrete requirements improvement for the climatic conditions of The Republic of Kazakhstan. Proceedings of the XXIVth World Road Congress. Mexico. 2011. (in Eng.).

[16]. Cristison J.T., Murray D.W., Anderson K.O. Stress prediction and low temperature fracture susceptibility of asphaltic concrete pavements. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1972, vol.41, p. 494-523. (in Eng.).

## АВТОМОБИЛЬ ЖОЛЫНЫң АСФАЛЬТБЕТОН ЖАМЫЛГЫСЫНДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ЖАРЫҚТАРДЫҢ САНЫНЫң ҚӨБЕЮ ЗАҢДЫЛЫҒЫ

Б.Б.Телтаев

Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

[bagdatbt@yahoo.com](mailto:bagdatbt@yahoo.com)

**Тірек сөздер:** Асфальтбетон жол жамылғысы, температуралық жарық, бірінші критикалық температура, температуралық жарықтар санының қобеюі, жамылғының жарышу жылдамдығы.

**Аннотация:** Бұл жұмыста автомобиль жолдарының асфальтбетон жамылғысында температуралық жарықтардың пайда болуы мен қобенінің белгілі модельдері талданы. Канаданың Алберта провинцияларындағы және «Астана-Шучинск» автомобиль жолының белгілінің асфальтбетон жамылғыларында жарықтардың пайда болуын зерттеу нәтижелерін талдау негізінде сүйкі кезде температура белгілі бір мәнге дейін төмендегендеге асфальтбетон жамылғыда алдымен бірінші температуралық жарықтың пайда болатыны және одан әрі жарықтардың санының қебейтегін анықталды. Сондай-ақ Қазақстанның әртүрлі климаттың аймақтарында, пайдаланудағы ұзактығы әртүрлі және құрылымдың ерекшеліктері бар автомобиль жолы белгілітерінің асфальтбетон жамылғыларындағы температуралық жарықтарды зерттеу нәтижесі бойынша келесі заңдыштық табылды: температуралық жарықтардың орташа саны ауа температурасының асфальтбетон жамылғының бірінші критикалық температурасына дейін және одан да төмен мәнге дейін сууының (төмендеуінің) жалпы санының логарифміне пропорционал қобейеді. Температуралық жарықтардың пайда болу жылдамдығы ауа температурасының критикалық төмендеулерінің санына кері пропорционал өзгереді және оның саны өсken сайын тез кемиді. Автомобиль жолы белгілітерінің ұзындығы бойына температуралық жарықтардың белгілінің біркелкісіздігі үлкен. Жол белгілінің ұзындығы қапша үлкен болса, жолдың бір шақырымьына келетін жарықтардың орташа санының анықтау соңша сенімді болады.

Сведения об авторе:

Телтаев Багдат Бурханбайұлы – доктор технических наук, профессор, президент АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт».

Адрес: Республика Казахстан, 050061, г. Алматы, ул. Нурпесова, 2а, АО «КаздорНИИ» e-mail: [bagdatbt@yahoo.com](mailto:bagdatbt@yahoo.com)

Поступила 11.09.2015 г.