



# РОСДОРНИИ



Исследование соответствия фактических PG-характеристик битумных вяжущих требуемым PG-характеристикам для ряда субъектов Российской Федерации

Заведующий лабораторией ОЦК  
Славцкий М.А.

# Определение требований к битумным вяжущим в зависимости от климатических параметров и условий движения

Работы по определению требований к битумному вяжущему по климатическим условиям заданного региона и в зависимости от параметров движения выполняли по двум параллельным подходам:

1. С использованием предварительного национального стандарта ПНСТ 397-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Метод определения температурных условий эксплуатации конструктивных слоев дорожных одежд»
2. С использованием данных СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология» и нормативных положений стандарта AASHTO R 29 «Порядок определения марки с учетом температурного диапазона эксплуатации»

*Результатом работы является требуемая PG-характеристика битумного вяжущего для верхнего слоя покрытия для заданного региона для различных условий движения*



# Основные сходства и различия в используемых методиках для определения требуемых по климатическим условиям PG-характеристик битумного вяжущего

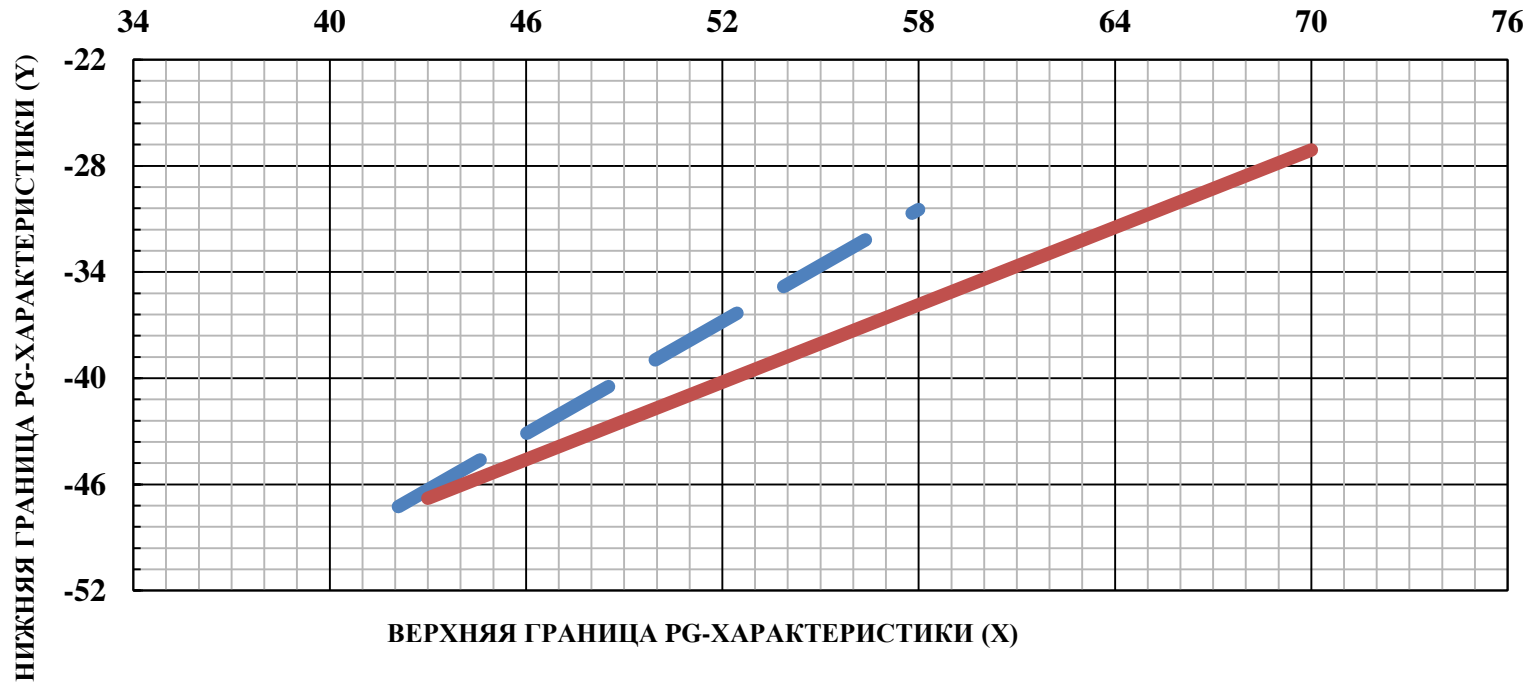
	ПНСТ 397-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Метод определения температурных условий эксплуатации конструктивных слоев дорожных одежд»	AASHTO R 29 «Порядок определения марки с учетом температурного диапазона эксплуатации» с использованием данных СП 131.13330.2018
Надежность определения минимальных и максимальных температур	0,98	0,98
Период наблюдений	используются климатические данные за 15-20 летний период наблюдений, как правило, после 2000 года	используются климатические данные за 80-120 летний период наблюдений до 2000 года
Количество метеостанций	используются данные с меньшего количества метеостанций, имеющих индекс всемирной метеорологической организации (164 точки для рассмотренных в 2020 году субъектов РФ)	используются данные с большего количества ранее существовавших метеостанций (196 точек для рассмотренных в 2020 году субъектов РФ)
Корректировка максимальной расчетной температуры с учетом транспортных нагрузок	в соответствии с ГОСТ Р 58400.3 с максимальным значением корректировки до 17,7°C	максимальное значение корректировки до 12°C



# Основные сходства и различия в используемых методиках для определения требуемых по климатическим условиям PG-характеристик битумного вяжущего

Линейные аппроксимации взаимосвязи верхней и нижней границ требуемых PG-характеристик для рассмотренных в 2020 субъектов Российской Федерации:

1. По методике, основанной на AASHTO R 29 и СП 131.13330.2018 и
2. ПНСТ 397





## Основные сходства и различия в используемых методиках для определения требуемых по климатическим условиям PG-характеристик битумного вяжущего

- 1. Обе методики близко друг к другу описывают зависимости между верхним и нижним пределами требуемой PG-характеристики для рассмотренных территорий РФ. Однако существуют и различия, связанные, в первую очередь с использованными периодами наблюдения за климатом.*
- 2. По методике AASHTO R 29 и СП 131.13330.2018 средний диапазон требуемых PG характеристик составляет 88,9 град (от +51,8 ÷ -37,1).*
- 3. По методике ПНСТ 397 средний диапазон требуемых PG характеристик составляет 93,0 град (от +54,8 ÷ -38,2), что на 4,4% превышает диапазон, полученный по методике AASHTO R 29 и СП 131.13330.2018.*
- 4. В любом случае, для рассмотренных регионов Российской Федерации характерны весьма жёсткие требования к битумным вяжущим для устройства асфальтобетонных покрытий: верхняя граница для лёгких (стандартных) условий движения 52÷58 град., соответственно для высокоинтенсивных дорог верхняя граница составляет до 64÷76 град., при этом нижняя граница в среднем составляет -40 град.*



## Количество проб битумных вяжущих и перечень субъектов РФ, для которых в 2020 году были определены фактические PG-характеристики

Количество проб битумных вяжущих, представленных субъектами РФ и испытанных в лаборатории ФАУ «РОСДОРНИИ»	Наименование субъекта РФ
4	Амурская область
3	Белгородская область
1	Брянская область
3	Вологодская область
1	Калужская область
2	Красноярский край
1	Магаданская область
2	Мурманская область
5	Республика Башкортостан
1	Республика Бурятия
1	Республика Крым
4	Республика Марий Эл
1	Республика Мордовия
1	Республика Удмуртия
9	Саратовская область
1	Смоленская область
1	Челябинская область

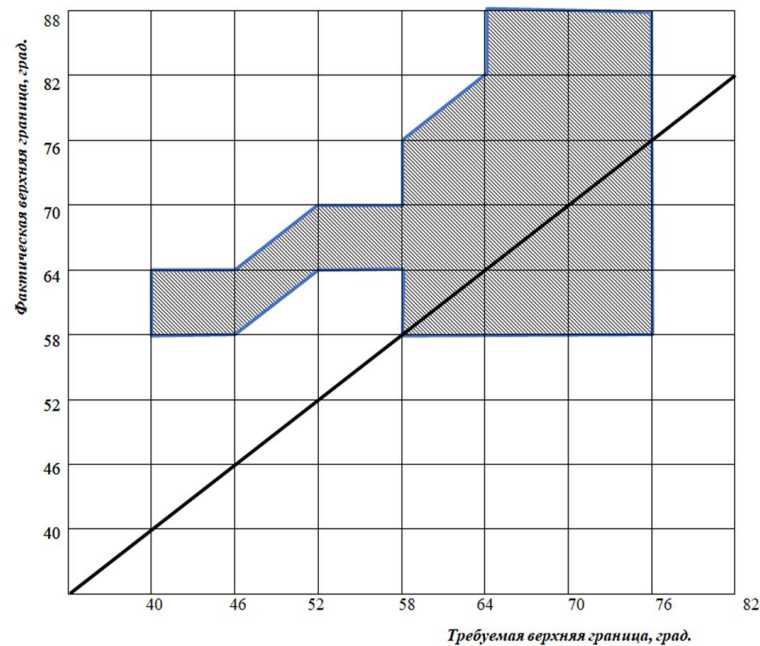
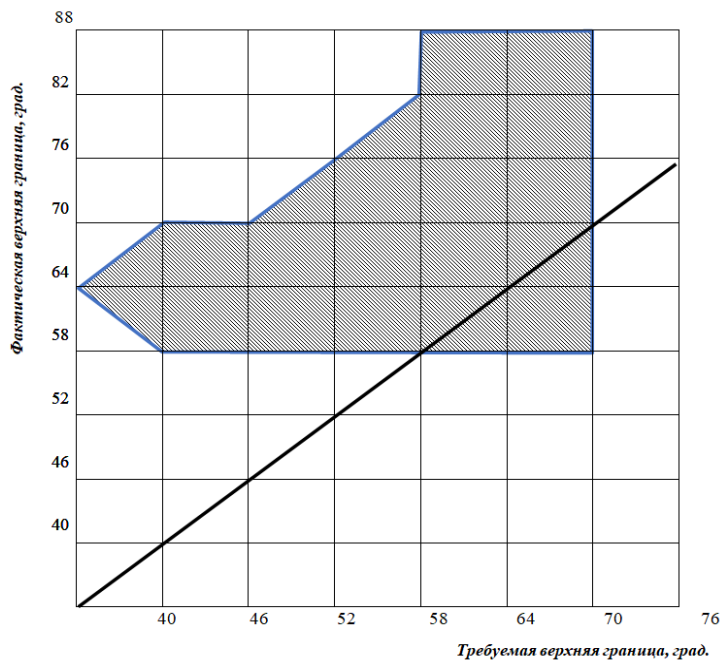


# Результаты оценки соответствия свойств битумных вяжущих климатическим условиям их применения для различных субъектов РФ

	<b>ПНСТ 397-2020</b>	<b>AASHTO R 29 «Порядок определения марки с учетом температурного диапазона эксплуатации» с использованием данных СП 131.13330.2018</b>
<b>Климатические условия</b>	Наиболее благоприятные (мягкие) для рассматриваемого региона	
<b>Условия движения</b>	Легкие и тяжелые условия движения (по ПНСТ 397-2020 и ГОСТ Р 58400.3-2019)	Режимы движения при средней скорости движения более 70 км/ч и при возможной скорости движения ниже 20 км/ч
<b>Верхняя граница PG-характеристики</b>	Соответствует 17 % (7 из 41 пробы) Не соответствует 83 % (34 из 41 пробы)	Соответствует 80 % (33 из 41 пробы) Не соответствует 20 % (8 из 41 пробы)
<b>Нижняя граница PG-характеристики</b>	Соответствует 10 % (4 из 41 пробы) Не соответствует 90 % (37 из 41 пробы)	Соответствует 32 % (13 из 41 пробы) Не соответствует 68 % (28 из 41 пробы)



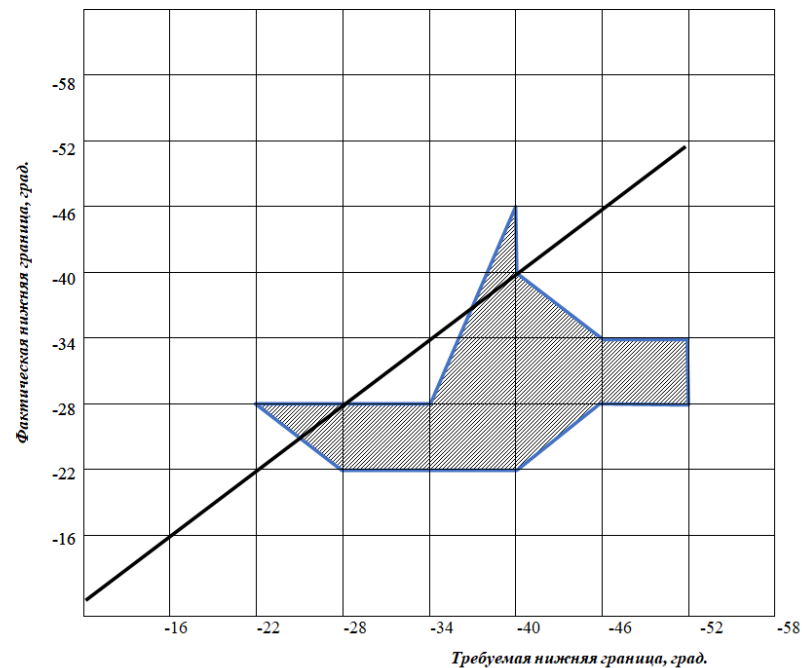
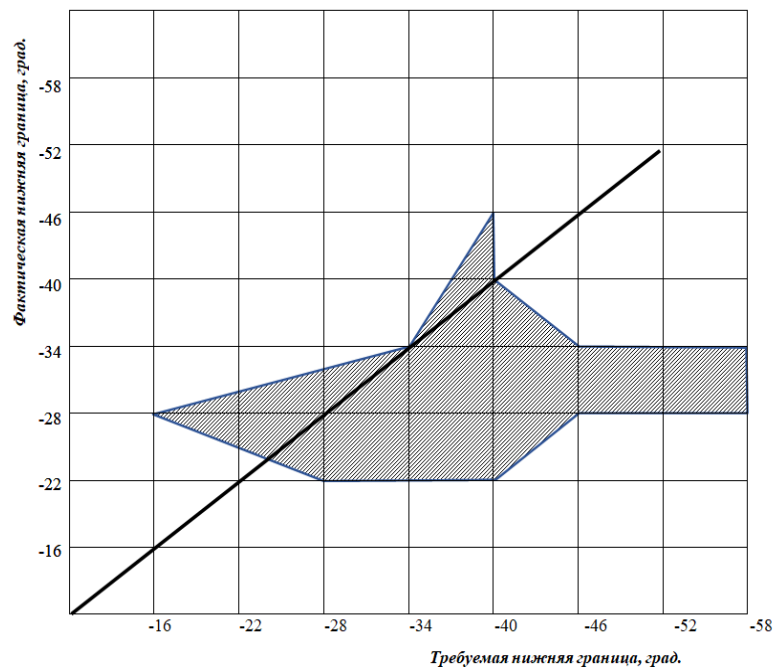
# Результаты оценки соответствия свойств битумных вяжущих климатическим условиям их применения для различных субъектов РФ



Соответствие верхней границы фактической PG-характеристики исследованных проб битумных вяжущих требуемой PG-характеристике  
Слева - определенное по методике, основанной на СП 131.13330.2018 и стандартах AASHTO  
Справа - определенное по ПНСТ 397-2020 и ГОСТ Р 58400.3-2019



# Результаты оценки соответствия свойств битумных вяжущих климатическим условиям их применения для различных субъектов РФ



Соответствие нижней границы фактической PG-характеристики исследованных проб битумных вяжущих требуемой PG-характеристике

Слева – определенное по методике, основанной на СП 131.13330.2018 и стандартах AASHTO

Справа – определенное по ПНСТ 397-2020 и ГОСТ Р 58400.3-2019



*В ФАУ «РОСДОРНИИ» в 2020 году была проведена работа по исследованию соответствия фактических PG-характеристик битумных вяжущих требуемым PG-характеристикам. Проведенное для 17-ти субъектов РФ исследование для 41 образца битумных вяжущих показывает следующее:*

- *В зависимости от используемых нормативных документов и подходов к определению требуемых PG-характеристик, соблюдение требований к нижнему пределу обеспечено для 10-32% проб, а соблюдение требований к верхнему пределу PG-характеристики обеспечено в диапазоне 17-80% проб.*
- *Иначе говоря, исследованные фактически применяемые битумные вяжущие, как правило, не соответствуют климатическим требованиям для нижнего предела и могут не соответствовать требованиям для верхнего предела PG-характеристик.*



*Имеющиеся в настоящее время нормативно-технические документы не позволяют оценить влияние конкретных свойств асфальтобетонов на срок появления потребности в последующем ремонте.*

*Несмотря на отсутствие подходов, позволяющих в строгом смысле прогнозировать фактические сроки службы покрытий, существует возможность выработки методов оценки этого параметра.*



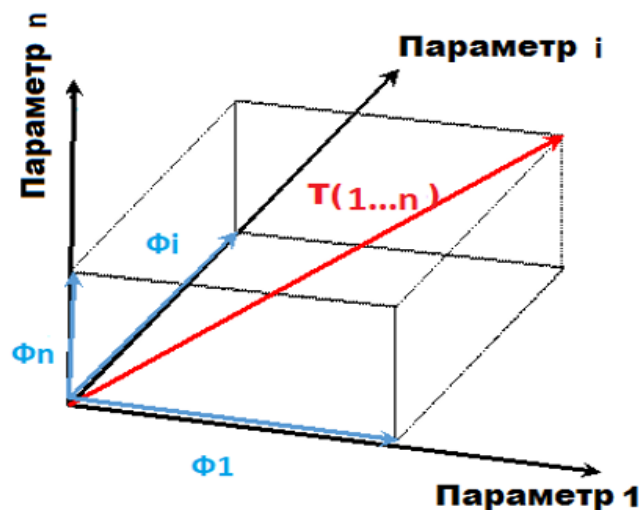
## Независимые факторы, влияющие на срок наступления последующего ремонта

Описание фактора	Параметр, позволяющий оценить влияние фактора	Примечание
Капитальность конструкции дорожной одежды	Требуемый модуль дорожной одежды	Применяется на стадии проектирования дорожной одежды
Параметры движения	Суммарное число приложений расчётной нагрузки	
Начальная прочность	Начальный модуль упругости (жесткости)	Могут быть применены для оценки отношения сроков наступления последующего ремонта для различных асфальтобетонов $n = 6$
Сопротивление циклическим знакопеременным нагрузкам, усталостная прочность	Количество циклов до падения начального модуля в 2 раза	
Сопротивление износу	Истираемость асфальтобетона	
Стойкость к колееобразованию	Глубина колеи	
Морозоустойчивость, связанная с трещинообразованием и выкрашиванием при отрицательных температурах	Нижняя PG граница вяжущего	
Морозоустойчивость, связанная с процессами замерзания-оттаивания воды в порах	Коэффициент водостойкости	
Построечное качество	Диапазон фактических воздушных пустот	Может быть применён на стадии приёмки





# Подход к оценке зависимости срока наступления потребности в последующем ремонте от конкретных свойств асфальтобетонов для нескольких независимых факторов



$$T_{(1...n)} \sim \sqrt[n]{\Phi_1 * \dots * \Phi_n}$$

$n$  – количество независимых факторов, влияющих на срок наступления потребности в ремонте

Соотношение сроков наступления потребности в последующем ремонте для двух параллельных вариантов подбора состава асфальтобетона:

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt[6]{\frac{\Phi_{11} \times \dots \times \Phi_{16}}{\Phi_{21} \times \dots \times \Phi_{26}}}$$

$n=6$  – количество независимых факторов, влияющих на срок наступления потребности в ремонте при сравнении различных асфальтобетонов



# Результаты лабораторных испытаний основных потребительских свойств асфальтобетонов ЩМА 12, подобранных на различных вяжущих при одинаковом гранулометрическом составе

Номер подбора состава ЩМА12, применяемое битумное вяжущее	Результаты испытаний на многократное нагружение		Истираемость асфальтобетона, см <sup>3</sup> , при температуре T = 5,0°C
	Начальный модуль жесткости, МПа	Количество циклов нагружения до падения начального модуля жёсткости на 50%, тыс.циклов, при температуре T = 10,0°C	
Модифицированный битум, PG 70-34, Производитель А	1520	303	14,9
Модифицированный битум, PG 76-34, Производитель Б	1499	645	20,0
Модифицированный битум ПБВ 90 (PG 70-34) Производитель В	1970	304	20,8
Не модифицированный битум, БНД 60/90, производитель А	3197	16,2	29,2
Не модифицированный битум, БНД 60/90, производитель Б	3401	11,4	31,6



## Диапазоны изменчивости основных потребительских свойств асфальтобетонов (различные технологии, различные гранулометрические составы, различные битумные вяжущие)

Параметры асфальтобетона, размерность	Диапазон значений <i>min-max</i>	Мера влияния параметра на оценку срока наступления потребности в последующем ремонте $\sqrt[6]{\frac{max}{min}}$
Колееобразование при 60°C, мм	1,0 ÷ 6,0	1,35
Истираемость при 5°C, см <sup>3</sup>	15 ÷ 70	1,21
Значение первоначального модуля жесткости при 10°C, МПа	1100 ÷ 3500	1,29
Количество циклов до падения начального модуля жесткости при 10°C в 2 раза, тыс. циклов	11 ÷ 2346	2,44
Нижняя PG граница вяжущего, °C	-22 ÷ -40	1,10
Коэффициент водостойкости	0,70 ÷ 1,00	1,06



- 1. За счет качества асфальтобетона (качество битумного вяжущего, минеральной части, методологии подбора) фактические межремонтные сроки могут меняться в 6 раз от перехода от наиболее неблагоприятной ситуации к наиболее благоприятной ситуации.*
- 2. Наибольшее влияние на фактические межремонтные сроки может оказывать усталостная прочность (количество циклов до падения начального модуля жесткости в 2 раза), которая определяется, в первую очередь, качеством битумного вяжущего, которое в свою очередь определяется качеством модификации исходного битума.*
- 3. На основании экспериментальной оценки диапазона изменчивости основных потребительских свойств плотных асфальтобетонов установлено, что качество битумного вяжущего отвечает за 45% потенциального увеличения фактических межремонтных сроков, что позволяет увеличивать фактический межремонтный срок до 2,7 раза только за счет выбора битумного вяжущего, более соответствующего климатическим условиям и условиям движения.*





Поскольку верхняя и нижняя PG-характеристики битумного вяжущего отвечают за различные, взаимно независимые механизмы разрушения асфальтобетонного покрытия:

- верхняя - за летние сдвиговые деформации и колееобразование
- нижняя - за зимние трещинообразование и выкрашивание

*Вероятности того, что в течение срока службы появятся климатические условия, превышающие по летним температурам верхнюю требуемую PG-характеристику, или зимние температуры будут ниже нижнего требуемого предела PG, также взаимно независимы.*

Вероятность того, что в течение срока службы  $T$  климатические условия приведут к появлению фактических температур хуже максимальных и минимальных температур, определенных требуемыми пределами PG характеристики битумного вяжущего, определяется по формуле:

$$P_{(T)} = 1 - 0,98^{2T},$$

где: 0,98 - надежность определения максимальных и минимальных температур;  
 $T$  - рассматриваемый срок службы, годы.



В качестве меры несоответствия предлагается использовать соотношение суммарных годовых вероятностей того, что в течение рассматриваемого срока службы асфальтобетонных покрытий на битумных вяжущих – соответствующем и не соответствующем требуемой PG-характеристике – появятся худшие (более жесткие) климатические условия, чем предусмотренные требуемой PG-характеристикой битумного вяжущего:

$$M(T, PG_{\text{тр}}, PG_{\text{ф}}) = \frac{\sum_1^T (1 - N_{\text{ВФ}}^T * N_{\text{НФ}}^T)}{\sum_1^T (1 - 0.98^{2T})}$$

где, T – рассматриваемый срок службы, годы;

$N_{\text{ВФ}}$  – надежность неоявления худших (более жестких) климатических условий для верхнего предела фактической PG-характеристики битумного вяжущего в течение года;

$N_{\text{НФ}}$  – надежность неоявления худших (более жестких) климатических условий для нижнего предела фактической PG-характеристики битумного вяжущего в течение года.



Для республики Мордовия фактическая PG-характеристика представленного на испытание битумного вяжущего составила PG 64-28. При этом требуемая PG-характеристика, определенная по стандартам AASHTO и СП 131.13330.2018 составляет PG 64-34 (при возможности образования заторов).

Надежность непоявления худших (более жестких) климатических условий для нижнего предела фактической PG-характеристики рассматриваемого битумного вяжущего для условий республики Мордовия составит 0,702.

Соответственно, искомая характеристика соотношения суммарных вероятностей появления более жестких климатических условий определяется формулой:

$$M(T, PG_{тр}, PG_{ф}) = \frac{\sum_1^T (1 - 0,98^T * 0,70^T)}{\sum_1^T (1 - 0,98^T * 0,98^T)}$$



# Методика оценки последствий применения битумных вяжущих, не соответствующих климатическим условиям и требованиям движения, на прогнозируемый межремонтный срок

Срок службы покрытия, лет	Накопленная за срок службы суммарная вероятность появления ежегодных климатических условий, худших, чем предусмотрено $PG_{тр}$		Накопленная за срок службы суммарная вероятность появления ежегодных климатических условий, худших, чем предусмотрено $PG_{ф}$	
	годовая	$\Sigma$ годовых	годовая	$\Sigma$ годовых
1	0,04	0,04	0,31	0,31
2	0,08	0,12	0,53	0,84
3	0,11	0,23	0,68	1,52
4	0,15	0,38	0,78	2,30
5	0,18	0,56	0,85	3,15
6	0,22	0,78	0,90	4,05
7	0,25	1,03	0,93	4,98
8	0,28	1,31	0,95	5,93
9	0,30	1,61	0,97	6,90
10	0,33	1,94	0,98	7,88
11	0,36	2,30	0,98	8,86
12	0,38	2,68	0,99	9,85
13	0,41	3,09	0,99	10,84
14	0,43	3,52	0,99	11,83
15	0,45	3,97	0,999	12,83





- Анализ таблицы показывает, что за 15 лет срока службы, асфальтобетон с фактической PG 64-28 накопит в 3,2 раза больше разрушений и деформаций, чем асфальтобетон с PG-характеристикой, соответствующей требуемой для условий республики Мордовия PG 64-34.
- Анализ таблицы также показывает, что на уровень накопленных суммарных разрушений и деформаций, соответствующий накопленному асфальтобетоном на вяжущем с PG 64-34, за период 15 лет, асфальтобетон на вяжущем с PG 64-28 выйдет на 6 год эксплуатации.



Рассмотрим пример определения суммарных вероятностей появления более жестких климатических условий согласно ПНСТ 397.

Для республики Мордовия фактическая PG-характеристика битумного вяжущего составляет PG 64-28. При этом, требуемая PG-характеристика, определенная по ПНСТ 397 составляет PG 76-34.

Соответственно, искомая характеристика соотношения суммарных вероятностей появления более жестких климатических условий составит:

$$M(T, PG_{\text{тр}}, PG_{\text{ф}}) = \frac{\sum_1^T (1 - 0,88^T * 0,738^T)}{\sum_1^T (1 - 0,98^T * 0,98^T)}$$

где: 0,88 - надежность не появления худших (более жестких) климатических условий для верхнего предела фактической PG-характеристики рассматриваемого битумного вяжущего для условий республики Мордовия;

0,738 - надежность не появления худших (более жестких) климатических условий для нижнего предела фактической PG-характеристики рассматриваемого битумного вяжущего для условий республики Мордовия.



# Методика оценки последствий применения битумных вяжущих, не соответствующих климатическим условиям и требованиям движения, на прогнозируемый межремонтный срок

Срок службы покрытия, лет	Накопленная за срок службы суммарная вероятность появления ежегодных климатических условий, худших, чем предусмотрено $PG_{тр}$		Накопленная за срок службы суммарная вероятность появления ежегодных климатических условий, худших, чем предусмотрено $PG_{ф}$	
	годовая	$\Sigma$ годовых	годовая	$\Sigma$ годовых
1	0,04	0,04	0,35	0,35
2	0,08	0,12	0,58	0,93
3	0,11	0,23	0,73	1,66
4	0,15	0,38	0,82	2,48
5	0,18	0,56	0,89	3,37
6	0,22	0,78	0,93	4,30
7	0,25	1,03	0,95	5,25
8	0,28	1,31	0,97	6,22
9	0,30	1,61	0,98	7,20
10	0,33	1,94	0,99	8,19
11	0,36	2,30	0,99	9,18
12	0,38	2,68	0,99	10,17
13	0,41	3,09	0,996	11,17
14	0,43	3,52	0,998	12,17
15	0,45	3,97	0,998	13,17



- Анализ таблицы показывает, что за 15 лет срока службы, асфальтобетон с фактической PG 64-28 накопит в 3,3 раза больше разрушений и деформаций, чем асфальтобетон с PG-характеристикой, соответствующей требуемой для условий республики Мордовия PG 76-34.
- Анализ таблицы также показывает, что на уровень накопленных суммарных разрушений и деформаций, соответствующий накопленному асфальтобетоном на вяжущем с PG 76-34, за период 15 лет, асфальтобетон на вяжущем с PG 64-28 выйдет на 6 год эксплуатации.

