



РОСДОРНИИ

**Методика сопоставительного
прогнозирования ожидаемых сроков
наступления фактической
потребности в ремонтах
асфальтобетонных слоев по
результатам испытаний битумных
вяжущих**

Заведующий лабораторией
Славцкий М.А.

Вопрос оценки ожидаемых фактических межремонтных сроков на стадии проектирования асфальтобетонов имеет особое значение для сравнения вариантов с различной стоимостью и различными свойствами. При наличии информации об увеличении срока службы более дорогого варианта асфальтобетона, по сравнению с более дешевым, по методике приведения разновременных затрат можно определить, какой из данных вариантов является более целесообразным.

Несмотря на отсутствие в существующей дорожной нормативно-технической литературе подходов, позволяющих в строгом смысле прогнозировать фактические сроки службы асфальтобетонных покрытий, существует возможность выработки методов оценки этого параметра, особенно при применении подхода, взаимно сопоставляющего оценки сроков наступления фактической потребности в последующем ремонте для асфальтобетонов, имеющих различные результаты испытаний основных потребительских свойств на стадии проектирования этих асфальтобетонов.



К недостаткам подобной методики, основанной на результатах испытаний основных потребительских свойств асфальтобетонов, следует отнести ее значительную трудоемкость, связанную с необходимостью изготовления в лаборатории значительного количества различных асфальтобетонных образцов и выполнения ряда достаточно долговременных испытаний этих образцов. Вышеприведенное обстоятельство существенно затрудняет возможность практического применения такой методики на стадии проектирования асфальтобетонов.

Результаты исследований показывают, что качество битумного вяжущего отвечает практически за половину потенциального изменения прогнозируемого фактического межремонтного срока службы асфальтобетона и является тем параметром, который имеет наибольшее влияние на срок наступления фактической потребности в ремонте асфальтобетонных слоев. Учитывая, что комплексные современные испытания битумных вяжущих на порядок менее трудоемки и затратны, чем комплексные современные испытания асфальтобетонов, разработка методики сопоставительного прогнозирования ожидаемых сроков наступления фактической потребности в ремонтах асфальтобетонных слоев по результатам испытаний битумных вяжущих позволит включить оценку ожидаемого срока службы в практику выбора битумного вяжущего на стадии проектирования асфальтобетонов. Данное обстоятельство представит дорожникам принципиальную возможность применения более качественных, но и более дорогих битумных вяжущих, а также будет способствовать увеличению фактических межремонтных сроков для асфальтобетонных покрытий.



Предлагаемый подход к сопоставительной оценке сроков наступления потребностей в последующем ремонте в зависимости от результатов лабораторных измерений параметров, описывающих конкретные потребительские свойства планируемых к использованию при производстве асфальтобетона битумных вяжущих, сводится к поиску соотношения средних геометрических для этих параметров при условии их взаимной независимости. Таким образом, при n независимых учитываемых параметрах, соотношение сроков наступления фактической потребности в последующем ремонте для двух вариантов применения битумных вяжущих при проектировании асфальтобетона определяется по формуле:

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt[n]{\frac{\Phi_{11} * \dots * \Phi_{1n}}{\Phi_{21} * \dots * \Phi_{2n}}},$$

где: T_1, T_2 – оценка сроков наступления фактической потребности в последующем ремонте для 1 и 2 вариантов применения битумных вяжущих при проектировании асфальтобетона;

Φ_{1i}, Φ_{2i} – лабораторно определенные значения параметров i для 1 и 2 вариантов применения битумных вяжущих при проектировании асфальтобетона.



№	Фактор, влияющий на фактический срок наступления последующего ремонта	Взаимонезависимые параметры битумного вяжущего, позволяющие оценить влияние рассматриваемых факторов	Параметр битумного вяжущего, определяемый лабораторно
1	Начальная прочность (жесткость) асфальтобетона	Энергия деформации битумного вяжущего	Суммарная энергия деформации битумного вяжущего на участках 0-20 см, 20-40см, дж/см ² при температуре +10°С.
2	Усталостная прочность асфальтобетона	Усталостная характеристика битумных вяжущих после процедур старения RTFOT и PAV	Время или количество циклов испытаний по ГОСТ Р 58400.7 при непрерывном линейном изменении заданной осцилляционной сдвиговой деформации, соответствующей появлению максимального значения напряжения сдвига
3	Устойчивость асфальтобетона к сдвиговым деформациям и разрушениям в теплое время года	Надежность соответствия фактического верхнего предела PG характеристики битумного вяжущего климатическим условиям и условиям движения теплого времени года	Фактическое значение верхнего предела PG характеристики по ГОСТ Р 58400.10
4	Устойчивость асфальтобетона к трещинообразованию и выкрашиванию в холодное время года	Надежность соответствия фактического нижнего предела PG характеристики битумного вяжущего климатическим условиям холодного времени года	Фактическое значение нижнего предела PG характеристики по ГОСТ Р 58400.11



Наименование параметра оценки качества	Диапазон изменчивости min-max	Мера влияния параметра на оценку срока наступления потребности в последующем ремонте $\sqrt[4]{\max/\min}$
Суммарная энергия деформации битумного вяжущего на участках 0-20 см и 20-40 см, Дж/см ² , при температуре +10°C	0,6-2,5	1,43
Время до появления максимального напряжения сдвига при непрерывном линейном увеличении осцилляционной сдвиговой деформации, сек.	40-140	1,37
Надежность соответствия нижнего предела фактической PG характеристики битумного вяжущего климатическим условиям холодного времени года	0,30-0,99	1,35
Надежность соответствия верхнего предела фактической PG характеристики битумного вяжущего климатическим условиям и условиям движения теплого времени года	0,80-0,99	1,05



Соответственно, только за счет качества битумных вяжущих фактически межремонтные сроки асфальтобетонов могут меняться в 2,8 раза при переходе от наиболее низкокачественного (дешевого) битумного вяжущего к наиболее высококачественному (дорогому) битумному вяжущему.



Ранее проведенные испытательно-исследовательской лабораторией ФАУ «РОСДОРНИИ» исследования показали, что усталостная прочность асфальтобетонов, в первую очередь связанная с комплексным качеством битумного вяжущего, является фактором, наиболее влияющим на прогнозируемый срок до возникновения потребности в последующем ремонте асфальтобетонного покрытия. Используемые при проведенных исследованиях методики, основанные на испытании асфальтобетонов, на порядок трудозатратнее и дольше по продолжительности, чем методики, которые использовали бы испытания битумных вяжущих. Вышеприведенные соображения показывают, что существует объективная потребность в определении усталостных характеристик непосредственно битумных вяжущих, без изготовления асфальтобетонных образцов.



ГОСТ Р 58400.7-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения усталостной характеристики» содержит итоговый показатель усталостной характеристики битумного вяжущего, который должен определяться не только в зависимости от лабораторно определяемых характеристик вяжущих, но и от ожидаемой при эксплуатации асфальтобетонных деформации вяжущего, зависящей в свою очередь от структуры покрытия. По состоянию на начало 2022 года нормативная документация, определяющая требования к ожидаемой деформации вяжущего, зависящей от структуры покрытия, отсутствует. Кроме того, в рамках рассматриваемой задачи необходимо иметь возможность сравнения между собой битумных вяжущих вне зависимости от структуры покрытия, в котором будет работать асфальтобетон, который в свою очередь будет изготовлен с применением сопоставляемых битумных вяжущих.

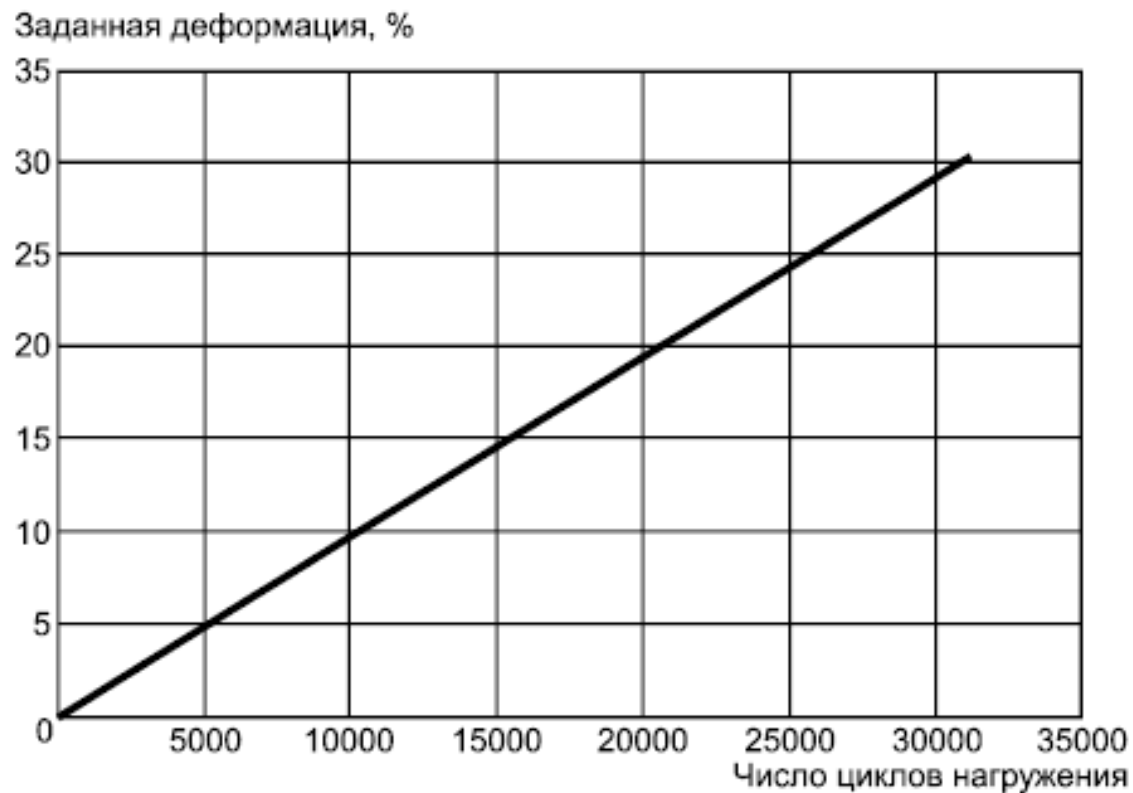


Особенностью испытаний по ГОСТ Р 58400.7 является непрерывное линейное изменение заданной осцилляционной сдвиговой деформации от 0 до 30% в течении 3100 циклов или 310 секунд при проведении испытаний с частотой 10 Гц. Данное обстоятельство позволяет проводить испытание различных битумных вяжущих за одинаковое фиксированное время, но делает неравнозначными заданные сдвиговые деформации по мере прохождения испытания и осложняет сопоставление напряжения сдвига в различные моменты испытаний.

Строго говоря, такое испытание не является испытанием только на усталость битумного вяжущего, а комбинирует усталостное испытание с испытанием до разрушения при увеличении нагрузки.



График зависимости заданной деформации от числа циклов при испытании



В рассматриваемом испытании особенный интерес представляет момент, когда квазиупругие деформации битумного вяжущего, проявляющиеся при росте напряжения сдвига при увеличении нагрузки, сменяются остаточными неупругими деформациями, проявляющимися при падении напряжения сдвига при увеличении нагрузки, т.е. момент, соответствующий максимальному значению напряжения сдвига в ходе испытаний.

Поэтому, в качестве одной из мер усталостной характеристики битумного вяжущего предлагается использовать время испытаний, соответствующее определённому максимальному значению напряжения сдвига (shear stress T , Pa).

$$N_{уст 1} = t(T_{max}), \text{ [сек]}$$

где: $t_{(T_{max})}$ - время с момента начала испытания, соответствующее появлению максимального значения напряжения сдвига T_{max} .



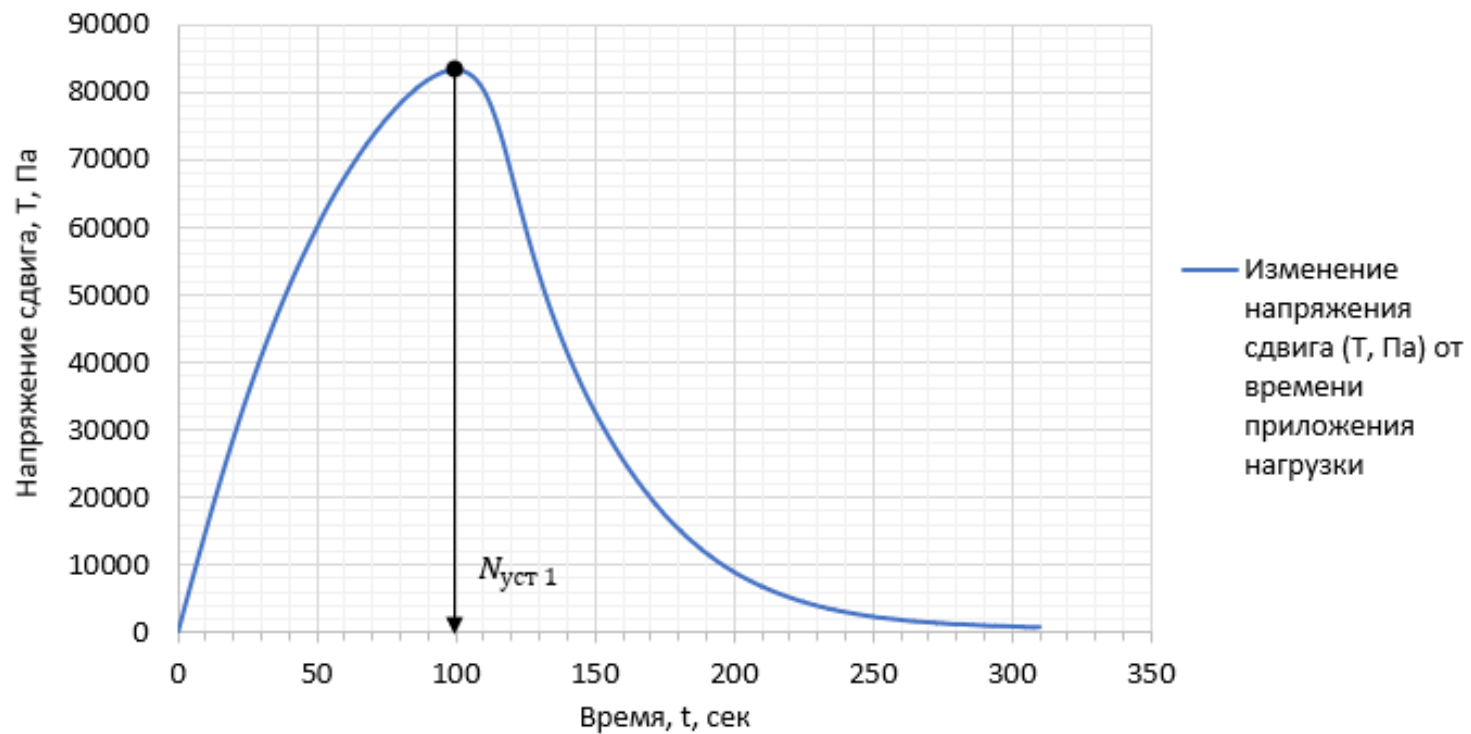


Рис. 1 - пример схемы определения $N_{уст1}$.



Также в качестве меры усталостной характеристики битумного вяжущего предлагается использовать время с начала испытания, соответствующее падению начального максимального комплексного модуля сдвига (complex shear modulus G^* , Па) в два раза.

$$N_{уст\ 2} = t (G_{max}^* \rightarrow 0,5G_{max}^*), \quad [\text{сек}]$$

где: G_{max}^* - максимальный комплексный модуль сдвига во время испытания, МПа



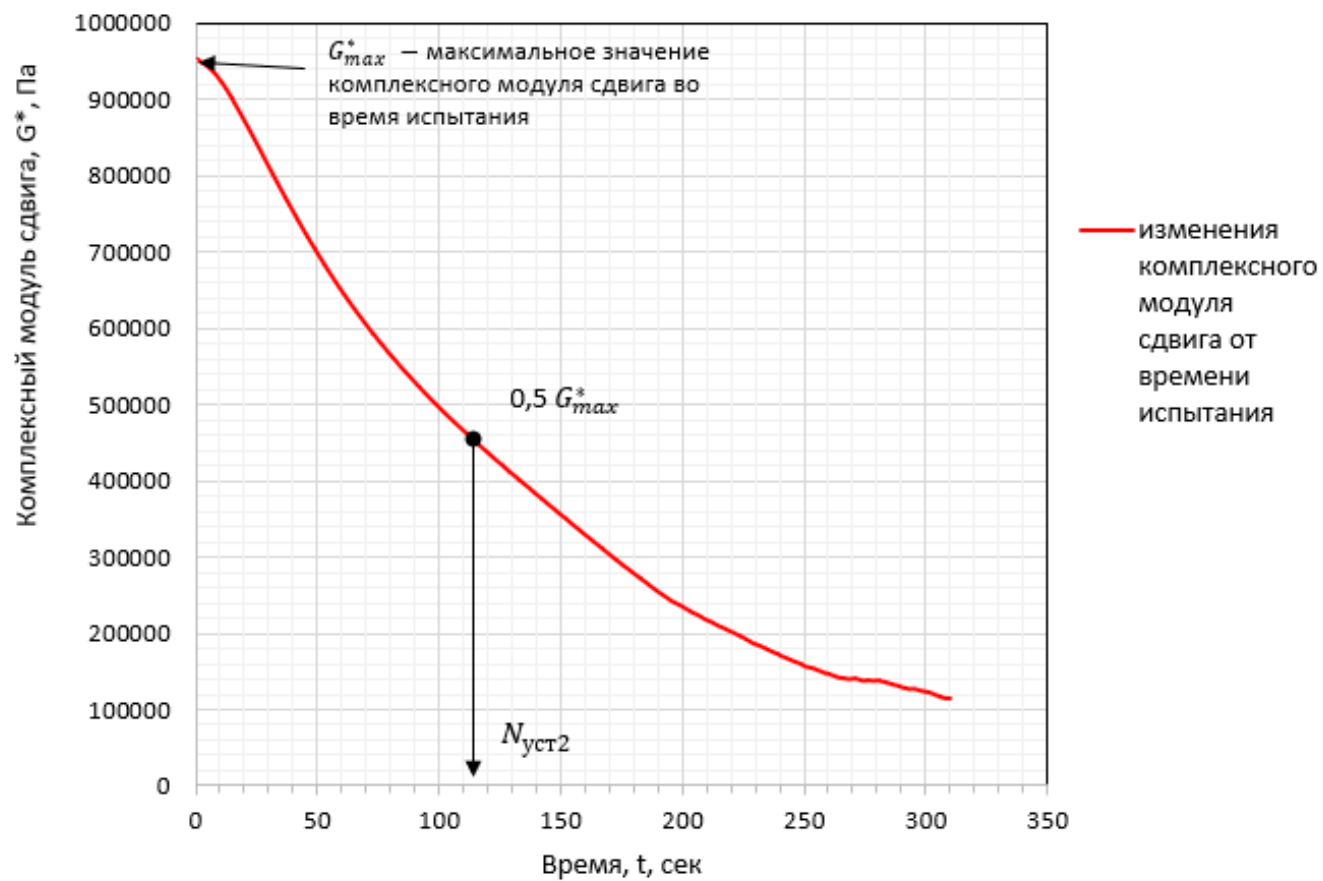


Рис. 2 - схема определения $N_{уст2}$.



№ пробы битумного вяжущего, описание битума	ПБВ	ПБВ	ПБВ	ПБВ	ПБВ	ПБВ
Температура испытания, °С	10°С	10°С	10°С	25°С	25°С	25°С
Описание использованных при подготовке пробы методов старения	Исходный битум	RTFO	PAV	Исходный битум	RTFO	PAV
$N_{уст1}$, [сек] - время с момента начала испытания, соответствующее появлению максимального значения напряжения сдвига T_{max}	85	80	65	142	140	119
$N_{уст2}$, [сек] - время с момента начала испытания, соответствующее значению комплексного модуля сдвига 0,5 от максимального значения комплексного модуля сдвига во время испытаний	58	56	52	107	107	90



№ пробы битумного вяжущего, описание битума	БНД	БНД	БНД	БНД	БНД	БНД
Температура испытания, °С	10°С	10°С	10°С	25°С	25°С	25°С
Описание использованных при подготовке пробы методов старения	Исходный битум	RTFO	PAV	Исходный битум	RTFO	PAV
$N_{уст1}$, [сек] - время с момента начала испытания, соответствующее появлению максимального значения напряжения сдвига T_{max}	63	52	41	100	79	57
$N_{уст2}$, [сек] - время с момента начала испытания, соответствующее значению комплексного модуля сдвига 0,5 от максимального значения комплексного модуля сдвига во время испытаний	53	50	42	108	84	59



Анализ результатов испытаний показывает следующее поведение предложенных мер усталостных характеристик $N_{уст\ 1}$, $N_{уст\ 2}$ для испытанных битумных вяжущих.

Во первых, увеличение работы по старению приводит к падению значений этих усталостных характеристик.

$$N_{уст\ 1,2}^{исходн} > N_{уст\ 1,2}^{RTFO} > N_{уст\ 1,2}^{PAV}$$

Во вторых, модифицированное битумное вяжущее имеет рассматриваемые усталостные характеристики большие, чем для исходного битума.

$$N_{уст\ 1,2}^{мод} > N_{уст\ 1,2}^{исходн}$$

В третьих, снижение температуры испытания приводит к уменьшению рассматриваемых характеристик усталости.

$$N_{уст\ 1,2}^{25^{\circ}C} > N_{уст\ 1,2}^{10^{\circ}C}$$

Соответственно, усталостные характеристики $N_{уст\ 1}$, $N_{уст\ 2}$ могут быть приняты для битумного вяжущего в роли мер сопротивления этого вяжущего знакопеременным увеличивающимся нагрузкам. Битумное вяжущее № 1 с $N_{уст\ 1}^1$ и $N_{уст\ 2}^1$, превосходящими $N_{уст\ 1}^2$ и $N_{уст\ 2}^2$ для битумного вяжущего № 2, лучше сопротивляется (имеет большую усталостную прочность) знакопеременным увеличивающимся нагрузкам, чем битумное вяжущее № 2.



Как показывают исследования 2020–2021 годов испытательно-исследовательской лаборатории ФАУ «РОСДОРНИИ», вероятность одновременного соответствия верхнего и нижнего пределов фактической PG характеристики используемых в дорожном хозяйстве битумных вяжущих требуемой по климатическим условиям и условиям движения PG характеристике составляет около 0,24. Такое низкое значение получено по результатам испытаний 90 образцов битумных вяжущих из 42 субъектов РФ. Соответственно, определение надежности соответствия верхнего и нижнего пределов PG характеристик фактически используемых битумных вяжущих климатическим условиям и условиям движения имеет большее значение для решения рассматриваемой задачи.



Надежность соответствия верхнего предела фактической PG характеристики используемого битумного вяжущего требованиям может быть определена с использованием формулы.

$$Z_{\phi}^T = 2,055 - \frac{P_{g_{TP}}^T - P_{g_{\phi}}^T}{\sqrt{(9,0 + 0,61 * S_T^2)}}$$

- где:
- Z_{ϕ}^T - аргумент функции Лапласа, соответствующий надежности верхнего предела фактической PG характеристики используемого битумного вяжущего;
 - $P_{g_{TP}}^T$ - требуемое по климатическим условиям и условиям движения верхнее значение PG характеристики;
 - $P_{g_{\phi}}^T$ - фактическое верхнее значение PG характеристики используемого битумного вяжущего;
 - S_T - среднеквадратическое (стандартное) отклонение средних максимальных температур теплых периодов различных лет, град.



Надежность соответствия нижнего предела фактической PG характеристики используемого битумного вяжущего может быть определена с использованием формулы.

$$Z_{\phi}^x = 2,055 + \frac{P_{gTP}^x - P_{g\phi}^x}{\sqrt{(4,4 + 0,52 * S_x^2)}}$$

- где:
- Z_{ϕ}^x - аргумент функции Лапласа, соответствующий надежности нижнего предела фактической PG характеристики используемого битумного вяжущего;
 - P_{gTP}^x - требуемое по климатическим условиям и условиям движения нижнее значение PG характеристики;
 - $P_{g\phi}^x$ - фактическое нижнее значение PG характеристики используемого битумного вяжущего;
 - S_x - среднеквадратическое (стандартное) отклонение наиболее низких температур различных лет, град.





РОСДОРНИИ

