

**Харьковский национальный автомобильно-дорожный
университет**

Кафедра технологии дорожно-строительных материалов



Золотарёв В.А.

**ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНОВ**

**IV МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«БИТУМ И ПБВ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 2015»**

г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2015



БИТУМОПОЛИМЕР (~ 2,5 – 3,5 % СБС): ЭЛАСТИЧНОСТЬ ~ 75 – 80 %, ТЕМПЕРАТУРА ХРУПКОСТИ ИСХОДНОГО БИТУМА

ПОЛИМЕРБИТУМ (>4,5 – 5,0 % СБС): ЭЛАСТИЧНОСТЬ ВЫХОДИТ НА ПЛАТО, ТЕМПЕРАТУРА ХРУПКОСТИ РЕЗКО ПАДАЕТ

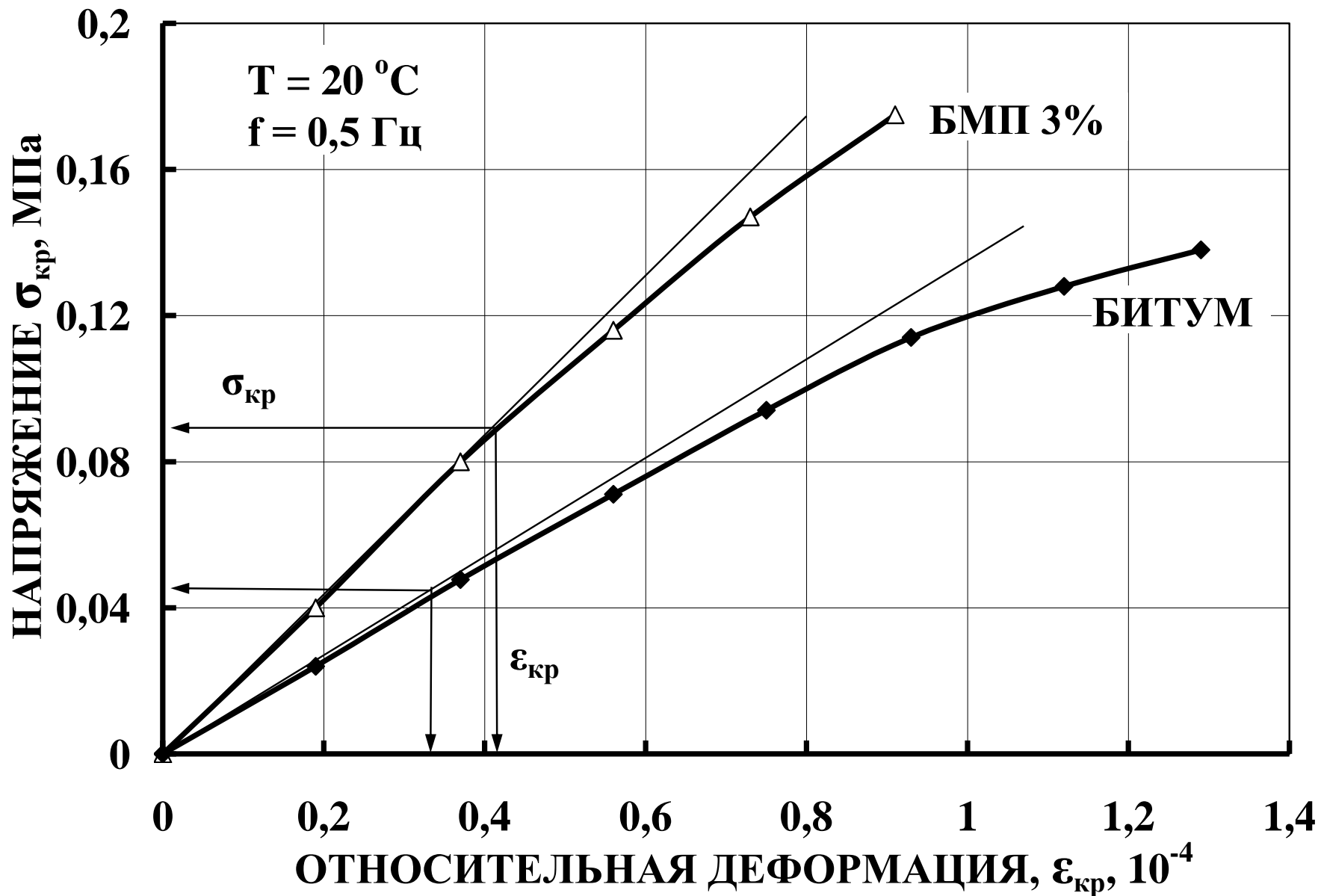
В ПЕРЕХОДНОЙ МЕЖДУ БИТУМОПОЛИМЕРОМ И ПОЛИМЕРБИТУМОМ АКТИВНО УВЕЛИЧИВАЕТСЯ «К_{иШ}»

ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР БИТУМОВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕРА SBS

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ		КРИТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, °С ПРИ СОДЕРЖАНИИ SBS, %							
		0	2	3	4	5	6	7	10
G_{300}^* (П ₂₅ = 79 × 0,1 мм)	1	-10	-10	-12			-17		-29
E_{300} (П ₂₅ = 66 × 0,1 мм)	2	-15		-18			-21		
T_{xp} (П ₂₅ = 116 × 0,1 мм)	3	-19		-20		-19		-28	-37
$G^* / \sin \delta$ (П ₂₅ = 66 × 0,1 мм) (1,1 кПа)	4	69		78			84		

ПО ДАННЫМ: 1 - F.Hadrzynski, Ch. Sush, 2, 4 - J.-P. Planche, C.N. King, 3 - ХАДИ

ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА БИТУМЕ И БИТУМЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ПОЛИМЕРОМ



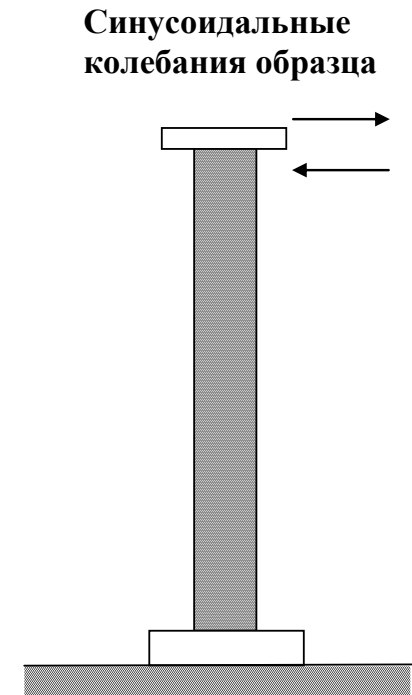
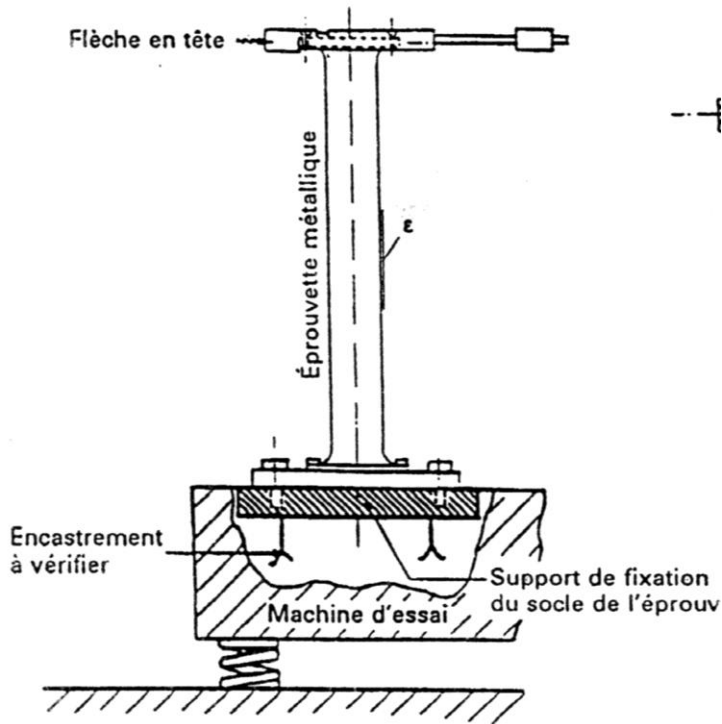
ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ

Essais relatifs aux chaussées

Mesure des caractéristiques rhéologiques
des mélanges hydrocarbonés

ИЗМЕРЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ
МЕТОДОМ СИНУСОИДАЛЬНОГО ИЗГИБА.



**ВИБРОСТЕНД ХАДИ (1968 г.)
(АНАЛОГ ВИБРОСТЕНДА EN 12697-26)**



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Максимальное усилие, развиваемое при стационарном гармоническом режиме - $10 \pm 0,05$ кгс

Максимально возможная амплитуда перемещения консоли – 2,5 мм

Рабочий диапазон частот – 0,005 – 70 мм Точность измерения деформации – 0,002 мм

Диапазон температур – от +50 °С до минус $25 \pm 0,5$ °С Высота балки – 250 мм

Относительная деформация - 8×10^{-6}

Смятие на опорах отсутствует Собственный вес не влияет

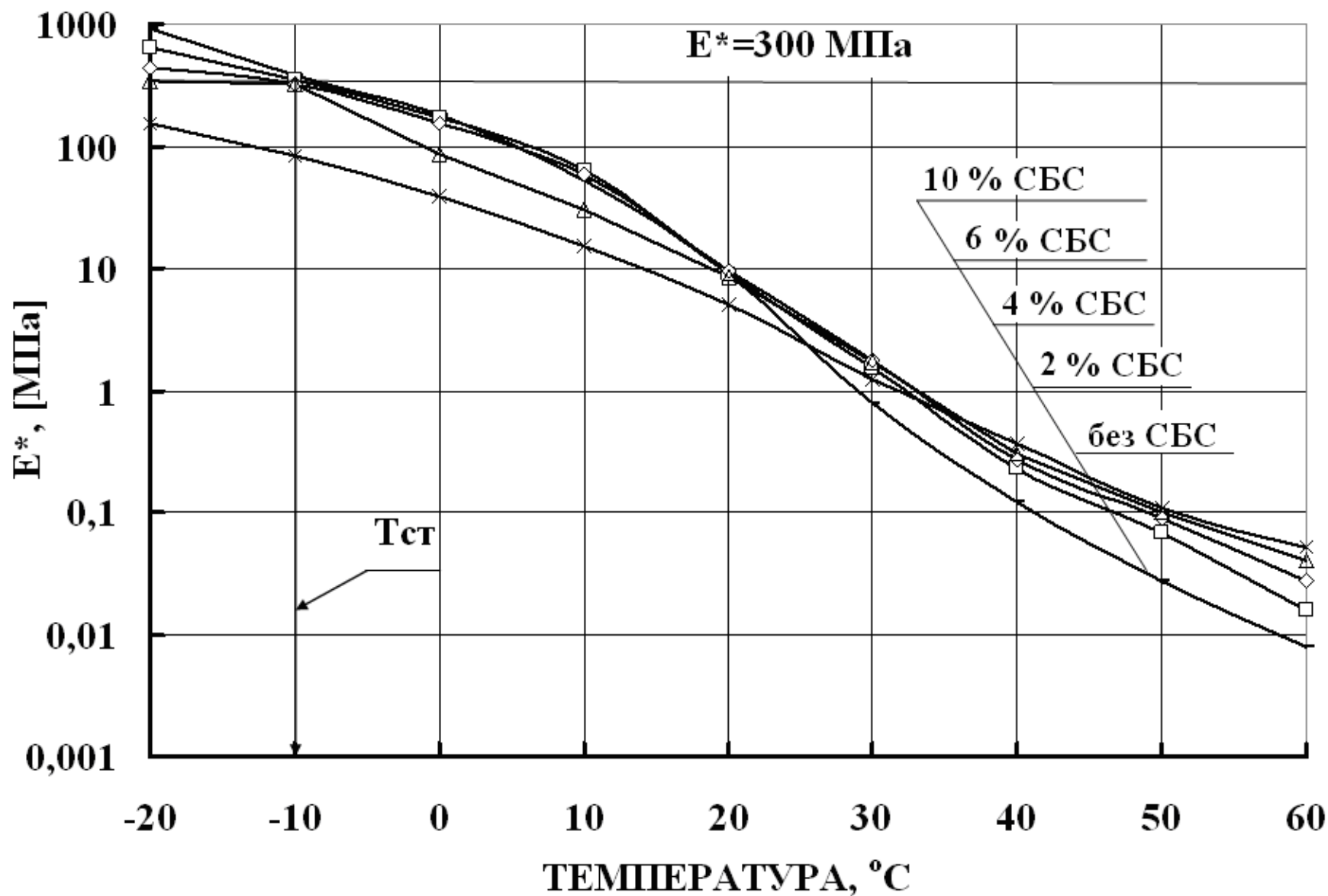
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТО- И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ НА БИТУМАХ С 3 % СБС

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	Т, °С	f, Гц	ИНДЕКС ВЯЖУЩЕГО И ПЕНЕТРАЦИЯ (0,1 ММ)								
			БНД 46	БМП 30	БНД 70	БМП 46	БНД 116	БМП 60	БНД 176	БМП 66	БМП 126
КОМПЛЕКСНЫЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ E^* , $\times 10^3$ МПа	+20	0,5	2,4	<u>2,88</u>	1,86	<u>2,19</u>	1,32	<u>1,86</u>	1,0	<u>1,78</u>	1,15
УСЛОВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА СТЕКЛОВАНИЯ $T_{СТ}$, °С	-	0,01	-12,5	-12,5	-16,5	-16,5	-18,5	-18,5	-22	-22	-24
	-	0,5	-7,5	-7,5	-9,5	-9,5	-11,5	-11,5	-14,5	-14,5	-19
ТЕМПЕРАТУРА ПЕРЕХОДА В ВЯЗКО- ПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ $T_{ВП}$, °С	-	0,01		■	—		×	—	■	—	×
			58	-	51	65	46,5	59	40,5	53,5	45
КРИТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, $\epsilon_{КР} \cdot 10^4$	+20	0,5	2,25	2,5	1,5	2,2	1,25	1,5	0,9	1,5	1,25
КРИТИЧЕСКОЕ НАПРЯ- ЖЕНИЕ, $\sigma_{КР}$, $\times 10^{-2}$ МПа	+20	0,5	14,2	20,0	8,2	14,0	4,4	8,6	2,4	6,4	3,6
СООТНОШЕНИЕ ПО	E^*			1,2		1,18		1,4		1,78	
	$\sigma_{КР}$			1,4		1,7		1,9		2,7	
	$\epsilon_{КР}$			1,1		1,5		1,2		1,7	

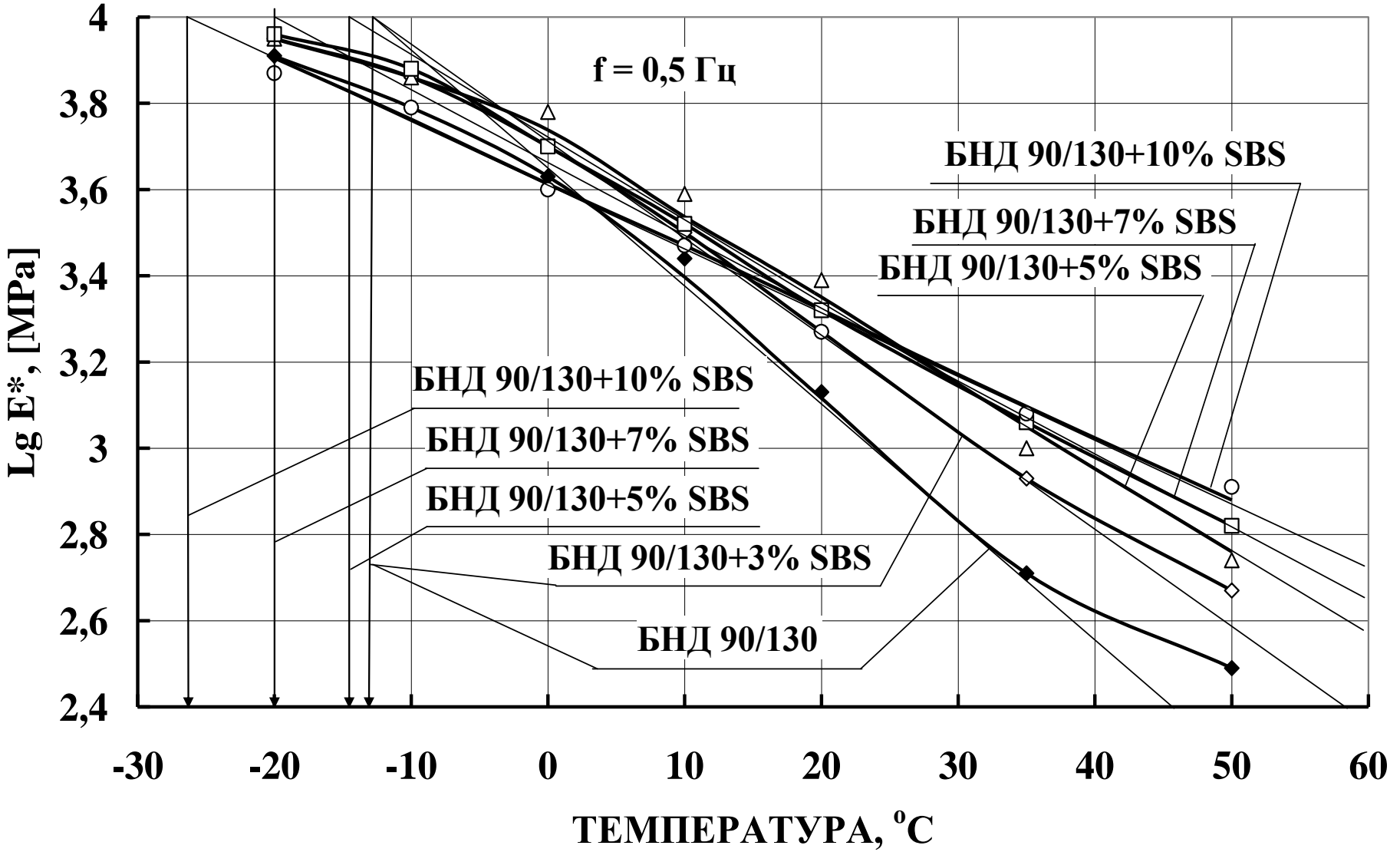
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТО- И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СБС

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	Т, °С	f, Гц	ИНДЕКС ВЯЖУЩЕГО				
			БНД 90/130	БНД 90/130 + 3% СБС	БНД 90/130 + 5% СБС	БНД 90/130 + 7% СБС	БНД 90/130 + 10% СБС
КОМПЛЕКСНЫЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ E^* , $\times 10^3$ МПа	+20	0,5	1,32	1,86	2,46	2,09	1,86
УСЛОВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА СТЕКЛОВАНИЯ $T_{СТ}$, °С	-	0,01	-18,5	-18,5	-18,5	-20	-29,5
	-	0,5	-11,5	-11,5	-12,5	-17,5	-24,5
ТЕМПЕРАТУРА ПЕРЕХОДА В ВЯЗКО-ПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ $T_{ВП}$, °С	-	0,01	46,5	59	65	67,5	71,5
КРИТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, $\epsilon_{КР} \cdot 10^4$	+20	0,5	1,25	1,5	2,2	2,65	2,85
КРИТИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, $\sigma_{КР}$, $\times 10^{-2}$ МПа	+20	0,5	4,4	8,6	14,4	15,0	16,0
$T_{ВП} - T_{СТ}$ / ИП			65/66	77,5/75	83,5/98	87,5/119	101/139
СООТНОШЕНИЕ ПО			1	1,4	1,86	1,58	1,41
				1,95	3,3	3,41	3,63
				1,2	1,47	2,12	2,28

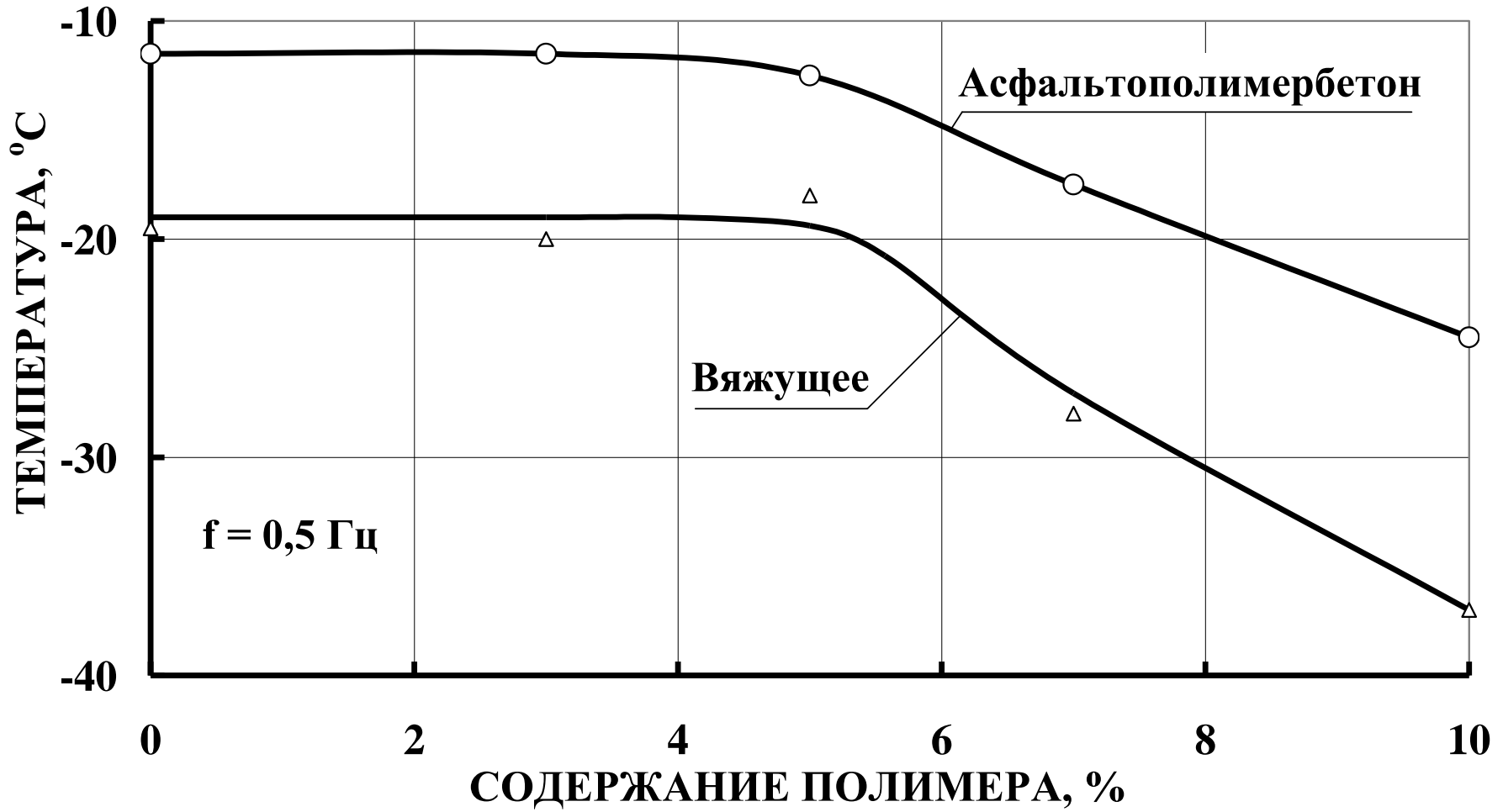
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ БИТУМА С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СБС ПО ДАННЫМ F. NADRZYNSKI, CH. SUCH



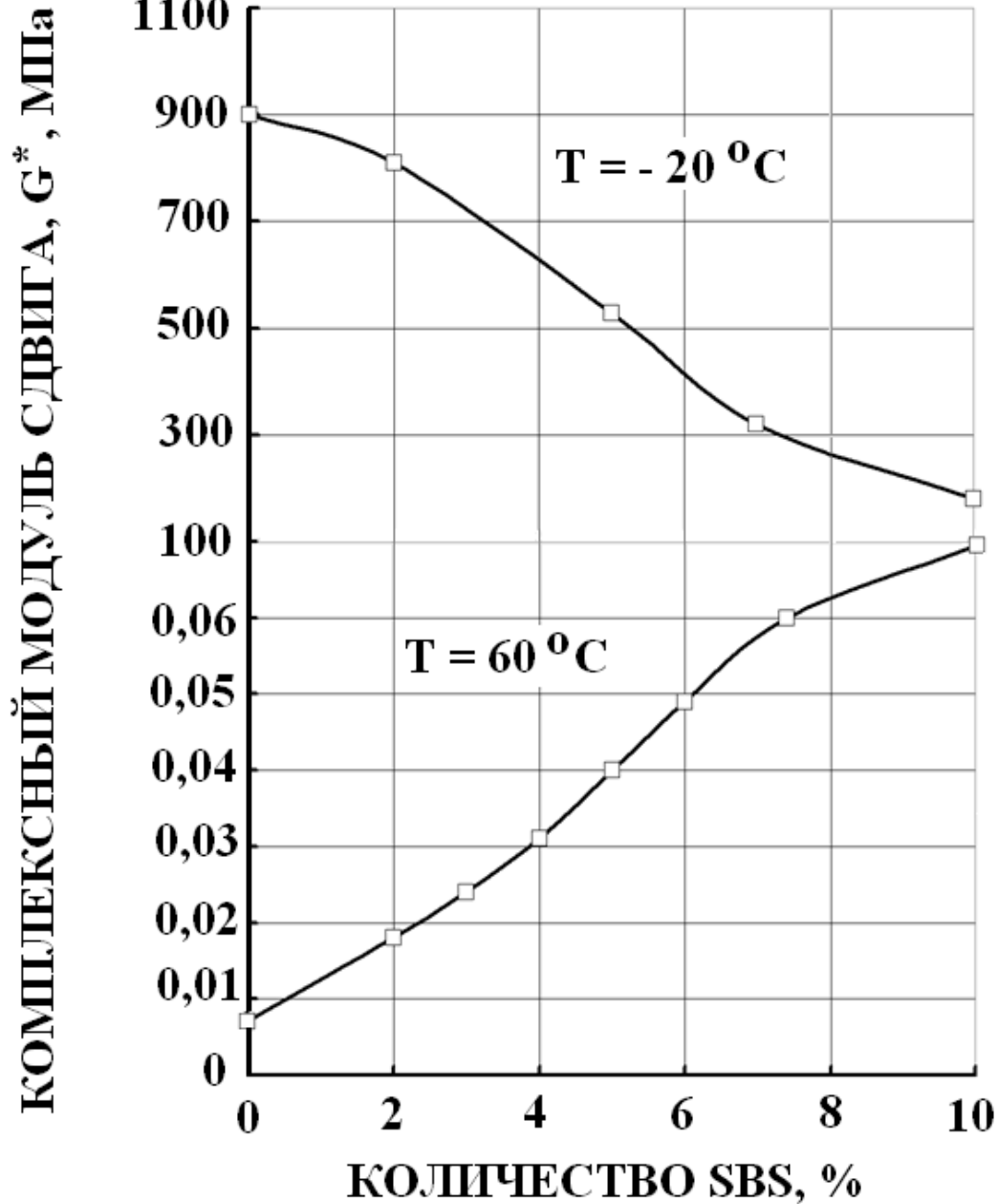
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ АСФАЛЬТО- И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ ТИПА Б



ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ХРУПКОСТИ БМП (Δ) И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНА (\circ) ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕРА



ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ХРУПКОСТИ ВЯЖУЩЕГО И АСФАЛЬТОБЕТОНА ПОДОБНЫ

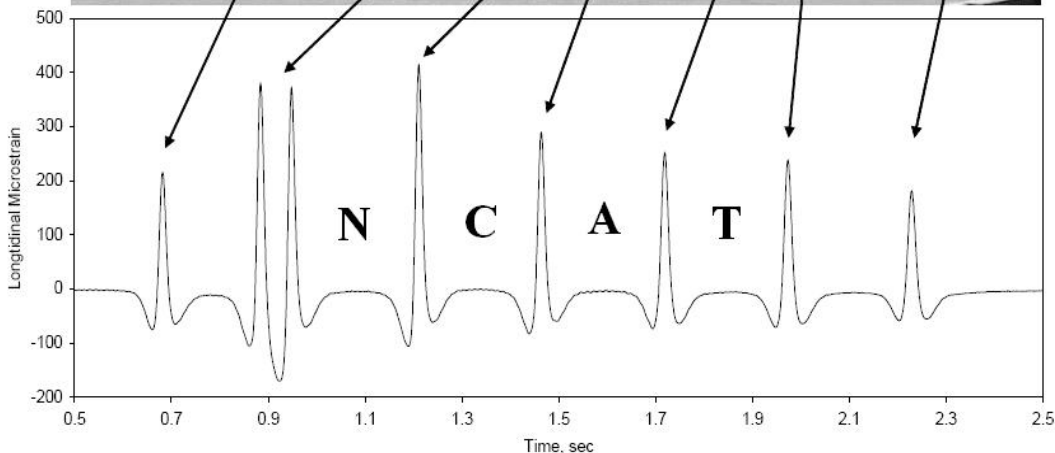


**ЗАВИСИМОСТЬ
МОДУЛЯ СДВИГА БИТУМА
($\Pi_{25} = 79 \times 0,1$ мм, $T_p = 47\text{ }^{\circ}\text{C}$)
ОТ СОДЕРЖАНИЯ SBS
ПРИ ЧАСТОТЕ 78 Гц.
ОБРАБОТКА ДАННЫХ
СН. SUCH, F. HADRZYNSKI**

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСФАЛЬТО- И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ С 3 % SBS

Наименование параметра	Т, °С	f, Гц	ЛИСИЧАНСК				NYNAS			
			ЛБ2 ($\Pi_{25} = 75 \times 0,1$ мм)	ЛБП2 ($\Pi_{25} = 45 \times 0,1$ мм)	ЛБ3 ($\Pi_{25} = 105 \times 0,1$ мм)	ЛБП3 ($\Pi_{25} = 57 \times 0,1$ мм)	АН2 ($\Pi_{25} = 79 \times 0,1$ мм)	АНП2 ($\Pi_{25} = 59 \times 0,1$ мм)	АН3 ($\Pi_{25} = 118 \times 0,1$ мм)	АНП3 ($\Pi_{25} = 80 \times 0,1$ мм)
Комплексный модуль упругости E^* , МПа	-20	0,50	12490	12390	10480	12150	15300	17570	16540	13240
	0	0,50	7000	8500	3860	6310	6950	9350	8510	6500
	+20	0,50	2470	3870	1330	2320	2780	3460	1690	1700
	+50	0,50	440	660	300	400	480	650	320	400
Условная температура стеклования $T_{ст}$, °С	-	0,01	-14,0	-12,5	-17,5	-15,0	-9,0	-8,0	-12,5	-15,5
Коэффициент температурной чувствительности	-	0,01	0,030	0,026	0,031	0,027	0,032	0,028	0,037	0,029
Коэффициент пластичности	+20	-	0,20	0,16	0,22	0,19	0,20	0,18	0,28	0,23
Температура перехода в вязкопластичное состояние $T_{вл}$, °С	-	0,01	54	63	47	56	51	60	42	51
$\sigma_{кр}$, МПа	+20	0,50	0,075	0,13	0,035	0,075	0,1	0,13	0,05	0,062
$\varepsilon_{кр} \cdot 10^{-4}$	+20	0,50	0,30	0,34	0,27	0,32	0,36	0,38	0,29	0,36

ИНФОРМАЦИЯ Б.С.РАДОВСКОГО ОТ 28 СЕНТЯБРЯ 2013 г.



В США более или менее нормальной считают относительную деформацию асфальтобетона ПОРЯДКА 3×10^{-4} и в расчет закладывают время действия порядка 0.02-0.03 с. Грубо говоря, получается скорость деформирования порядка $3 \times 10^{-4} / 0.03 = 1\%$ в сек.

Продольные относительные деформации в асфальтобетонном покрытии при проезде автопоезда, измеренные на полигоне NCAT.

Здесь максимальная относительная деформация от растяжения составляла до $300-400 \times 10^{-6}$, т.е. примерно 3×10^{-4} . А время тебе прямо отложено на оси

абсцисс. Подробности об этом стенде ты можешь прочесть в моем последнем обзоре стендов и полигонов, который должен скоро выйти в Авт. Дорогах.

З повагою, Б.Р.

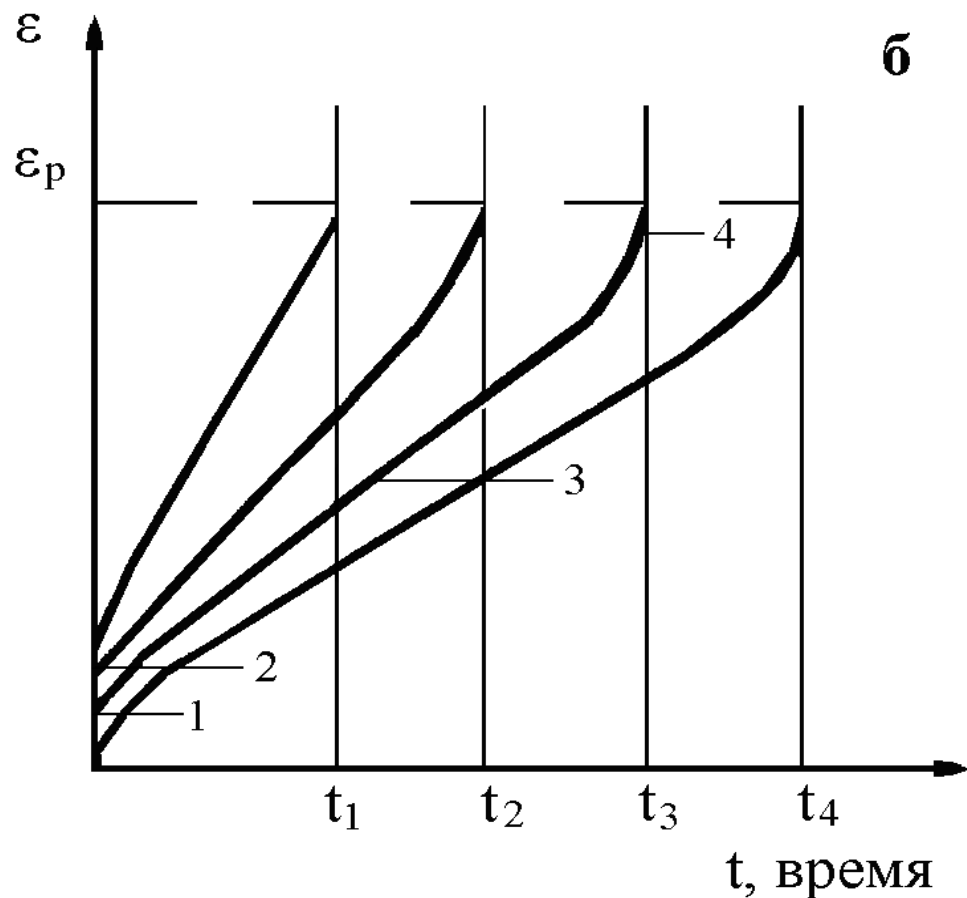
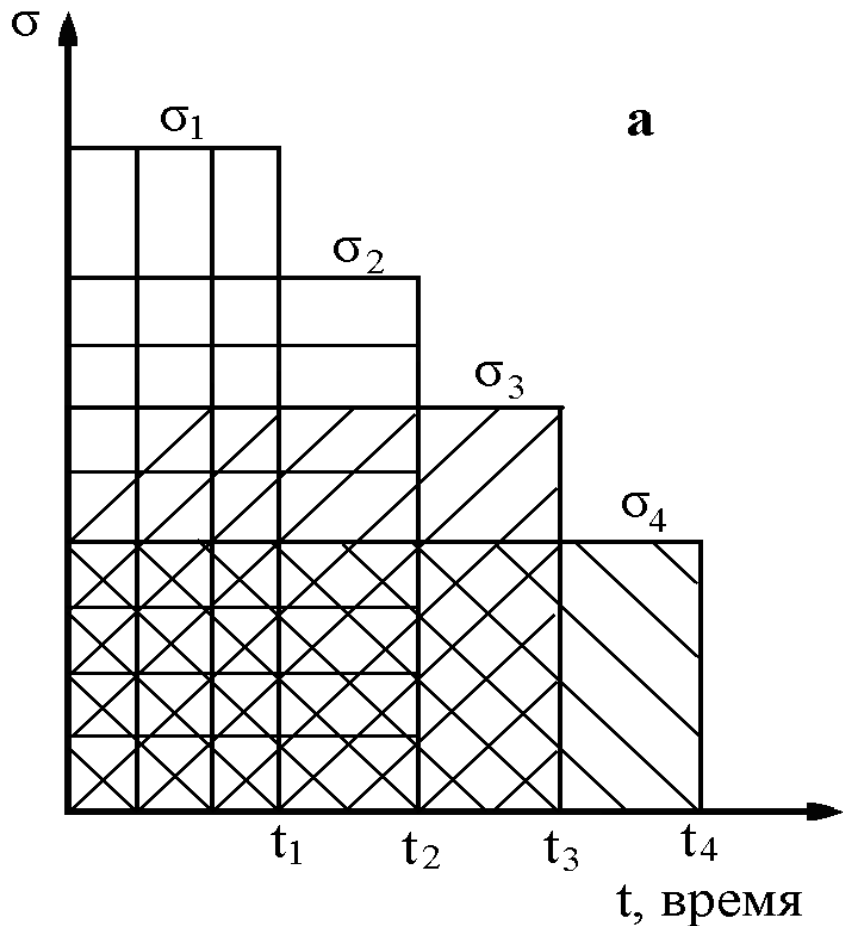
ПОЛУЧЕННЫЕ НА СТЕНДЕ ХНАДУ КРИТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЛИНЕЙНОСТИ (ПРИВЕДЕННЫЕ ВЫШЕ) ПРИ $f = 0,5$ Гц и $T = 20$ °С КОЛЕБЛЮТСЯ В ПРЕДЕЛАХ ОТ:

СОДЕРЖАНИЯ БИТУМА (4,25 – 6,0 %) – $1,8...3,7 \times 10^{-4}$

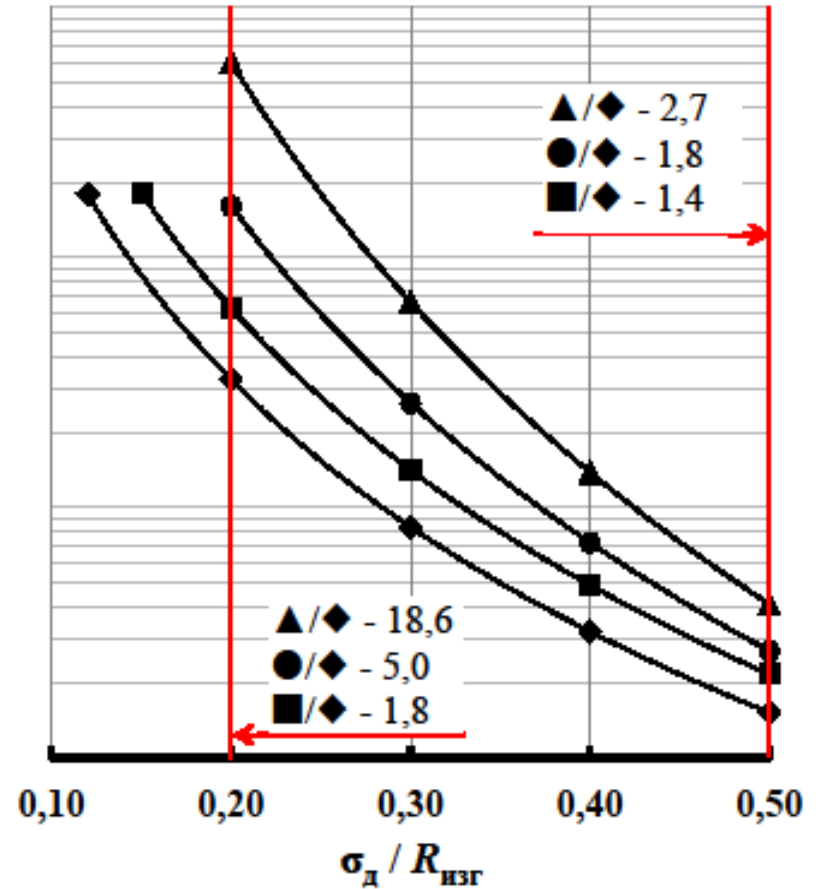
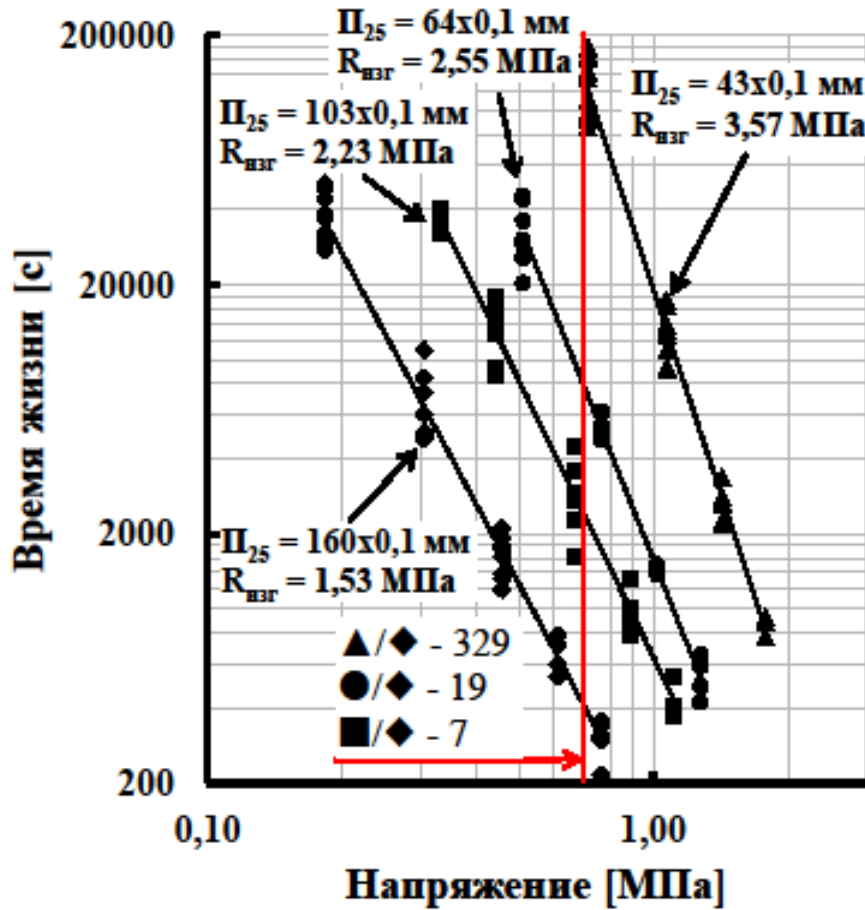
МАРКИ БИТУМА (40/60 – 90/130) – $3,5...2,0 \times 10^{-4}$

ТИПА БИТУМА (I, II и III) – $1,2...4,8 \times 10^{-4}$

СТАТИЧЕСКАЯ УСТАЛОСТЬ
СХЕМА ЗАГРУЖЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ В РЕЖИМЕ
ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > \sigma_4$) (а)
И ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ
ДО РАЗРУШЕНИЯ (ε_p) ЗА ВРЕМЯ $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ (б)



ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА БИТУМАХ РАЗНЫХ МАРОК ОТ ДЕЙСТВИЯ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ



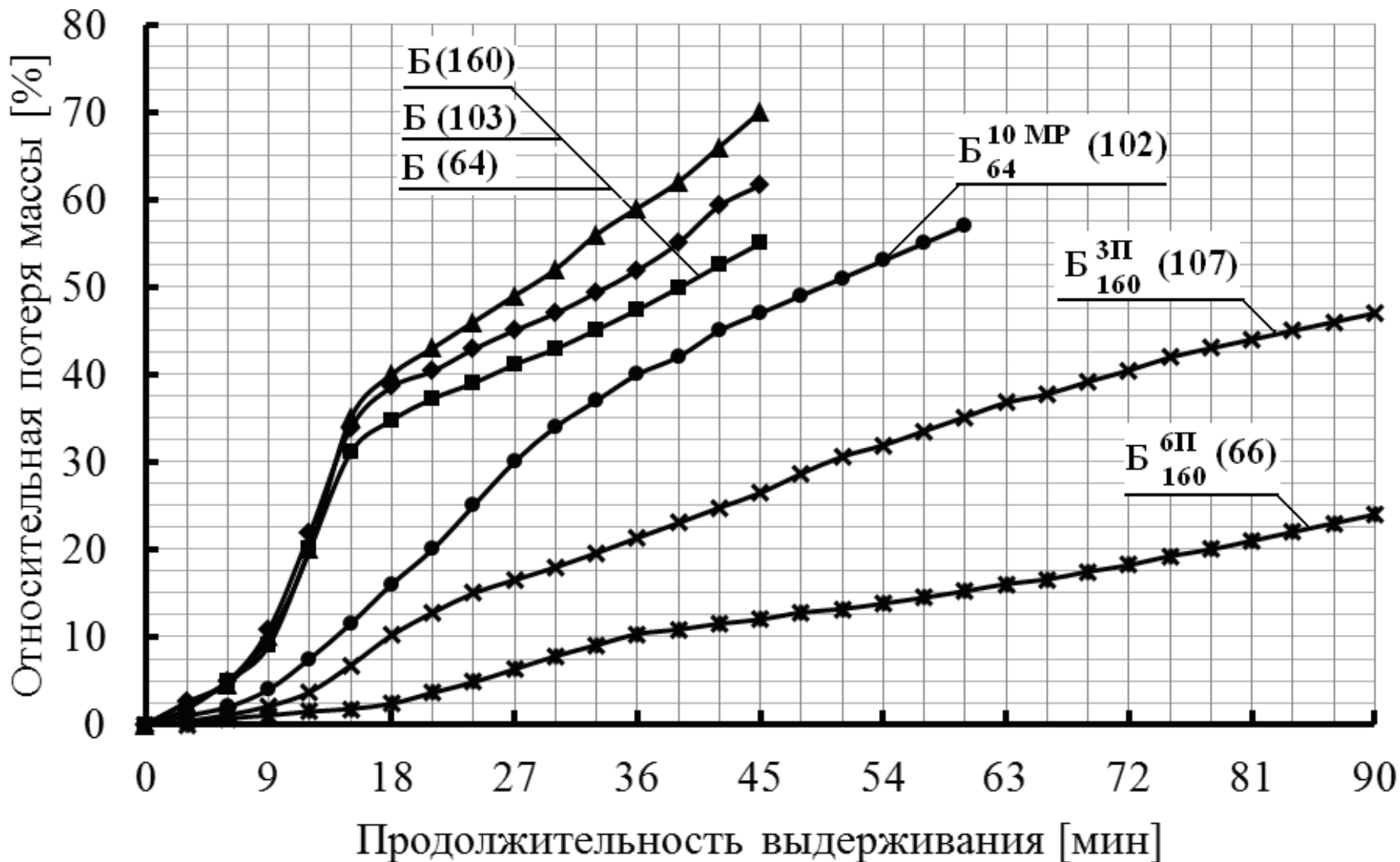
ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРОМ БИТУМА НА ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ И СРЕДОУСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Исходный битум	Содержание СБС, %	Индекс вяжущего	R _{изг} , МПа	Воздух	Вода	2 % р-р H ₂ SO ₄	ДТ
				время, 10 ⁻³ с	K _{ср} ^t	K _{ср} ^t	K _{ср} ^t
БНД 40/60	-	Б-43	3,57	120,8	0,89	0,84	0,19
БНД 60/90	-	Б-64	2,55	32,2	0,86	0,84	0,24
	3	<i>B₆₄^{3П} - 52</i>	3,48	69,3	0,87	0,84	0,33
	3 из МР	<i>B₆₄^{10MP} - 102</i>	2,34	22,9	0,85	-	0,25
БНД 90/130	-	Б-103	2,32	12,6	0,86	0,84	0,35
	3	<i>B₁₀₃^{3П} - 174</i>	3,01	26,5	0,9	0,89	0,38
	6	<i>B₁₀₃^{6П} - 53</i>	3,1	20,9	0,93		0,48
БНД 130/200	-	Б-160	1,53	6,5	0,85	0,82	0,35
	3	<i>B₁₆₀^{3П} - 107</i>	2,45	21,1	0,88	0,86	0,36
	6	<i>B₁₆₀^{6П} - 66</i>	2,60	19,3	0,93		0,45

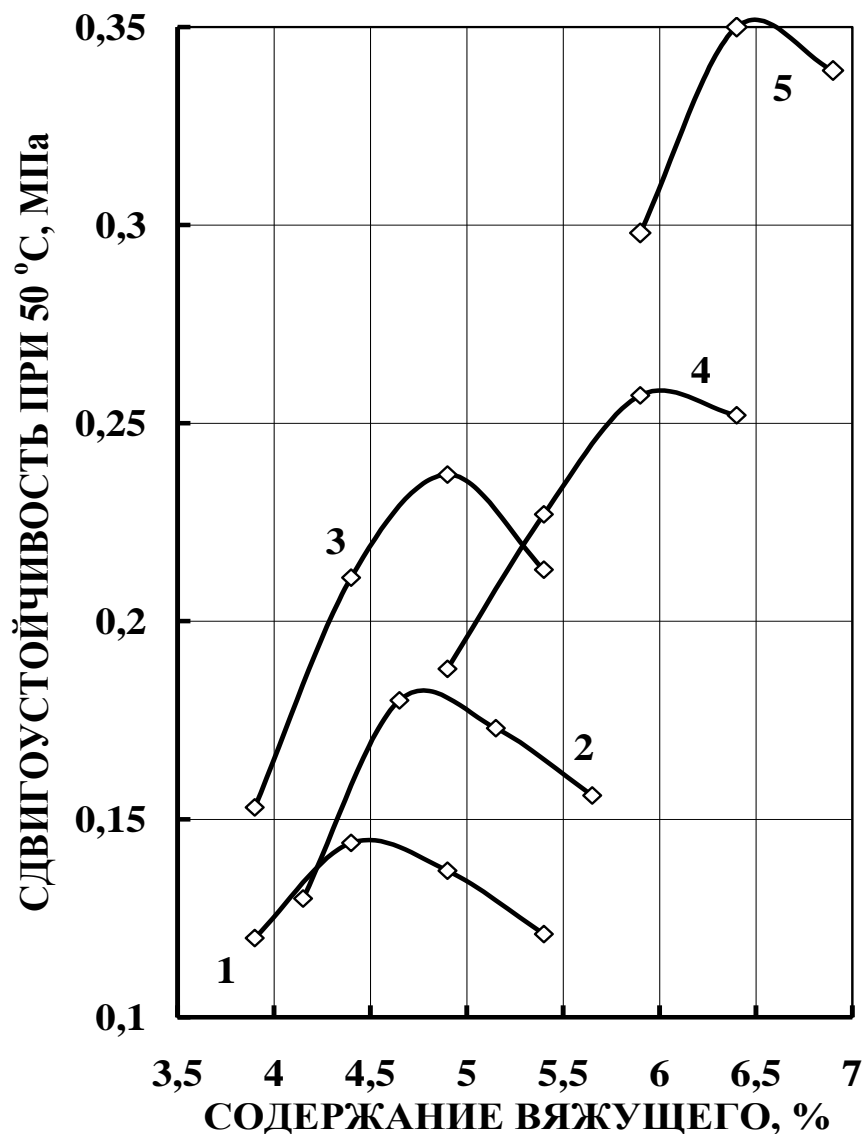
ВЛИЯНИЕ ПАВ НА ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ И ВОДОУСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ $\sigma_{д/Р_{изг}} = 0,2$ И $T = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Исходный битум	Содержание добавки, %	Индекс вяжущего	$R_{изг}$, МПа	Воздух		Вода	
				время, 10^{-3} с	время, 10^{-3} с	$K_{ср}^t$	
БНД 130/200	-	Б-160	1,53	6,5	5,5	0,85	
БНД 130/200	0,7 % ПАВ	$B_{160}^{0,7ПАВ} -155$	1,66	11,8	10,3	0,91	
	3 % СБС	$B_{160}^{3П} -107$	2,45	21,1	18,5	0,88	
	3 % СБС+ 0,7 % ПАВ	$B_{160}^{3П+0,7ПАВ} -107$	2,35	24,6	23,1	0,94	

ЗАВИСИМОСТЬ ПОТЕРИ МАССЫ ОБРАЗЦОВ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫДЕРЖИВАНИЯ В ДТ ПРИ 20 °С



ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИМЕРА В БМП И СОДЕРЖАНИЯ БМП НА СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

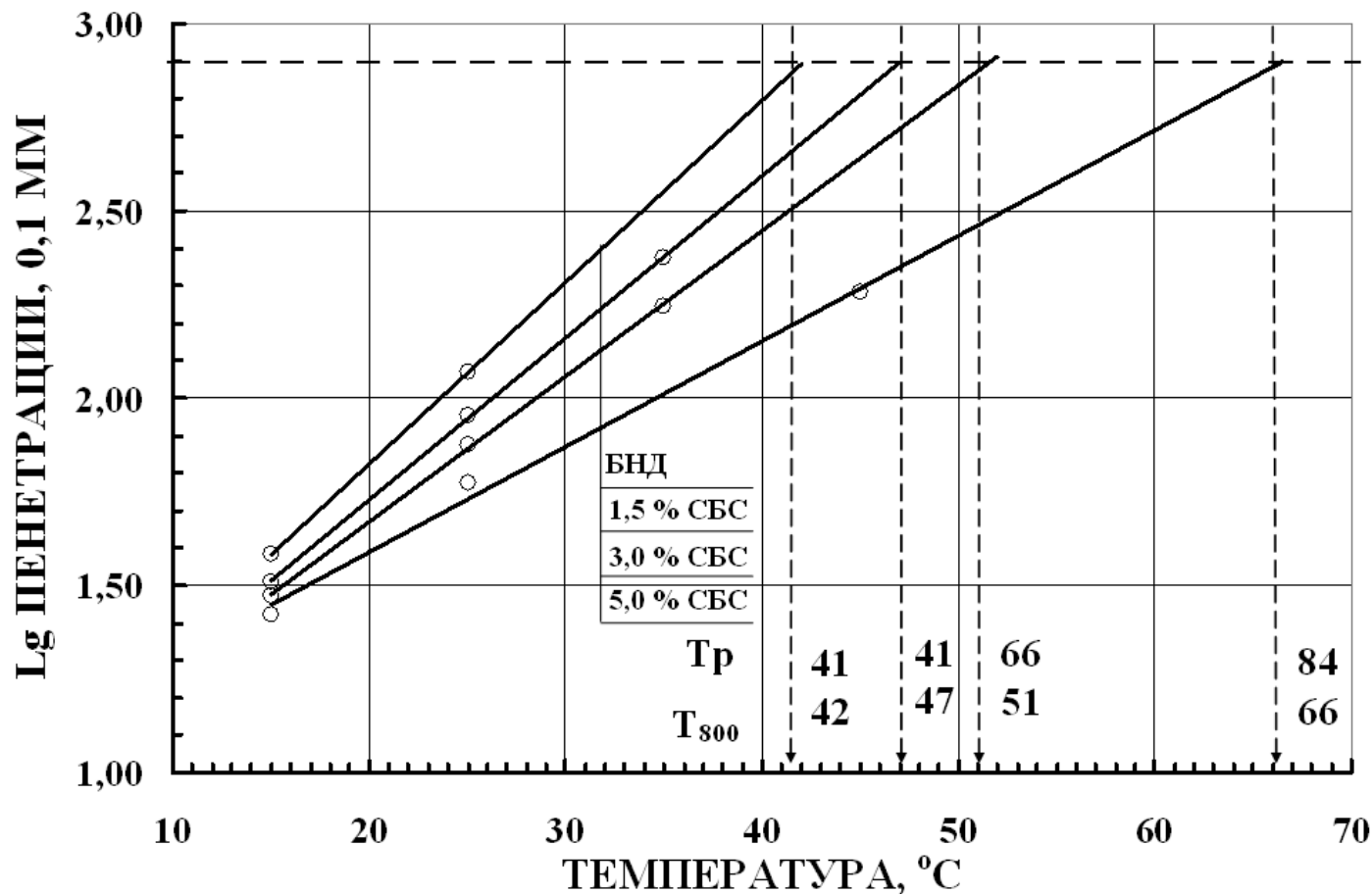


**УВЕЛИЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ
СБС В БМП ДО 10 % ПРИВОДИТ
К ПОВЫШЕНИЮ
СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ.**

**ОПТИМАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ
БМП ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ
ЧИСТОГО БИТУМА К БИТУМУ
С 10 % СБС ПОВЫШАЕТ
СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ
ПРИ 50 °С В 2,4 РАЗА.
ПРИ ЭТОМ ОПТИМАЛЬНОЕ
СОДЕРЖАНИЕ БМП РАСТЕТ
ОТ 4,5 % ДО 6,5 %.**

- 1 – битум 90/130;
- 2 – битум 90/130 с 1,5 % СБС;
- 3 – битум 90/130 с 3,0 % СБС
- 4 – битум 90/130 с 6,0 % СБС
- 5 – битум 90/130 с 10,0 % СБС

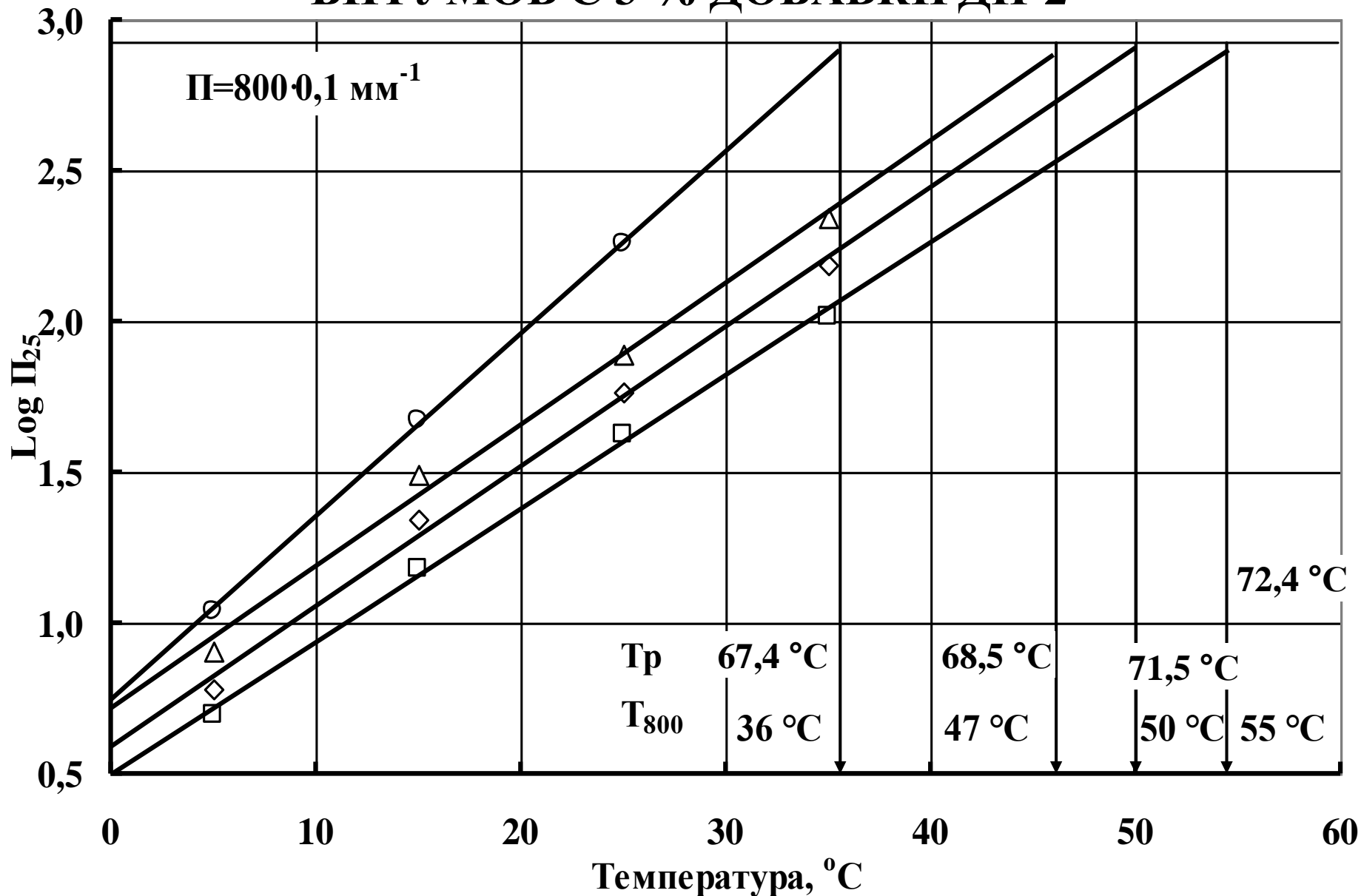
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ, ПРИ КОТОРОЙ ПЕНЕТРАЦИЯ РАВНА $800 \times 0,1$ ММ (T_{800}) ВМЕСТО «КиШ»



**В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ 5 °С ДО T_r ЗАВИСИМОСТЬ $Lg П$
ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРАКТИЧЕСКИ ЛИНЕЙНА (ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ДАННЫХ
ВАН ДЕР ПОЛЯ И ХЕКЕЛОМ'А – 50- 70^{ые} ГОДА ХХ ВЕКА)**

**ТЕМПЕРАТУРЫ «КиШ» И T_{800} НЕ СОВПАДАЮТ
ПРИ СОДЕРЖАНИИ ПОЛИМЕРА > 3 %**

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЕНЕТРАЦИИ ДЛЯ БИТУМОВ С 3 % ДОБАВКИ ДП-2



□ - БНД 40/60, ◇ - БНД 60/90, △ - БНД 90/130, ○ - БНД 130/200

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ИСХОДНОГО БИТУМА НА РАССЛАИВАЕМОСТЬ БМП С 3 % СБС

Исходный Мозырский битум	Пенетрация при 25 °С, 1/10 мм		Температура размягчения, °С		Эластичность при 25 °С, %	
	Верх	Низ	Верх	Низ	Верх	Низ
Гудрон	244	258	48	47	95	94
БНД 90/130	125	109	49	46	80	58
БНД 60/90	72	53	58	54	93	47
БНД 40/60	51	32	77	64	94	60

**СТЕПЕНЬ РАССЛОЕНИЯ ТЕМ БОЛЬШЕ, ЧЕМ КОНСИСТЕНТНЕЕ
ВЯЖУЩЕЕ, ЧЕМ БОЛЬШЕ ПОЛИМЕРА**

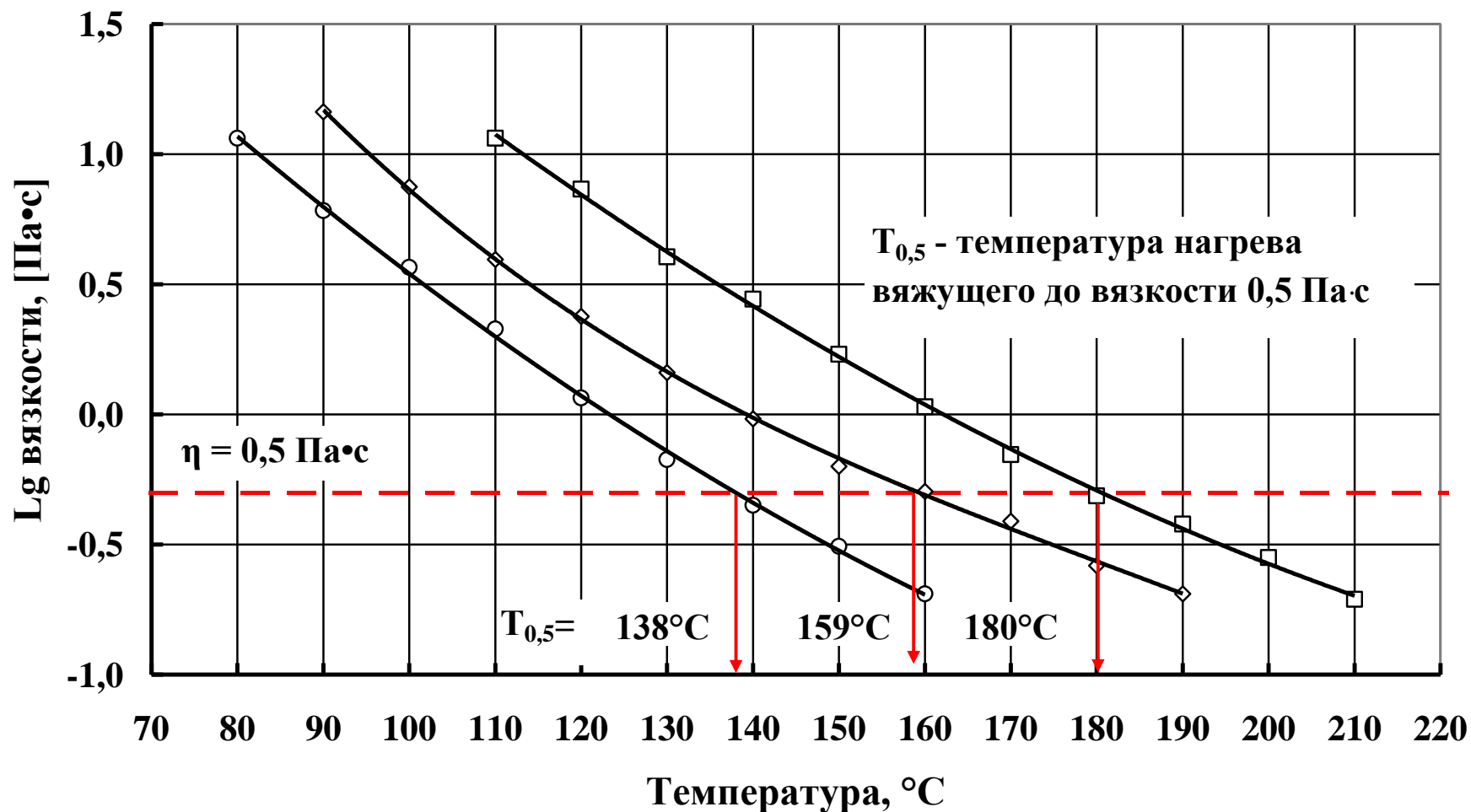
**ЧЕМ БОЛЬШЕ УСИЛИВАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПОЛИМЕРА,
ТЕМ БОЛЬШЕЕ РАССЛОЕНИЕ БМП**

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ИСХОДНОГО БИТУМА НА РАССЛАИВАЕМОСТЬ БМП

ВИД И КОЛИЧЕСТВО ПОЛИМЕРА В ВЯЖУЩЕМ	ПОКАЗАТЕЛИ					
	ПЕНЕТРАЦИЯ ПРИ 25 °С, 1/10 ММ		ТЕМПЕРАТУРА РАЗМЯГЧЕНИЯ, °С		ЭЛАСТИЧНОСТЬ ПРИ 25 °С, %	
	ВЕРХ	НИЗ	ВЕРХ	НИЗ	ВЕРХ	НИЗ
1,5 % ДСТ-30-01	83	81	49	49,2	55	57
3,0 % ДСТ-30-01	108	55	>91	50,9	100	48
5,0 ДСТ-30-01	126	38	99	60,0	99	52
3 % ДСТ-30Р-01	130	67	>80	45,8	100	42
1,5 % Кратон ²⁾ Д-1101	94	91	47	46	68	55
3,0 Кратон ²⁾ Д-1101	83	79	51	50	72	68
5,0 % Кратон ²⁾ Д-1101	130	45	94	58	99	57
1,5 % Кратон Д-1186	98	83	66	47	98	47
3,0 % Кратон Д-1186	108	62	107	51	99	52
5,0 % Кратон Д-1186	103	41	113	72	98	43
2 % Элвалой АМ	90	83	56	57	68	72
4 % Бутонал NS 198	75	61	54,5	49,5	77	47

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ ВЯЖУЩИХ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕРА:

○ - 0 %; ◇ - 3 %; □ - 6 %



**УВЕЛИЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕРА НА КАЖДЫЕ 3 %
ПРИВОДИТ К ПОВЫШЕНИЮ $T_{0,5}$ ПОЧТИ НА 20 °C**



г. Харьков (2003 г.), ул. Сумская - первый удачный опыт



г. Харьков (2003 г.), аллея в парке им. Т.Г. Шевченко



**Покрытие из цветного асфальтобетона,
устроенное в парке им. Горького г. Харьков (2006 г.)**

Спасибо за внимание!