ОДМ 218.3.020-2012

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ БИТУМОВ ПРОТИВ СТАРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2012

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН ООО «Стройсервис», ЗАО «НОМБУС» с использованием результатов научных исследований ОАО «Омский СоюздорНИИ» и практических результатов ФКУ УПРДОР «Забайкалье».

2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований, информационного обеспечения и ценообразования, Управлением эксплуатации и сохранности автомобильных дорог Федерального дорожного агентства.

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 17.02.2012 № 47-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Рекомендации по оценке интенсивности старения битума в зависимости от продолжительности технологических процессов 2
5 Оценка интенсивности старения битума в тонкой пленке (50 мкм) в зависимости от продолжительности технологических процессов 2
6 Мероприятия по обеспечению устойчивости битумов 15
7 Приложение А Методика определения динамической вязкости битума 22
8 Приложение Б Методика определения группового состава битума с помощью анализатора тонкослойной хроматографии (TLC) с системой пламенной ионизации (FID) марки IATROSKAN MK-5 24
9 Приложение В Примеры расчета прогнозируемых значений динамической вязкости, глубины проникания иглы и группового состава битума нефтяного дорожного вязкого в процессе его старения в тонких пленках 29
10 Приложение Г (справочное) Изменение групповых составов битумов нефтяных дорожных вязких в процессе их прогрева при постоянной температуре 32

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Методические рекомендации по обеспечению устойчивости битумов против старения в технологических процессах изготовления и применения асфальтобетонных смесей

1 Область применения

Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) распространяется на битумы нефтяные дорожные вязкие, получаемые путем окисления тяжелых нефтяных остатков из западно-сибирских нефтей и по технологии компаундирования (смешения) окисленного битума высокой вязкости с более легкими нефтепродуктами, в части прогнозирования процессов их старения в составах асфальтобетонных смесей на технологических этапах приготовления и устройства асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог.

В части методики определения динамической вязкости и группового состава настоящие рекомендации распространяются на окисленные, остаточные и компаундированные битумы.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 9128-2009 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия

ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы

ГОСТ 11955-82 Битумы нефтяные дорожные жидкие. Технические условия

ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия

ГОСТ 31015-2002 Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **битумы нефтяные дорожные вязкие**: Полутвердые нефтяные битумы, отвечающие требованиям государственного стандарта,

распределяемые на марки по вязкости, определяемой пенетрометром, и по комплексу показателей.

3.2 **вязкость**: Свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

3.3 **групповой состав**: Групповой химический состав битума, представленный асфальтенами, суммой смол, суммой ароматических углеводородов и суммой насыщенных углеводородов.

3.4 **старение битума:** Совокупность необратимых изменений структуры, физических и механических свойств битума, наблюдающихся при хранении, технологической переработке и эксплуатации.

4 Рекомендации по оценке интенсивности старения битума в зависимости от продолжительности технологических процессов

Интенсивность старения битумов рекомендуется определять:

- по изменению показателя динамической вязкости в процессе искусственного старения битума в пленке толщиной 50 мкм на минеральной подложке разного химико-минералогического состава, определяемого методом плоско-параллельного сдвига (приложение А);
- по результатам изменения группового состава в процессе искусственного старения битума в пленке толщиной 50 мкм, определяемого с помощью анализатора тонкослойной хроматографии (TLC) с системой пламенной ионизации (FID) марки IATROSKAN MK-5 (приложение Б).

5 Оценка интенсивности старения битума в тонкой пленке (50 мкм) в зависимости от продолжительности технологических процессов

5.1 Оценка интенсивности старения битума в тонкой пленке (50 мкм) по результатам оценки динамической вязкости и глубины проникания иглы в зависимости от продолжительности технологических процессов

5.1.1 Весь технологический процесс производства асфальтобетонной смеси и устройства асфальтобетонных покрытий состоит из m-этапов (хранения асфальтобетонной смеси в бункере-накопителе, транспортировки, ожидания разгрузки, укладки и уплотнения)

на временных интервалах (t_m, t_{m-1}), m=1,...,n, t_o=0 . Коэффициенты интенсивности старения битума k_m определяются для каждого технологического этапа, зависят от температуры и вида применяемого минерального материала (таблица 1).

Увеличение динамической вязкости η, Па·с, на m-этапе вычисляется по формуле

$$\eta(t_m) = \eta(t_{m-1}) \cdot e^{\frac{(k_m + k_{m-1}) \cdot \Delta t_m}{2}}, \qquad (1)$$

где Δt_m – продолжительность технологического этапа, ч;

k_{m-1} – коэффициент интенсивности старения битума в начале *m*-этапа;

k_m – коэффициент интенсивности старения битума в конце *m*-этапа.

Формула (1) может быть использована на технологическом этапе с постоянной температурой асфальтобетонной смеси. Например, при хранении в бункере-накопителе.

5.1.2 Изменение динамической вязкости η, Па·с, на протяжении всего технологического процесса, где температура, а, следовательно, и коэффициенты интенсивности старения k_m изменяются, вычисляется по формуле

$$\eta(t_4) = \eta(0) \cdot e^{\frac{1}{2} \cdot \sum_{m=1}^{4} (k_m + k_{m-1}) \cdot \Delta t_m}, \qquad (2)$$

где $\eta(0)$ – динамическая вязкость исходного битума (до старения), Па·с, определяемая по формуле

$$\eta(0) = \left(\frac{\Pi(0)}{2 \cdot 10^3} \right)^{-5}, \qquad (3)$$

$\Pi(0)$ – первоначальное значение глубины проникания иглы при температуре 25°С, мм$^{-1}$.

Практический пример определения динамической вязкости η, Па·с, в процессе старения битума на технологических этапах приготовления асфальтобетонной смеси, ее временном хранении, транспортировки, укладки и уплотнении в покрытие приведен в приложении В.

Таблица 1 – Значения коэффициентов интенсивности старения битумов в зависимости от температуры и вида применяемой минеральной подложки каменного материала

Наименование материала минеральной подложки	Значения коэффициентов интенсивности старения k для битумов марок																								
	БНД 40/60					БНД 60/90					БНД 90/130					БНД 130/200					БНД 200/300				
	Температура, °С																								
	150	130	110	90	70	150	130	110	90	70	150	130	110	90	70	150	130	110	90	70	150	130	110	90	70
Осадочные горные породы	1,5	1,4	1,3	1,0	0,9	1,4	1,3	1,1	0,9	0,8	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
Изверженные горные породы	1,3	1,2	1,0	0,7	0,6	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2

5.1.3 Для практического применения более приемлемо использование глубины проникания иглы, мм$^{-1}$, определяемой при температуре 25°С. В этом случае глубина проникания иглы на m-этапе вычисляется по формуле

$$\Pi\left(t_m\right) = \Pi\left(t_{m-1}\right) \cdot e^{-\frac{\left(k_m + k_{m-1}\right) \cdot \Delta t_m}{10}}. \qquad (4)$$

Формула (4) может быть использована на технологическом этапе с постоянной температурой асфальтобетонной смеси. Например, при хранении в бункере-накопителе.

В случае, когда технологический процесс состоит из нескольких m - этапов, имеющих свои временные промежутки и температурные режимы, для расчетов используется формула

$$\Pi\left(t_4\right) = \Pi(0) \cdot e^{-\frac{1}{10} \cdot \sum_{m=1}^{4} \left(k_m + k_{m-1}\right) \cdot \Delta t_m}, \qquad (5)$$

где $\Pi\,(t_4)$ – ожидаемое значение показателя глубины проникания иглы для битума после устройства покрытия, мм$^{-1}$;

$\Pi\,(0)$ – первоначальное значение глубины проникания иглы при температуре 25°С (до старения битума), мм$^{-1}$.

Пример практического расчета использования формулы (5) приведен в приложении В.

5.1.4 Для анализа и оценки интенсивности старения битумов в составе асфальтобетонных смесей по формуле (5) рассчитаны прогнозируемые показатели глубины проникания иглы во вновь устроенном асфальтобетонном покрытии. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения показателей глубины проникания иглы для битумов в зависимости от длительности технологических процессов производства асфальтобетонных смесей и строительства асфальтобетонных покрытий и оснований

Время хранения асфальтобетонной смеси в бункере-накопителе, ч	Время транспортировки, ч	Толщина слоя асфальтобетона, см	Температура наружного воздуха, °С	Вид минерального материала	Прогнозируемые показатели глубины проникания иглы, мм$^{-1}$, для битумов нефтяных дорожных с условной вязкостью					
					40	60	90	130	200	300
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,5	4-5	5	Осадочные горные породы	30	44	68	102	175	263
			10		29	43	66	99	172	258
			25		27	40	63	95	170	254
		8-10	5		29	43	60	100	162	261
			10		28	42	58	97	171	256
			25		27	40	56	94	170	254
	1,0	4-5	5		26	39	59	90	171	256
			10		25	37	57	88	168	252
			25		24	36	56	85	165	248
		8-10	5		25	38	59	88	170	254
			10		24	37	57	86	167	250
			25		24	35	56	84	164	246

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,5	0,5	4-5	5		26	38	60	90	160	240
			10		25	37	58	87	158	236
			25		23	35	56	85	155	232
		8-10	5		25	37	58	88	159	238
			10		24	36	57	86	156	238
			25		23	35	55	84	156	234
	1,0	4-5	5		22	33	52	80	156	234
			10		21	32	51	77	154	231
			25		20	31	49	75	152	227
		8-10	5		22	32	45	78	155	233
			10		21	31	44	76	153	229
			25		20	30	42	74	150	226
1,0	0,5	4-5	5		22	33	52	79	147	221
			10		21	32	50	77	144	216
			25		20	30	48	75	142	213
		8-10	5		21	32	51	78	145	217
			10		20	31	51	76	143	214
			25		19	30	50	74	141	211

 Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1,0	4-5	5		19	29	46	70	143	214
			10		18	28	44	68	141	211
			25		17	26	43	66	138	207
		8-10	5		19	28	45	69	141	211
			10		18	27	44	67	140	210
			25		17	26	43	66	138	207
-	0,5	4-5	5	Изверженные горные породы	31	49	75	113	185	277
			10		30	47	73	111	183	275
			25		28	46	71	109	182	273
		8-10	5		30	48	73	112	184	275
			10		29	47	72	110	184	275
			25		29	46	70	109	182	273
	1,0	4-5	5		27	44	68	107	179	268
			10		26	43	67	106	177	266
			25		25	42	65	104	175	263
		8-10	5		27	44	67	106	177	266
			10		26	43	66	105	177	266
			25		26	42	65	96	175	263

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,5	0,5	4-5	5		27	43	67	104	175	263
			10		26	43	65	102	174	260
			25		25	41	64	101	172	259
		8-10	5		26	43	66	103	175	263
			10		25	42	65	102	174	261
			25		24	41	63	101	172	259
	1,0	4-5	5		24	40	61	99	170	252
			10		23	39	60	97	170	252
			25		22	39	58	96	167	250
		8-10	5		23	38	60	98	168	252
			10		22	38	59	97	167	250
			25		21	37	58	96	168	252
1,0	0,5	4-5	5		24	39	60	96	167	250
			10		23	38	59	95	168	252
			25		22	37	59	93	167	250
		8-10	5		23	38	58	96	167	250
			10		22	38	57	94	165	248
			25		21	37	55	93	165	248

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	1,5	4-5	5		21	36	54	92	161	242
			10		20	35	53	90	160	240
			25		19	34	53	88	159	238
		8-10	5		20	35	54	90	160	240
			10		20	35	54	89	160	240
			25		19	34	52	88	159	238

Примечания

1 Время на осуществление технологических операций должно рассчитываться исходя из условий остывания асфальтобетонной смеси до критических температур и определяться различными известными способами.

2 В таблице приведены ориентировочные результаты расчетов, которые должны уточняться в зависимости от принятых технологических решений.

5.2 Оценка интенсивности старения битума в тонкой пленке (50 мкм) по результатам изменения группового состава битума

5.2.1 Математическая модель процесса изменения группового состава битума при термостатировании представляет собою систему линейных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dt} = A \cdot y + b, \\ y(0) = y^{o}, \end{cases} \qquad (6)$$

где A – числовая матрица размером 3×3;

y, y^{o}, b – векторы длины 3.

Координаты вектора y описывают изменение процентного содержания смол y_1, ароматических углеводородов y_2 и насыщенных углеводородов y_3 с течением времени. Процентное содержание асфальтенов находится по известному процентному содержанию других компонент. Вектор $y^{\hat{i}}$ задает исходное состояние битума.

Решение системы имеет вид

$$y = c_1 e^{\lambda_1 t} h^1 + c_2 e^{\lambda_2 t} h^2 + c_3 e^{\lambda_3 t} h^3 + y^{st}, \qquad (7)$$

где h^1, h^2, h^3 – собственные векторы матрицы A, соответствующие собственным значениям λ_1, λ_2 и λ_3;

$c = B^{-1}\left(y^{o} - y^{st}\right)$ – вектор констант;

B – значение собственных векторов матрицы A;

y^{st} – текущее состояние битума.

В таблицах 3-7 приведены числовые данные для решения системы (7).

Т а б л и ц а 3 – Параметры модели для битума нефтяного дорожного вязкого марки БНД 40/60

Температура, °С	Значения параметров модели					
	$B=[h^1,h^2,h^3]$			$L=(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$	$C=(c_1,c_2,c_3)$	y^{st}
160	-0,00817	0,956512	0,005609	-0,22876	22,94429	51,51576
	0,974379	-0,12607	0,000127	-0,49345	-17,4467	8,013381
	0,224766	0,263043	0,999984	-0,73619	5,285943	7,036282
140	-0,03445	-0,99263	-0,98986	-0,15432	-19,7341	50,86009
	-0,99903	0,110734	0,128661	-0,42921	-36,2088	10,00013
	0,027334	-0,0492	0,060216	-0,39033	53,353	8,435114
120	-0,96859	0,00232	0,144931	-0,13823	20,05784	53,70755
	0,248662	0,999992	-0,00313	-0,0797	17,47335	10,11673
	0,001417	-0,00337	0,989437	-0,78275	2,413049	10,53282
100	0,000666	0,629426	-0,57871	-1,04454	11,25067	39,88018
	1	0,777059	-0,58982	-0,45804	-7,50252	27,65414
	-0,00056	-0,00145	0,563213	-0,33402	0,856028	12,40325

Т а б л и ц а 4 – Параметры модели для битума нефтяного дорожного вязкого марки БНД 60/90

Температура, °С	Значения параметров модели					
	$B=[h^1,h^2,h^3]$		$L=(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$		$C=(c_1,c_2,c_3)$	y^{st}
160	-0,1848	0,277688	0,010499	-0,35414	-200,51	57,91186
	0,850163	-0,8362	-0,00298	-0,36167	-237,979	11,24458
	0,493023	-0,47293	0,99994	-0,48877	-11,6368	8,433591
140	-0,81684	-0,18336	-0,00221	-0,79541	19,38096	43,99595
	0,575054	-0,10056	-0,99993	-0,03352	-3,17425	22,3846
	0,045641	0,977888	0,01123	-0,46116	-5,96148	12,77644
120	-0,86708	-0,0013	-0,02422	-0,6077	16,54719	43,02087
	0,492405	0,999677	-0,01652	-0,31478	8,857697	22,74021
	0,075608	-0,02538	0,99957	-0,07177	-4,05724	13,51916
100	-0,91646	0,009848	0,002129	-0,26854	8,611421	36,76339
	0,376183	0,007867	-1	-0,01327	-8,80039	25,04589
	0,13632	0,999921	-0,0023	-0,10108	-11,5939	18,08907

Таблица 5 – Параметры модели для битума нефтяного дорожного вязкого марки БНД 90/130

Температура, °С	Значения параметров модели					
	$B=[h^1,h^2,h^3]$			$L=(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$	$C=(c_1,c_2,c_3)$	y^{st}
160	0,908168	-0,53036	-0,22737	-0,7671	-36,7789	52,09922
	-0,39601	-0,84734	-0,25309	-0,41228	-18,3328	12,39946
	-0,13568	0,027051	0,940343	-0,35725	-3,20715	7,041628
140	-0,9767	0,001185	0,000455	-1,16829	13,85646	42,69552
	0,197716	0,000691	-1	-0,04596	-2,16935	20,16098
	0,083418	0,999999	-0,00181	-0,35061	-20,4109	9,496597
120	0,924331	0,053046	0,018986	-0,23497	-20,3923	48,20888
	-0,34473	0,066504	-0,9997	-0,11761	4,928517	11,14757
	-0,16363	-0,99638	-0,01566	-0,14516	-24,8124	9,705135
100	-0,01298	-0,65344	-0,04099	-2,14363	-2,24515	39,35409
	0,000819	0,742784	-0,99887	-0,3236	16,08461	24,61094
	-0,99992	-0,1459	-0,02423	-0,12112	-6,76118	8,458027

Таблица 6 – Параметры модели для битума нефтяного дорожного вязкого марки БНД 130/200

Температура, °С	Значения параметров модели					
	$B=[h^1,h^2,h^3]$			$L=(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$	$C=(c_1,c_2,c_3)$	y^{st}
160	-0,90691	-0,14788	-0,00593	-0,49044	19,22879	48,10381
	0,313914	0,968158	-0,01531	-0,29069	22,54385	13,09069
	0,281013	-0,20199	0,999865	-0,21904	0,188839	12,26126
140	-0,84204	0,007545	0,001868	-0,2696	22,40006	46,25621
	0,52011	0,002974	-1	-0,00883	-5,52466	17,07605
	0,143041	0,999967	-0,00156	-0,16885	-12,2399	15,60128
120	-0,04214	0,178851	0,022781	-0,2637	20,80031	30,58992
	0,998384	0,951137	0,03927	-0,202	-12,7503	32,48828
	0,038135	-0,2517	0,998969	-0,09572	-4,52539	13,81833
100	-0,67042	0,005593	0,005703	-0,15376	3,340641	29,63006
	0,515511	0,007933	-0,99974	-0,01936	-0,79439	29,42079
	0,533651	0,999953	-0,02201	-0,06747	-9,81591	12,09561

Т а б л и ц а 7 – Параметры модели для битума нефтяного дорожного вязкого марки БНД 200/300

Температура, °С	Значения параметров модели					
	$B=[h^1,h^2,h^3]$			$L=(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$	$C=(c_1,c_2,c_3)$	y^{st}
160	0,797098	-0,63173	0,526782	-0,54007	-29,5507	47,3267
	-0,53663	-0,73742	0,315548	-0,28019	-23,7032	13,5788
	-0,27688	-0,23904	0,789259	-0,193	-14,723	7,902403
140	0,015161	0,441663	-0,00686	-0,01496	-6,16538	46,54646
	0,009448	0,855911	-0,99998	-0,1248	-35,7343	26,35387
	0,99984	-0,26898	0,000922	-0,17565	-46,5609	6,725573
120	-0,97047	-0,00402	0,000922	-1,96685	0,75911	31,75542
	0,035608	0,003305	-1	-0,17547	3,332014	25,60207
	0,238588	0,999986	0,001888	-0,08538	-16,6299	6,648316
100	0,236247	-0,57808	-0,05876	-0,2602	-1,95092	38,29691
	-0,10164	-0,79896	-0,99817	-0,01855	13,91099	32,87653
	-0,96636	-0,1658	-0,01459	-0,07102	-20,3468	10,25439

5.2.2 Время продолжительности технологических процессов t можно выразить из формулы (4)

$$t = -\frac{5}{k}\ln\frac{\Pi(t)}{\Pi(0)}, \qquad (8)$$

где t – суммарное время технологических процессов, ч;

$\Pi(0)$ – глубина проникания иглы при температуре 25°С (до старения битума), мм$^{-1}$;

$\Pi(t)$ – требуемая по проекту и дорожно-климатическим условиям или фактическая с учетом старения глубина проникания иглы при температуре 25°С, мм$^{-1}$;

k – коэффициент интенсивности старения битума, принимается по таблице 1 как для изверженных горных пород.

5.2.3 Определение групповых составов битумов нефтяных дорожных вязких и интенсивность их изменения в процессе изотермического прогрева можно определить графически по приложению Г (рисунки Г.1- Г.5).

Пример практического использования формулы (7) для определения группового состава битума нефтяного дорожного вязкого после его старения в составе асфальтобетонной смеси приведен в приложении В.

6 Мероприятия по обеспечению устойчивости битумов

6.1 Для обеспечения требуемой марки битума в асфальтобетоне во вновь построенном дорожном покрытии необходимо, чтобы глубина проникания иглы при температуре 25°С битума в рабочем котле асфальтосмесительной установки назначалась с учетом процессов старения.

Требуемая глубина проникания иглы при температуре 25°С в зависимости от продолжительности технологических этапов и температурных режимов определяется по формуле

$$\Pi(t_{m-1}) = \Pi\left(t_m\right) \cdot e^{\frac{1}{10} \cdot \sum_{m=1}^{4} \left(k_m + k_{m-1}\right) \cdot \Delta t_m}, \qquad (9)$$

где $\Pi\ (t_{m-1})$ – требуемая глубина проникания иглы при температуре 25°С, мм$^{-1}$;

$\Pi\ (t_m)$ – глубина проникания иглы при температуре 25°С (до старения битума), мм$^{-1}$;

С помощью формулы (9) рассчитаем требуемую (начальную) глубину проникания иглы при температуре 25°С битума в рабочем котле асфальтосмесительной установки для того, чтобы получить в конечном итоге битум с показателем глубины проникания иглы 103 мм$^{-1}$. Исходные данные принимаются в соответствии с приложением В и данными таблицы В. 1. В этом случае

$$\Pi\left(0\right) = \Pi(t_4) \cdot e^{\frac{1}{10} \cdot \sum_{m=1}^{4} \left(k_m + k_{m-1}\right) \cdot \Delta t_m} =$$

$$= 103 \cdot e^{\frac{1}{10}[(1{,}1+1{,}1)0{,}5+(1{,}1+1{,}0)0{,}5+(1{,}0+0{,}9)0{,}6+(0{,}9+0{,}4)0{,}4]} =$$

$$= 103 \cdot e^{0{,}381} = 151 \text{мм}^{-1}.$$

Следовательно, чтобы иметь в асфальтобетонном слое покрытия после технологического процесса его устройства длительностью 2 ч битум с глубиной проникания иглы при температуре 25°С, равной 103 мм$^{-1}$, необходимо иметь его первоначальную глубину проникания иглы в рабочем котле асфальтосмесительной установки 151мм$^{-1}$.

В таблице 8 приведены рекомендуемые значения исходной глубины проникания иглы при температуре 25°С битума в рабочем котле асфальтосмесительной установки в зависимости от продолжительности технологических процессов и свойств материалов, полученных расчетным способом с использованием формулы (9).

Таблица 8 – Требуемые значения показателей глубины проникания иглы для битумов в зависимости от длительности технологических процессов производства асфальтобетонных смесей и устройства асфальтобетонных покрытий

Время хранения асфальтобетонной смеси в бункере-накопителе, ч	Время транспортировки, ч	Толщина слоя асфальтобетона, см	Температура наружного воздуха, °С	Вид минерального материала	Требуемые значения показателя глубины проникания иглы для битума нефтяного дорожного вязкого при температуре 25°С, мм $^{-1}$, марки				
					40/60	60/90	90/130	130/200	200/300
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	0,5	4-5	5	Осадочные горные породы	54-79	79-115	115-159	159-228	228-300
			10		56-82	82-119	119-161	161-232	232-300
			25		59-85	85-123	123-166	166-236	236-300
		8-10	5		55-80	80-117	117-160	160-230	230-300
			10		57-83	83-121	121-164	164-234	234-300
			25		59-86	86-124	124-168	168-236	236-300
	1,0	4-5	5		62-90	90-130	130-172	172-234	234-300
			10		64-93	93-133	133-174	174-238	238-300
			25		68-97	97-138	138-178	178-242	242-300
		8-10	5		64-92	92-132	132-173	173-236	236-300
			10		66-94	94-135	135-176	176-240	240-300
			25		68-97	97-139	139-179	179-244	244-300
0,5	0,5	4-5	5		63-91	91-131	131-174	174-250	250-300
			10		65-94	94-134	134-179	179-254	254-300
			25		68-98	98-140	140-185	185-258	258-300
		8-10	5		64-92	92-133	133-177	177-252	252-300
			10		66-95	95-136	136-181	181-254	254-300
			25		69-98	98-140	140-185	185-256	256-300
	1,0	4-5	5		72-103	103-147	147-898	189-256	256-300
			10		74-106	106-151	151-192	192-260	260-300
			25		78-111	111-157	157-198	198-264	264-300
		8-10	5		74-105	105-158	158-191	191-258	258-300

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			10		76-108	108-154	154-195	195-262	262-300
			25		79-112	112-159	159-199	199-266	266-300
1,0	0,5	4-5	5		72-104	104-148	148-194	194-272	272-300
			10		75-107	107-152	152-198	198-278	278-300
			25		78-110	110-158	158-203	203-282	282-300
		8-10	5		74-106	106-150	150-196	196-276	276-300
			10		76-109	109-154	154-200	200-280	280-300
			25		79-112	112-159	159-204	204-284	284-300
	1,0	4-5	5		84-118	118-167	167-209	209-280	280-300
			10		87-121	121-171	171-213	213-284	284-300
			25		91-127	127-177	177-218	218-290	218-300
		8-10	5		86-120	120-169	169-212	212-284	284-300
			10		88-124	124-174	174-215	215-286	286-300
			25		92-128	128-178	178-220	220-290	290-300
-	0,5	4-5	5	Изверженные горные породы	52-74	74-110	110-150	150-216	216-300
			10		53-76	76-112	112-152	152-218	218-300
			25		55-79	79-114	114-155	155-220	220-300
		8-10	5		52-76	76-111	111-151	151-218	218-300
			10		54-77	77-113	113-153	153-219	210-300
			25		56-79	79-115	115-155	155-220	220-300
	1,0	4-5	5		58-82	82-120	120-159	159-224	224-300
			10		60-83	83-122	122-160	160-226	226-300
			25		62-86	86-125	125-163	163-228	228-300
		8-10	5		59-83	83-121	121-160	160-226	226-300
			10		60-85	85-122	122-161	161-226	226-300
			25		62-86	86-125	125-164	164-228	228-300

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,5	4-5	5		59-83	83-122	122-163	163-228	228-300
			10		60-85	85-124	124-165	165-230	230-300
			25		63-88	88-127	127-168	168-232	232-300
		8-10	5		60-84	84-123	123-164	164-228	228-300
			10		62-86	86-125	125-166	166-230	230-300
			25		63-88	88-128	128-168	168-232	232-300
	1,0	4-5	5		66-91	91-132	132-172	172-236	236-300
			10		68-94	94-135	135-174	174-238	238-300
			25		70-96	96-139	139-177	177-240	240-300
		8-10	5		67-92	92-134	134-173	173-238	238-300
			10		69-94	94-137	137-174	174-238	238-300
			25		71-97	97-140	140-177	177-240	240-300
1,0	0,5	4-5	5		67-92	92-135	135-176	176-238	238-300
			10		69-95	95-138	138-178	178-240	240-300
			25		72-98	98-141	141-182	182-244	244-300
		8-10	5		68-94	94-137	137-177	177-240	240-300
			10		70-96	96-139	139-179	179-242	242-300
			25		72-98	98-142	142-182	182-242	242-300
	1,0	4-5	5		75-101	101-148	148-186	186-248	248-300
			10		77-103	103-154	154-189	189-250	250-300
			25		80-106	106-149	149-191	191-252	252-300
		8-10	5		76-103	103-149	149-187	187-250	250-300
			10		78-104	104-151	151-190	190-250	250-300
			25		80-107	107-155	155-192	192-252	252-300

При применении данных таблицы 8 или данных, рассчитанных по формуле (9), следует учитывать региональные условия эксплуатации асфальтобетонных покрытий. К нижнему рекомендуемому пределу показателя глубины проникания иглы относятся битумы, которые рекомендуется использовать в районах с жарким климатом, к верхнему пределу – с холодным климатом.

6.2 При отсутствии возможности получения битума с требуемой глубиной проникания иглы с нефтеперерабатывающих заводов необходимо его доведение непосредственно на месте производства работ путем разжижения исходного вяжущего тяжелыми нефтяными остатками. Например, битумным сырьем (гудроном), битумами нефтяными дорожными жидкими, соответствующими требованиям ГОСТ 11955-82 и другим нормативным документам.

Доведение битума до требуемой глубины проникания иглы осуществляется в специальных обогреваемых емкостях, оборудованных системами принудительного перемешивания, либо в рабочих емкостях асфальтосмесительных установок с обеспеченной циркуляцией.

Количество добавляемого тяжелого нефтяного остатка устанавливается лабораторным путем.

6.3 Выбор вида разжижителя можно осуществлять с учетом исходного группового состава и фактического, полученного расчетным способом по формуле (7) или по рисункам приложения Г.

Например, групповой состав битума марки БНД 90/130 представлен асфальтенами в количестве 19,02%, смолами – 29,15%; ароматическими углеводородами – 43,31% и насыщенными углеводородами – 8,52% (см. приложение Г, рисунок Г.3). После технологического цикла продолжительностью 2 ч и температуры выпуска асфальтобетонной смеси 150°С групповой состав, определенный путем интерполяции показателей, полученных при температурах 140-160°С, составил: асфальтены – 20,4%, смолы – 44,5%; ароматические углеводороды – 27,3% и насыщенные углеводороды – 7,8%. Сравнение полученных результатов позволяет сделать вывод, что наиболее приемлемым разжижителем может служить битумное сырье (гудрон).

6.4 Для снижения негативных процессов старения битумных вяжущих необходимо сократить время пребывания асфальтобетонной смеси в бункерах-накопителях асфальтосмесительной установки, а также время ожидания автомобилей-самосвалов при разгрузке асфальтобетонной смеси.

6.5 При приготовлении асфальтобетонных смесей битум, разогретый до рабочей температуры, в определенных пропорциях дозируется на

высушенные и разогретые минеральные материалы. Время перемешивания смеси зависит от типа приготовляемой смеси и обычно составляет 30-60 с. Температура смешения должна быть достаточно высокой в рамках, установленных ГОСТ 9128-2009, для того, чтобы битум можно было быстро и равномерно распределить по поверхности минерального заполнителя. Чем выше температура смешения, тем большему окислению (старению) подвергнется битум, покрывающий заполнитель. Существуют верхние и нижние пределы температуры выпуска асфальтобетонных смесей, зависящие от марочной вязкости битума, которые определяются требованиями ГОСТ 9128-2009. Если выполняются выше приведенные условия, необходимо стремиться к нижнему установленному температурному пределу.

6.6 В случае укладки горячих асфальтобетонных смесей при пониженной температуре окружающей среды (весной ниже 5°С, осенью – 10°С) или при необходимости их длительной транспортировки, температуру выпускаемой смеси, чтобы компенсировать эти два фактора, повышать нежелательно. Рекомендуется применение специальных модифицирующих добавок (присадок), позволяющих снизить регламентированные температурные интервалы уплотнения.

К веществам, обладающим данными свойствами, относятся парафины или жирные кислоты (Sasobit, Thiopave, TLA-X), комбинации химических добавок (Cecabase RT, Evotherm, Rediset WMX) и др. Количество вводимой добавки определяется лабораторным путем.

6.7 Для предотвращения процесса попадания воздуха в бункер-накопитель асфальтосмесительной установки необходимо сделать так, чтобы загрузочная и нижняя заслонки были плотно пригнаны и воздухонепроницаемы, а также обеспечить изоляцию корпуса. Если нижняя заслонка воздухопроницаема, то в бункере происходит «вытяжка» воздуха по принципу печной трубы: через загрузочную заслонку попадает воздух, окисляя смесь. Бункер должен быть максимально заполнен, насколько это возможно, для того, чтобы в его верхней части не оставалось места для воздуха. Кислород воздуха, оставшийся в верхней части не до предела заполненного бункера, реагирует с битумом верхнего слоя асфальтобетонной смеси. В результате этой реакции образуется диоксид углерода, который, будучи тяжелее воздуха, оседает на поверхности смеси, защищая ее от дальнейшего окисления. Рекомендуется производить дооснащение бункеров специальными приспособлениями для нагнетания внутрь не содержащих кислорода газов, в том числе образующихся в процессе горения в сушильном барабане. Эти газы защищают смесь от

находящегося в бункере воздуха, а также создают избыточное давление, препятствующее поступлению кислорода воздуха.

6.8 Увеличение толщины битумной пленки приводит к значительному снижению процессов старения. В данном ракурсе предпочтительно применение в верхних слоях дорожной одежды щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей.

6.9 Рекомендуется использовать в качестве минеральных материалов при производстве асфальтобетонных смесей щебня изверженных горных пород.

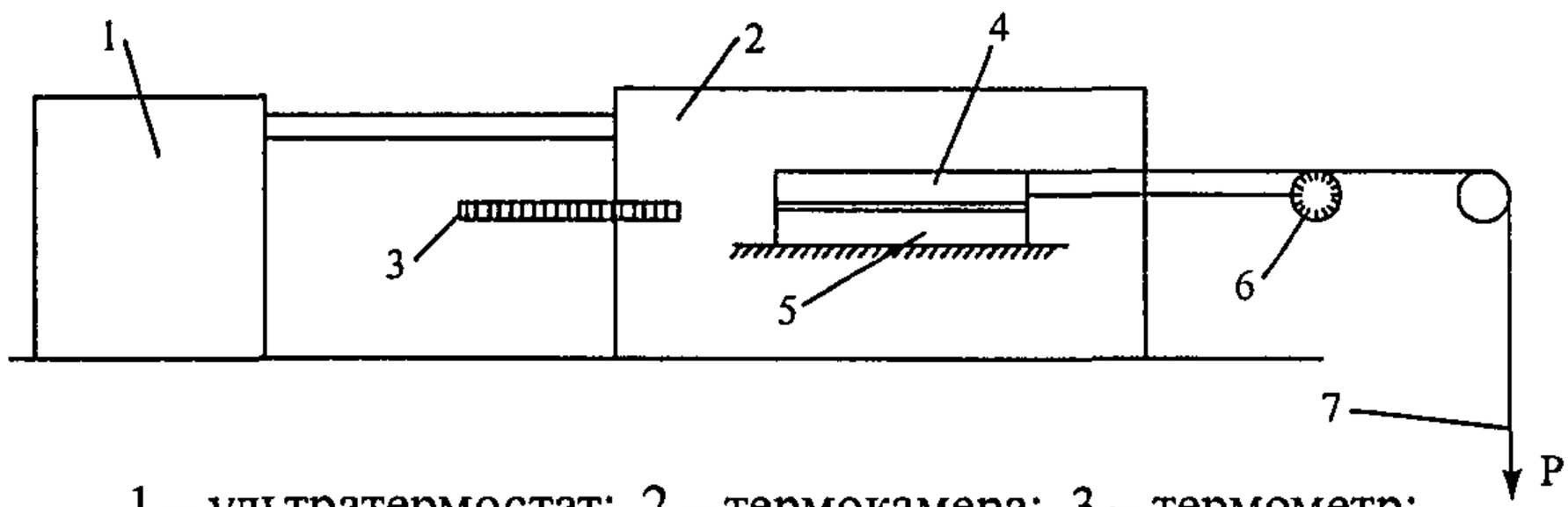
6.10 Возможно применение предварительно активированных минеральных материалов, в том числе активированных минеральных порошков.

Приложение А

Методика определения динамической вязкости битума

А.1 Сущность метода определения динамической вязкости битума заключается в измерении деформации битумной пленки под действием прилагаемой нагрузки.

Для проведения испытаний используется прибор плоскопараллельного сдвига (рисунок А. 1).



1 – ультратермостат; 2 – термокамера; 3 – термометр;
4 – подвижная пластина; 5 – жестко закрепленная пластина;
6 – индикатор часового типа; 7 – грузовая площадка

Рисунок А.1 – Схема прибора по определению динамической вязкости битума

А.2 Подготовка к испытаниям образца битума производится следующим образом. Битум, разогретый в зависимости от марочной вязкости до требуемой температуры, в заданном количестве, обеспечивающем толщину битумной пленки 50 мкм, наносится на одну из пластин, выполненную из минеральных материалов различного происхождения, установленную на строго горизонтальной поверхности, и распределяется по ее поверхности. Предварительно производится нагрев пластин до температуры, аналогичной температуре применяемого органического вяжущего, в соответствии с требованиями ГОСТ 9128-2009. Количество битума определяется взвешиванием с точностью до 0,001 г с таким расчетом, чтобы с учетом площади пластины и плотности битума получить пленку заданной толщины, эквивалентную средней толщине пленки на зернах минеральной части асфальтобетонной смеси. После этого пластины прижимают друг к другу и охлаждают до комнатной температуры. После остывания при комнатной температуре в течение 1 ч пластины помещают под нагрузку 20Н на 2 ч.

С помощью ультратермостата (см. рисунок А.1) путем непрерывной циркуляции горячей воды устанавливают и в дальнейшем поддерживают в термокамере температуру воздушной среды, равную (50±0,5)°С. После достижения заданной температуры в камеру помещают пластины, где происходит их термостатирование в течение 1,5 ч и более.

Испытание производится следующим образом. На грузовую площадку устанавливают груз, берут начальный отсчет по индикатору и одновременно включают секундомер, фиксируя через определенные промежутки времени рост деформации ползучести верхней пластины относительно нижней. Первоначальную нагрузку выбирают таким образом, чтобы только началась, притом очень медленная, деформация течения. После нескольких отсчетов, когда скорость деформации стала постоянной, нагрузку увеличивают и производят те же операции. Максимальная нагрузка определяется возможностью точного взятия отсчетов по секундомеру и индикатору.

После определения начальной вязкости битума пластины разъединяют. Далее процедура повторяется только с одним различием, что перед испытанием битум в тонкой пленке термостатируется при заданной температуре и времени, которые соответствуют технологическим параметрам производства асфальтобетонных смесей и устройства асфальтобетонных покрытий.

А.3 Обработка результатов испытаний включает построение графиков в координатах «относительная деформация – напряжение сдвига» при различных значениях последнего показателя. На линейных участках этих графиков определяют скорость относительной деформации dε/dt по формуле

$$d\varepsilon/dt=\Delta\varepsilon/(\ell\cdot\Delta t), \qquad (А.1)$$

где $\Delta\varepsilon$ – приращение абсолютной деформации, мм, за время Δt, с;

ℓ – размер пластины в плоскости сдвига, мм.

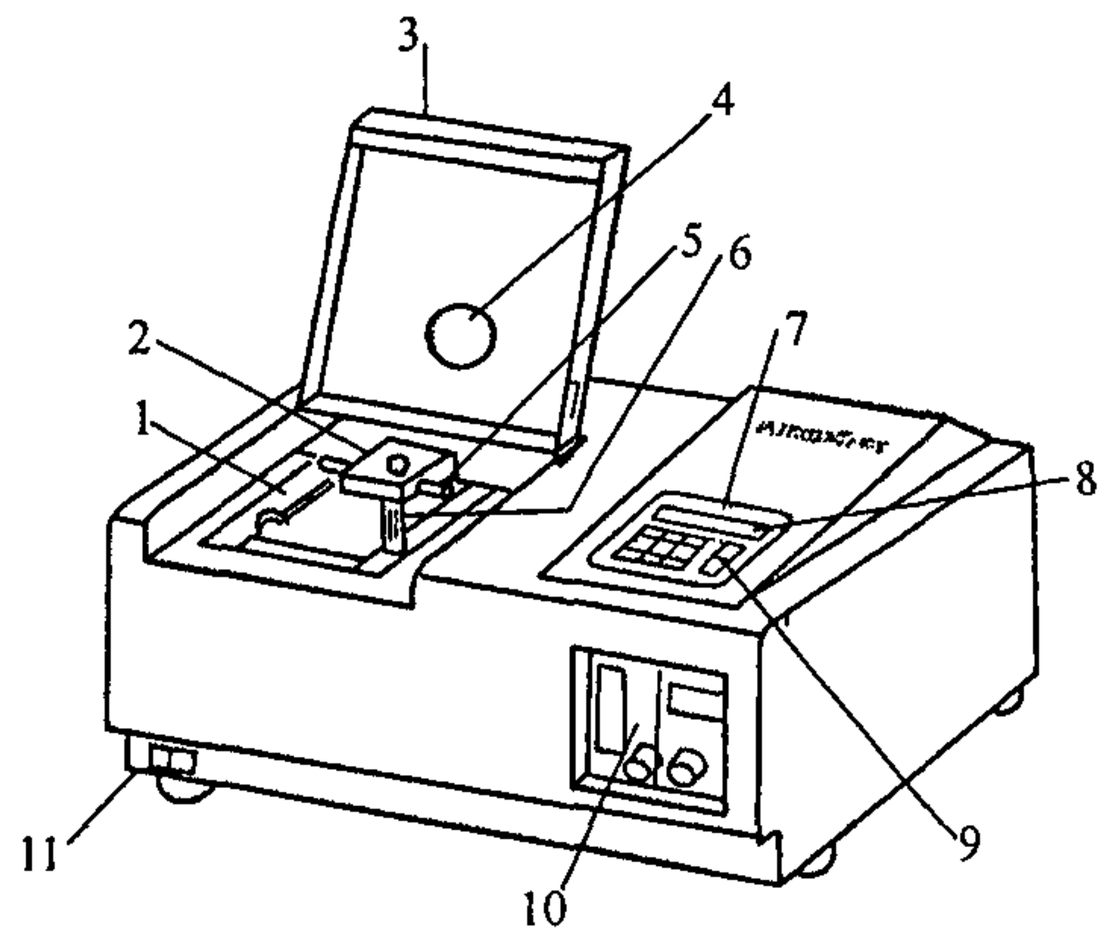
После этого, определив напряжение сдвига σ как частное определение нагрузки на площадь пластин, вычисляют значение вязкости η, Па·с, по формуле

$$\eta=\sigma/(d\varepsilon/dt). \qquad (А.2)$$

За величину вязкости принимают среднее арифметическое из двух параллельных определений, расхождение между ними не должно превышать 10%.

Приложение Б
Методика определения группового состава битума с помощью анализатора тонкослойной хроматографии (TLC) с системой пламенной ионизации (FID) марки IATROSKAN MK-5

Б.1 Комплект оборудования к анализатору тонкослойной хроматографии (TLC) и системы пламенной ионизации (FID) марки IATROSKAN MK-5 (рисунок Б.1) представлен прибором для нанесения проб модели SES 3200/IS02, проявочными камерами TLS, набором кварцевых стержней (хромародов), сушильной камерой, кассетой для удерживания стержней SD-5. Оценка и обсчет полученных результатов производятся с помощью программного обеспечения SES – Chromstar.



1 – сканирующая рамка; 2 – коллектор-электрод; 3 – верхняя крышка; 4 – тепловентиляция; 5 – подъемная булавка; 6 – водородная горелка; 7 – клавиатура; 8 – дисплей; 9 – рабочие клавиши; 10 – панель управления водородом и воздухом; 11 – переключатель мощности

Рисунок Б.1 – Общий вид анализатора тонкослойной хроматографии (TLC) и системы пламенной ионизации (FID) марки IATROSKAN MK-5

Аттестация анализатора тонкослойной хроматографии проводится 1 раз в год.

Б.2 Методика определения компонентного состава битумов состоит из следующих основных операций.

Битумная проба предварительно растворяется в тетрогидрофуране в соотношении 20 мг/мл.

Полученный раствор с помощью прибора для нанесения проб модели SES 3200/IS02 наносится кратное число раз на ряд стержней (хромародов), покрытых SiO_2, так, чтобы получить пятно не шире 2-3 мм. Кварцевые стержни (хромароды) в количестве 10 шт. располагаются в специальной удерживающей кассете.

Затем в течение 1-2,5 мин производится сушка стержней с нанесенными на них пробами в специальной сушильной камере при температуре 40-60°С.

Для разделения битумной пробы приготавливаются три вида выделяющих растворителя:

- n-гептан;
- толуол / n-гептан (в процентных соотношениях 80/20);
- дихлорметан / метанол (в процентных соотношениях 95/5).

Каждый из приготовленных растворов объемом 70 мл заливается в определенную проявочную камеру. Проявочные камеры выполнены из стекла и имеют площадь поверхности 15×13 см и высоту 18 см. На задней стенке проявочной камеры помещается фильтровальная бумага размером 15×15 см, чтобы обеспечить насыщение объема газовой фазой.

Удерживающую кассету с расположенными в ней кварцевыми стержнями (хромародами) для обеспечения разделения битумной пробы последовательно помещают в каждую из проявочных камер. Время выдержки при применении растворителя n-гептан составляет 25 мин, толуол / n-гептан – 7 мин, дихлорметан / метанол – 2,5 мин. Между отдельными стадиями разделения стержни в течение 1-2,5 мин сушились в сушильном шкафу при температуре 40-60°С.

В первой проявочной камере разделение пробы битума производится на высоту до 9 см, во второй – до 5 см и в последней – до 2,5 см.

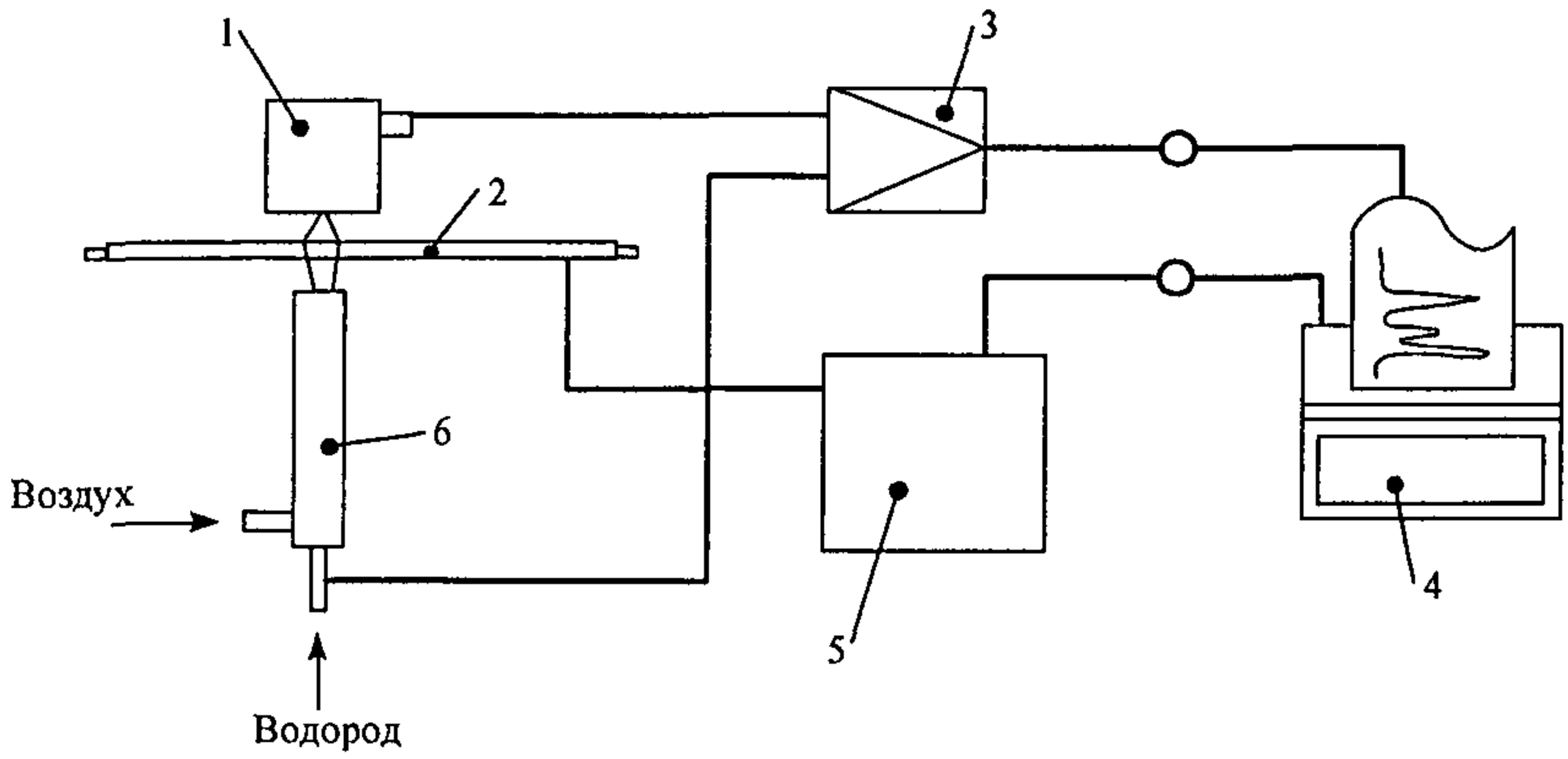
Насыщенные фракции проявляются до 9 см в первой ванне, чтобы избежать превышения отметки 10 см, где начинает сканировать ионизационный детектор. Проявление 5 см во второй ванне ставит ароматику в такое положение, чтобы она не перекрывалась углеводородами и смолами, т. е. их пиками на хроматограмме.

Приготовленные таким образом стержни располагаются в сканирующей рамке анализатора тонкослойной хроматографии (см. рисунок Б.1).

Ионизационный детектор (FID) работает при расходе водорода 160 мл/мин и расходе воздуха 2 л/мин.

При проведении сканирования органические компоненты, выделенные из нанесенной пробы, ионизируются энергией водородного пламени. Полученные ионы имеют как отрицательные, так и положительные заряды. Водородная горелка имеет положительный полюс, а расположенный под ней электрод коллектора действует как отрицательный (рисунок Б.2). Благодаря этому отрицательные ионы текут к горелке, а положительные ионы – к электроду коллектора. Эти потоки ионов текут между горелкой и электродом коллектора пропорционально массе компонентов анализируемого вещества. Величина потока усиливается контуром и регистрируется аппаратом обработки данных (интегратором).

Интегратор производит нелинейную калибровку и распечатывает калибровочную кривую для ее дальнейшей оценки. Данная система позволяет установить режим автоматического расчета пиковых площадей, высот и затем вывести получаемые результаты с указанием числовых значений и времени задержки (прохождения процесса) на принтер (рисунок Б.3).



1 – коллектор-электрод; 2 – прутки; 3 –усилитель тока / напряжения; 4 – интегратор; 5 – контроллер сканирования; 6 – горелка

Рисунок Б.2 – Схема системы пламенной ионизации (FID)

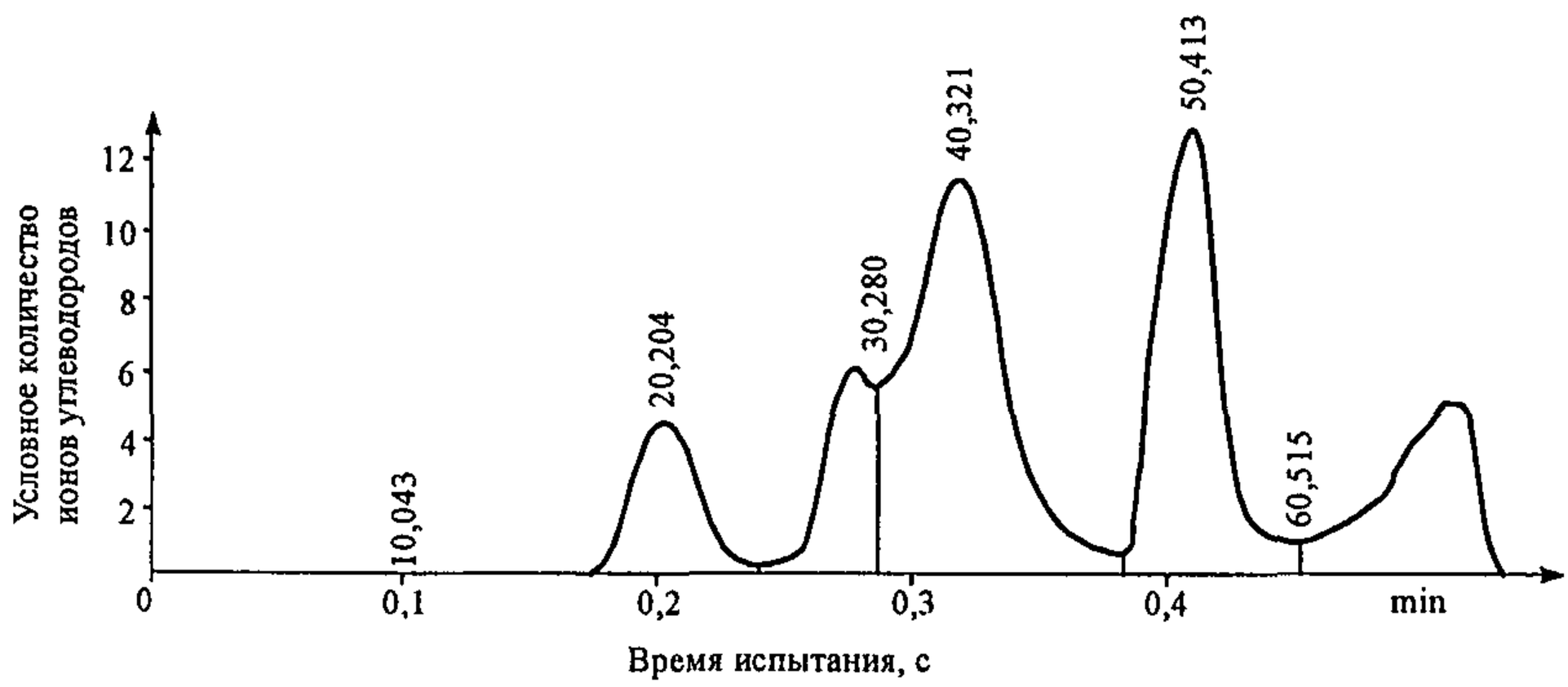


Рисунок Б.3 – Хроматограмма группового состава битума

Б.3 Подготовка проб для испытания битума на старение в тонком слое (50 мкм) осуществляется следующим образом.

Определенное количество битума, обеспечивающее заданную толщину пленки (50 мкм), помещается на поверхность пластины, выполненной из минеральных материалов различного происхождения, или на поверхность пластины из стекла, установленных на строго горизонтальной поверхности. При щадящем нагреве битум распределяется равномерным заданным слоем. Далее испытуемый образец устанавливается на горизонтальную решетку сушильного шкафа, предварительно подогретого до температуры, устанавливаемой требованиями ГОСТ 9128-2009. В процессе испытаний осуществляется непрерывный контроль поддерживаемой температуры. По истечении заданного времени прогрева образцы вынимают из сушильного шкафа и охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры. Затем битумную пленку смывают с подложки тетрагидрофураном до полной очистки. При этом количество растворителя определяется таким образом, чтобы получить 1%-ный раствор пробы (по объему).

Приложение В
Примеры расчета прогнозируемых значений динамической вязкости, глубины проникания иглы и группового состава битума нефтяного дорожного вязкого в процессе его старения в тонких пленках

В.1 Рассмотрим конкретный пример расчета значения динамической вязкости битума нефтяного дорожного вязкого в процессе его старения в составе асфальтобетонной смеси. Для этого воспользуемся формулой (2) и нижеприведенными исходными данными.

Предположим, что технологический процесс производства асфальтобетонной смеси и устройства покрытия включает:

- выпуск горячей плотной асфальтобетонной смеси типа А на основе битума марки БНД 90/130 при первоначальном значении глубины проникания иглы при температуре битума 25°С, равной 103мм$^{-1}$(в рабочей емкости асфальтосмесительной установки). В качестве горной породы минеральной составляющей асфальтобетона используется гранит. Время хранения в бункере-накопителе асфальтосмесительной установки составляет 0,5 ч при температуре 150°С. В этом случае температура остается постоянной;

- транспортировку асфальтобетонной смеси в течение 0,5 ч, при этом скорость остывания смеси соответствует 20°С/ч, т.е. температура снизилась со 150°С до 140°С;

- выгрузку асфальтобетонной смеси в приемный бункер асфальтоукладчика и ее распределение слоем по основанию. Температура снизилась со 140°С до 130°С. С учетом времени ожидания разгрузки, скорости движения асфальтоукладчика 3 м/мин и длины захватки 100 м время на укладку составляет 0,6 ч;

- уплотнение асфальтобетонной смеси отрядом моторных катков на захватке длиной 100 м. За этот временной промежуток температура изменилась от 130°С до 70°С, а время уплотнения (остывания до 70°С) соответствовало 0,4 ч.

Для технологии производства, описанной выше, исходные данные со значениями коэффициентов интенсивности старения битумов на технологических этапах, применяемые в соответствии с таблицей 1, приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Исходные данные для расчета

Наименование технологического этапа m	Горная порода минеральной части асфальтобетона	Продолжительность этапа Δt_m, ч	Температура		Коэффициент интенсивности старения битума	
			в начале этапа T_{m-1}, °С	в конце этапа T_m, °С	в начале этапа k_{m-1}	в конце этапа k_m
Хранение	Изверженные горные породы	0,5	150	150	1,1	1,1
Транспортировка		0,5	150	140	1,1	1,0
Ожидание, выгрузка и укладка		0,6	140	130	1,0	0,9
Уплотнение		0,4	130	70	0,9	0,4

С учетом технологических режимов, приведенных в таблице В.1, динамическая вязкость в конце технологического процесса по формуле (2) будет равна

$$\eta(t_4) = \eta(0)\cdot e^{\frac{1}{2}\cdot\sum_{m=1}^{4}(k_m+k_{m-1})\cdot\Delta t_m} =$$

$$= 2{,}8\cdot 10^6\cdot e^{\frac{1}{2}((1{,}1+1{,}1)0{,}5+(1{,}1+1{,}0)0{,}5+(1{,}0+0{,}9)0{,}6+(0{,}9+0{,}4)0{,}4)} =$$

$$= 2{,}8\cdot 10^6\cdot e^{1{,}905} = 0{,}19\cdot 10^8 \text{ Па·с.}$$

В. 2 Рассмотрим конкретный пример расчета значения глубины проникания иглы при температуре 25°С битума нефтяного дорожного вязкого в процессе его старения в составе асфальтобетонной смеси. Для этого воспользуемся формулой (5). Исходные данные принимаются в соответствии с п. В.1 данного приложения и сведениями таблицы В.1. В этом случае ожидаемое значение показателя глубины проникания иглы для битума после устройства покрытия составит

$$\Pi(t_4) = \Pi(0)\cdot e^{-\frac{1}{10}\cdot\sum_{m=1}^{4}(k_m+k_{m-1})\cdot\Delta t_m} =$$

$$= 103\cdot e^{-\frac{1}{10}((1{,}1+1{,}1)0{,}5+(1{,}1+1{,}0)0{,}5+(1{,}0+0{,}9)0{,}6+(0{,}9+0{,}4)0{,}4)} =$$

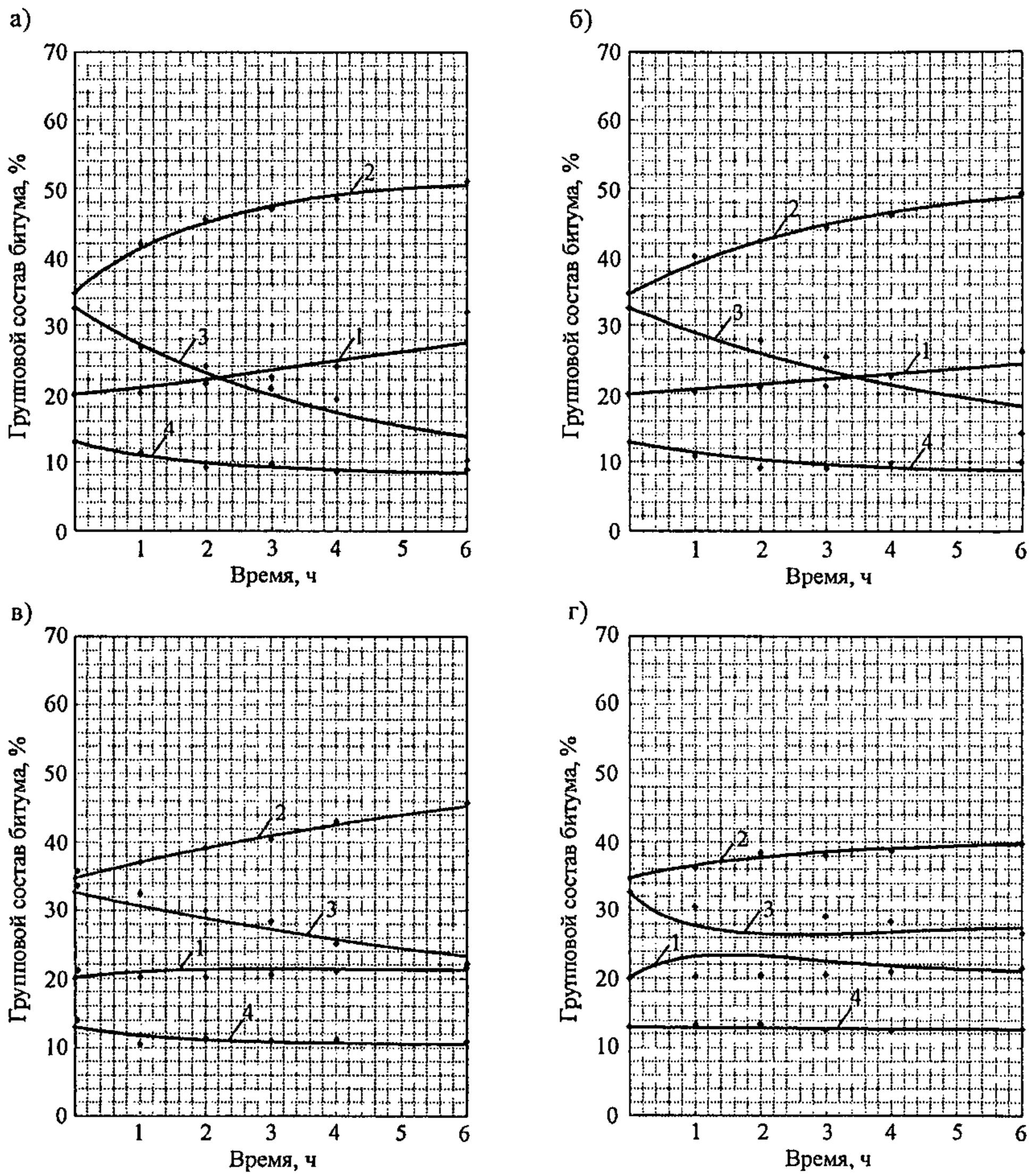
$$= 103\cdot e^{-0{,}382} = 71 \text{ мм}^{-1}.$$

В.3 В качестве примера определим групповой состав битума марки БНД 90/130 при температуре 160°С. В этом случае, используя формулу (7) и данные таблицы 5, получим

$$\begin{cases} y_1(t) = -33,4 \cdot e^{-0,77t} + 9,7 \cdot e^{-0,41t} + 0,7 \cdot e^{-0,36t} + 52,1 \\ y_2(t) = 14,6 \cdot e^{-0,77t} + 15,5 \cdot e^{-0,41t} + 0,8 \cdot e^{-0,36t} + 12,4 \\ y_3(t) = 5 \cdot e^{-0,77t} - 0,5 \cdot e^{-0,41t} - 3 \cdot e^{-0,36t} + 7. \end{cases}$$

Подставляя в систему уравнений значение времени технологических процессов t, ч, определяемое по формуле (8), можно получить числовые показатели компонентов, что позволяет прогнозировать изменение группового состава битума в процессе изотермического прогрева при разных температурах и времени. А также определить фактический групповой состав битума в асфальтобетоне дорожного покрытия.

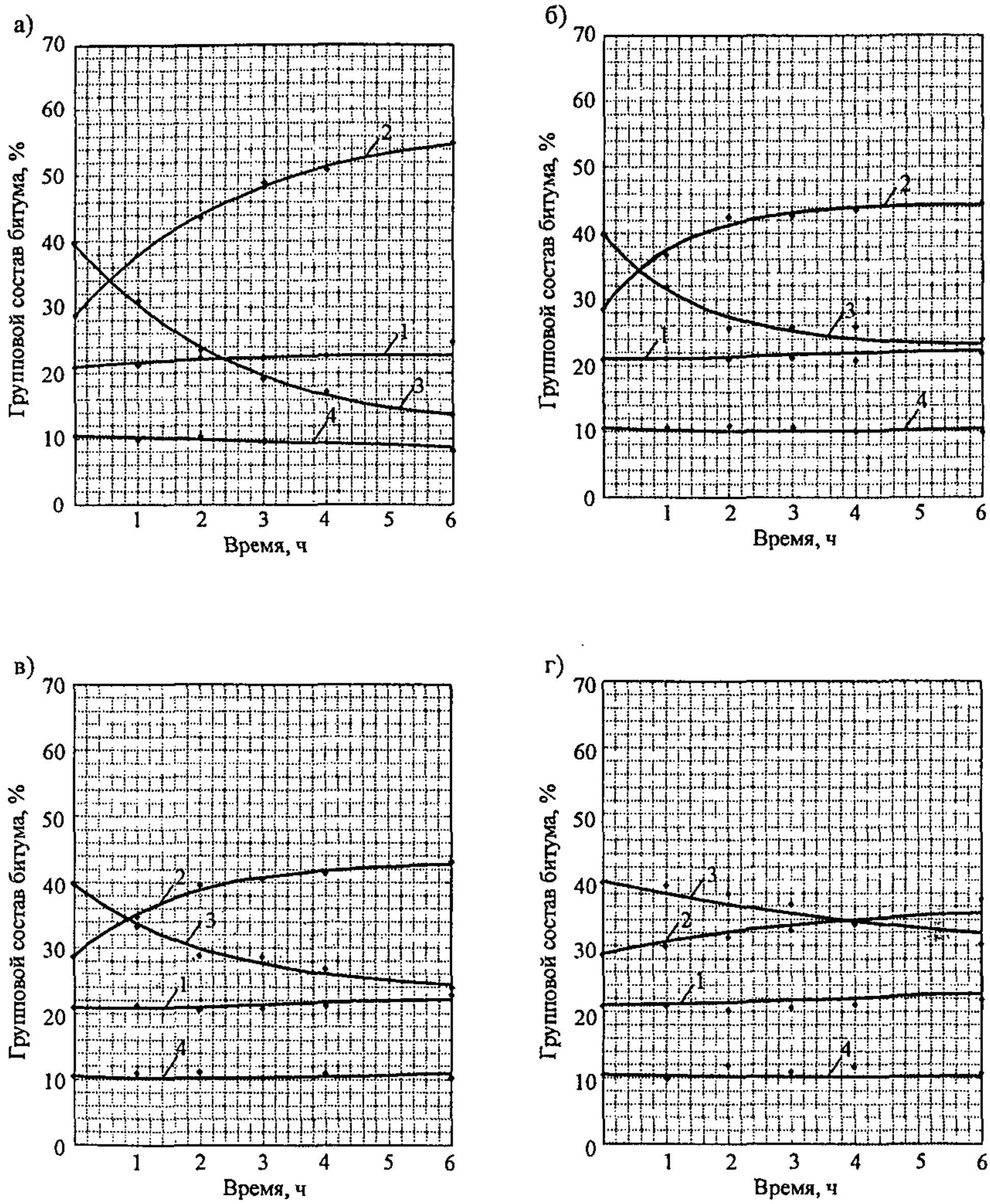
Приложение Г
(справочное)
Изменение групповых составов битумов нефтяных дорожных вязких в процессе их прогрева при постоянной температуре



1– асфальтены; 2 – смолы; 3,4 – соответственно ароматические и насыщенные углеводороды

Рисунок Г.1 – Изменение группового состава битума марки БНД 40/60 в тонкой пленке (50 мкм) в процессе ее термостатирования при температурах:

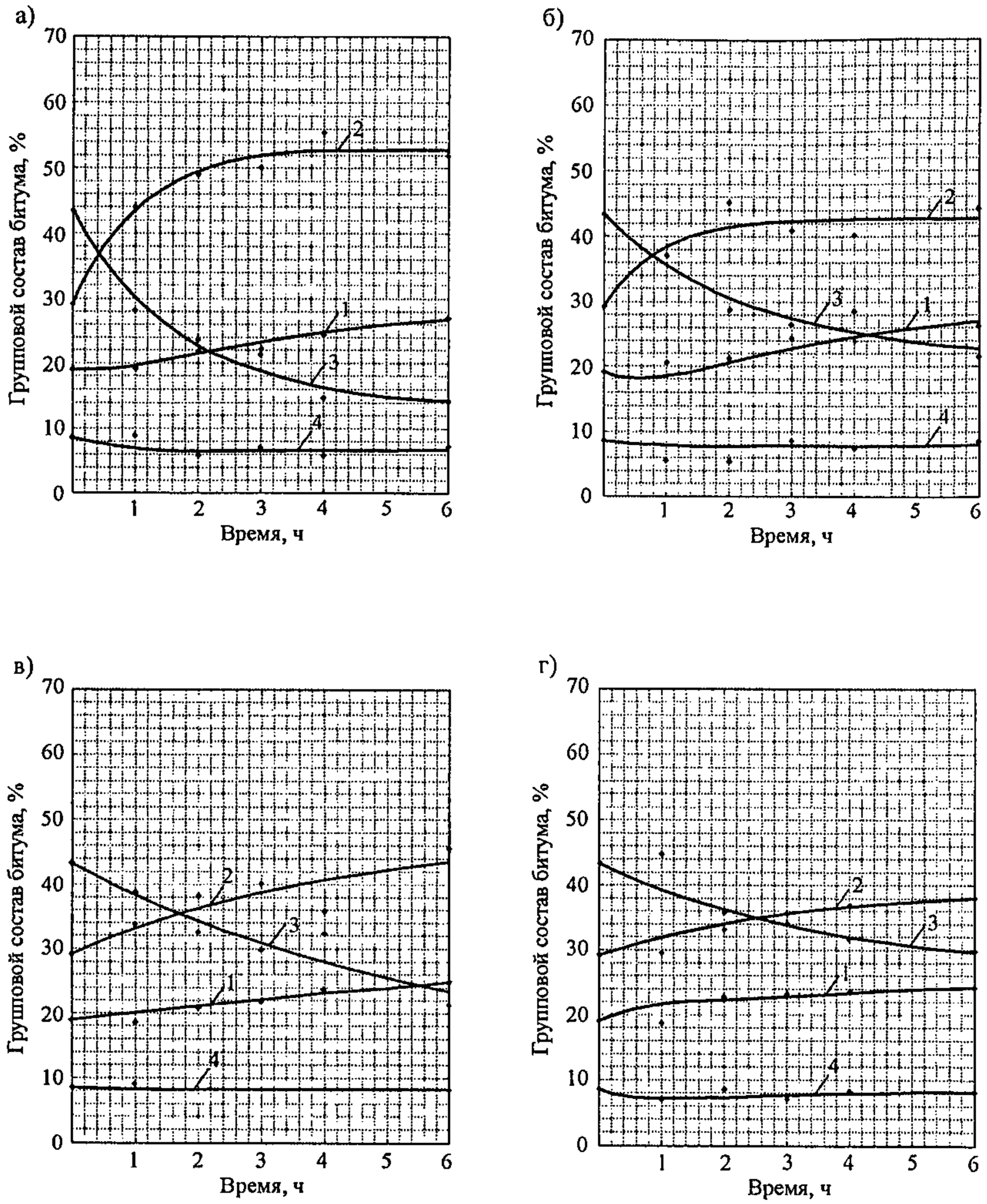
а – 160°С; б – 140°С; в – 120°С; г – 100°С



1– асфальтены; 2 – смолы; 3,4 – соответственно ароматические и насыщенные углеводороды

Рисунок Г.2 – Изменение группового состава битума марки БНД 60/90 в тонкой пленке (50 мкм) в процессе ее термостатирования при температурах:

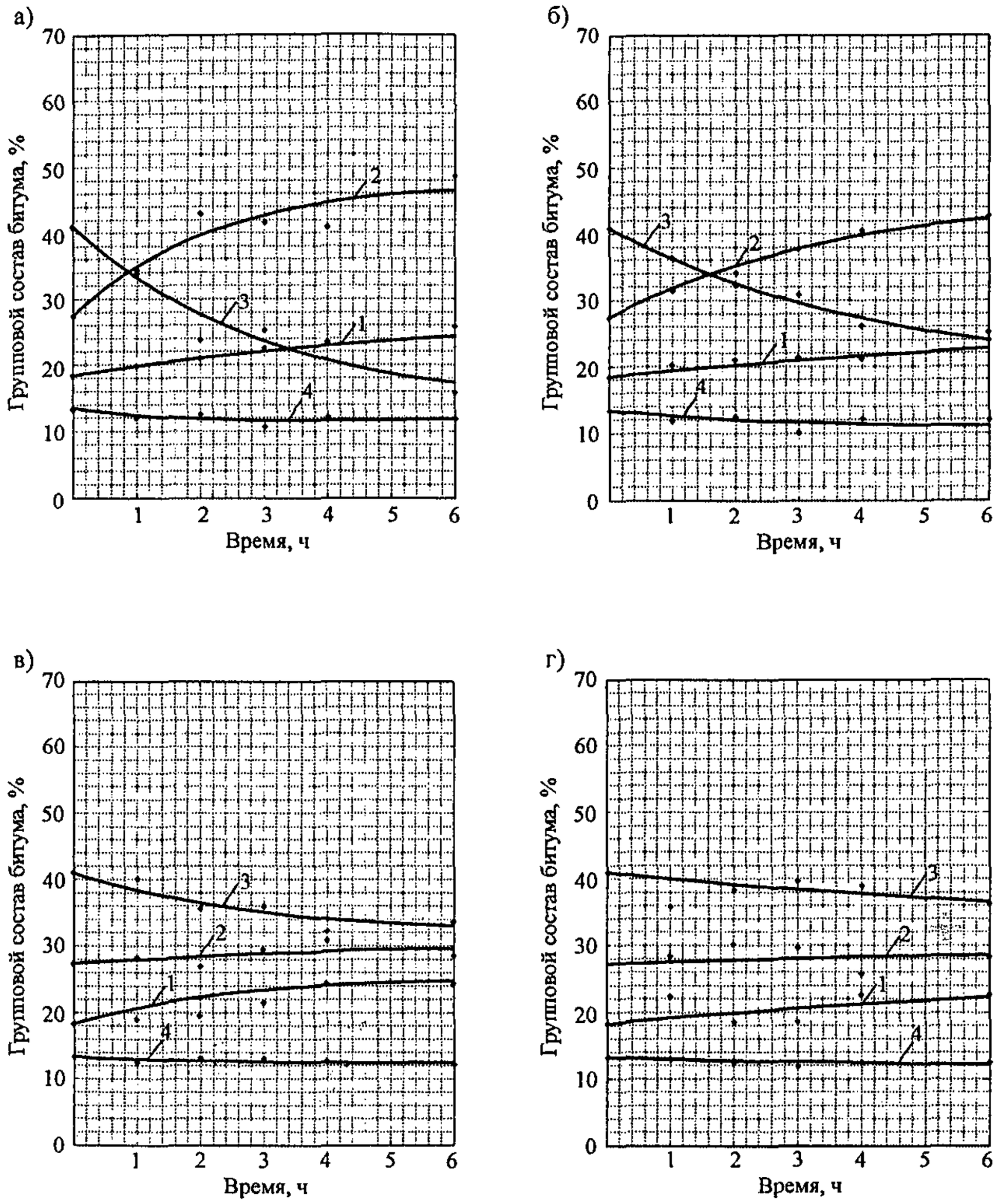
а – 160°С; б – 140°С; в – 120°С; г – 100°С



1– асфальтены; 2 – смолы; 3,4 – соответственно ароматические и насыщенные углеводороды

Рисунок Г.3 – Изменение группового состава битума марки БНД 90/130 в тонкой пленке (50 мкм) в процессе ее термостатирования при температурах:

а – 160°С; б – 140°С; в – 120°С; г – 100°С



1– асфальтены; 2 – смолы; 3,4 – соответственно ароматические и насыщенные углеводороды

Рисунок Г.4 – Изменение группового состава битума марки БНД 130/200 в тонкой пленке (50 мкм) в процессе ее термостатирования при температурах:

а – 160°С; б – 140°С; в – 120°С; г – 100°С

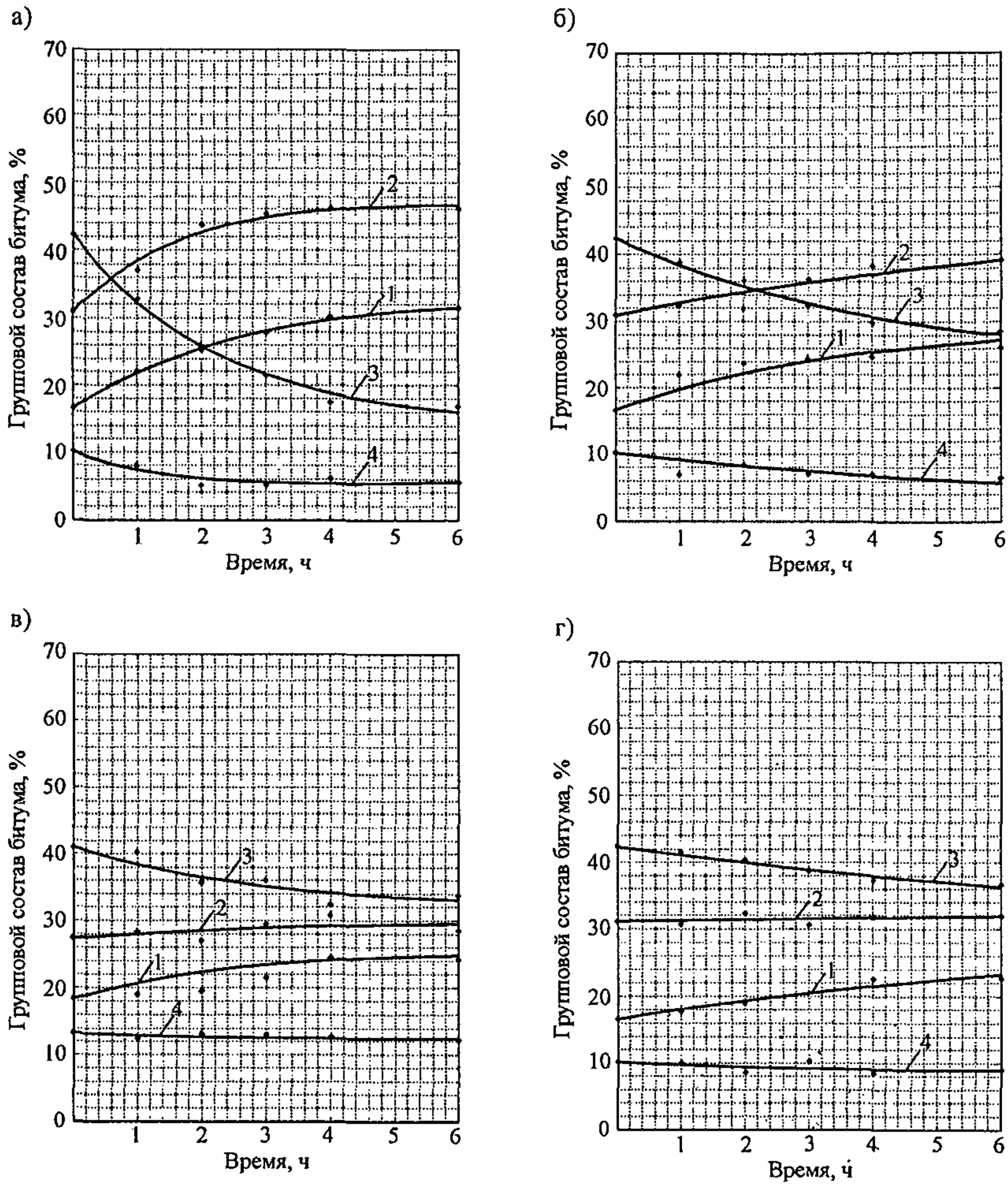


Рисунок Г.5 – Изменение группового состава битума марки БНД 200/300 в тонкой пленке (50 мкм) в процессе ее термостатирования при температурах:
а – 160°С; б – 140°С; в – 120°С; г – 100°С

ОКС
Ключевые слова: старение битума, динамическая вязкость, групповой состав, глубина проникания иглы

Руководитель организации-разработчика
ООО «Стройсервис»

Генеральный директор _____ Я. А. Вагнер

Отпечатано в ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР"

Адрес ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР":
129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел.: (495) 747-9100, 747-9105, тел./факс: 747-9113
E-mail: avtodor@infad.ru
Сайт: www.informavtodor.ru