



ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Разработаны и внедрены:

1. Золотарев В.А., Братчун В.И. Рекомендации по улучшению качества каменноугольных смол и дегтей отходами производства поливинилхлорида / Минавтодор РСФСР : Введ. 01.01.82 г. – М. : 1982. – 21 с.
2. Гохман Л.М., Шемонаева Д.С., Гурарий Е.М., Братчун В.И. и др. / Методические рекомендации по приготовлению комплексных органических вяжущих на основе продуктов переработки нефти и угля, ПАВ, полимеров и других высокодисперсных наполнителей. - М. : Минтрансстрой СССР, СоюздорНИИ, 1986. – 50с.
3. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови». – Замість ДСТУ Б В.2.7-119-2003; чинний з 2012-10-01. - Київ: Мінрегіон України, 2012. – 39 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-138:2007 «Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. – Київ : Мінрегіон України, 2012. – 39 с.



Автомагистраль Одесса-Рени

«ЛИТЫЕ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА И СТРОИТЕЛЬСТВА ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ»

Авторы: **Братчун В. И., д.т.н., проф.**
Беспалов В.Л., к.т.н., доц.
Пактер М.К., к.т.н., доц.
Стукалов А.А., к.т.н., ас.
Ромасюк Е.А., к.т.н., ас.

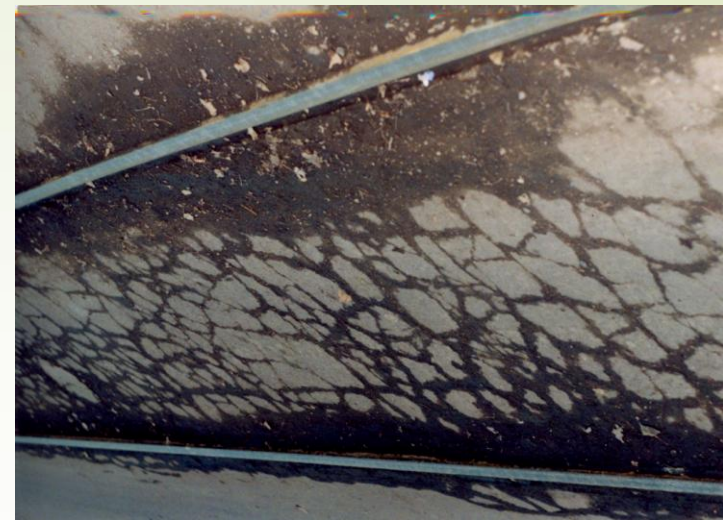
*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»*



Сдвиг покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с образованием волн



Сдвиг покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с образованием волн

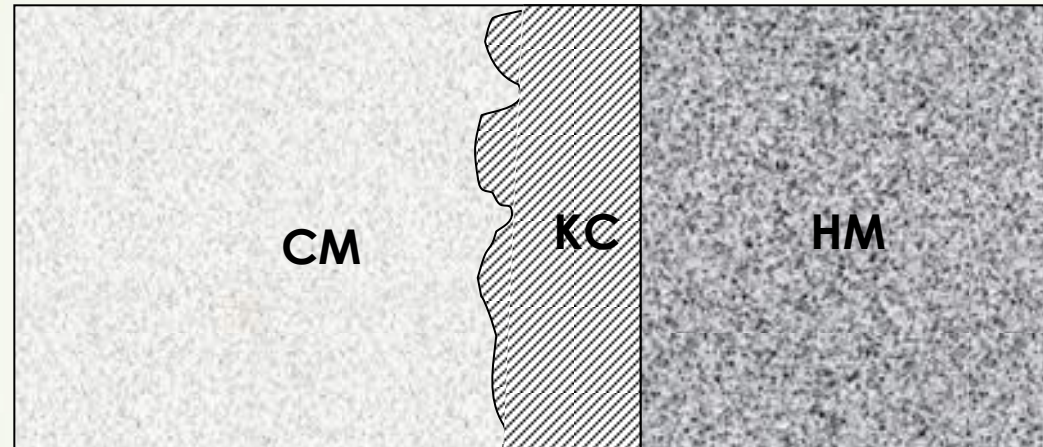


Хрупкий разрыв асфальтобетонного покрытия



Выбоины на асфальтобетонном покрытии

Схема формирования макроструктуры в ремонтируемой карте асфальтобетона (дегтебетона): СМ – старый материал (слой ремонтируемого асфальтобетонного покрытия); КС – контактный слой, представленный новым и старым материалами; НМ – новый материал (литая смесь)



$$\text{НДС (см)} (E, \eta, \varepsilon, \sigma_{\text{изг}} \dots) = \text{НДС (кс)} = \text{НДС (нм)} \quad (1)$$

где: НДС – напряженно-деформированное состояние старого материала (см), контактного слоя (кс) и нового материала (нм) соответственно;
 $E, \eta, \varepsilon, \sigma_{\text{изг}}$ – модуль упругости (МПа), вязкость (Па·с), относительная деформация и предел прочности при изгибе (МПа) соответственно

Когезия контактного слоя ($\sigma_{к (КС)}$) не должна превышать значения адгезии (σ_a) в системе СМ-КС-НМ более четырех (2)

$$\sigma_{к (КС)} < 4 \sigma_a (НМ \text{ и } СМ) \quad (2)$$

$$D_c = f(R_{изг}^c, F, K_{вд}, \tau_{сдв}, T_{стекл}, K_{стар.}) \quad (3)$$

$$R_{изг}^c = f(R_{нм}^c \approx R_{кс}^c \approx R_{рп}^c) \quad (4)$$

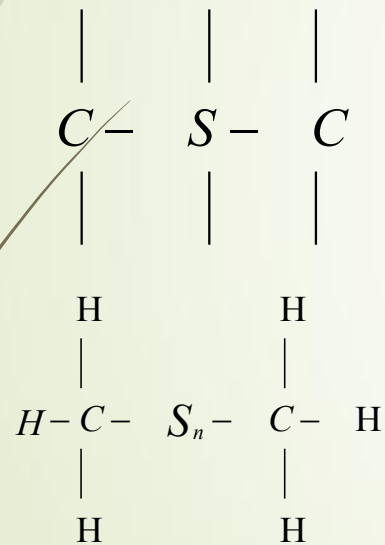
где: D_c – долговечность системы (лет); $R_{изг}^c$ – предел прочности при изгибе системы с учетом изменения её в процессе старения, МПа; F – морозостойкость; $K_{вд}$ – коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении; $T_{стекл}$ – трещиностойкость, °С (МПа); $K_{стар}$ – коэффициент старения; $R_{нм}^c, R_{кс}^c, R_{рп}^c$ – предел прочности при изгибе нового материала, контактного слоя и ремонтируемого покрытия соответственно с учетом изменения его в процессе эксплуатации, МПа.

Недостатки известных горячих литых асфальтобетонных смесей:

- ▶ высокая энергоемкость производства (температура производства и укладки смеси 210-240°С),
- ▶ узкий температурный интервал вязкоупругого состояния (70-80°С),
- ▶ интенсивное старение и низкие значения деформационно-прочностных характеристик
- ▶ недостаточная деформативная способность и сдвигоустойчивость.

Модификацию битума бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 необходимо вести из раствора в углеводородных фракциях. Можно предположить, что в этом случае при концентрации СКМС-30 2-3 % мас. в органическом вяжущем в области эксплуатационных температур сформируется термофлуктуационная пространственная полимерная сетка. Узлами цепей из макромолекул и надмолекулярных образований СКМС-30 являются α -метилстиольные блоки, которые объединяются между собой с понижением температуры до точки перехода полистирола в стеклообразное состояние. Прочность термофлуктуационной пространственной полимерной сетки должна определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность - кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

По мере увеличения концентрации элементарной серы (температура объединения битума и серы 155-160 °С) должно произойти увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы должна принять участие в вулканизации бутадиенметилстирольного каучука



- (образуются преимущественно моносulfидные

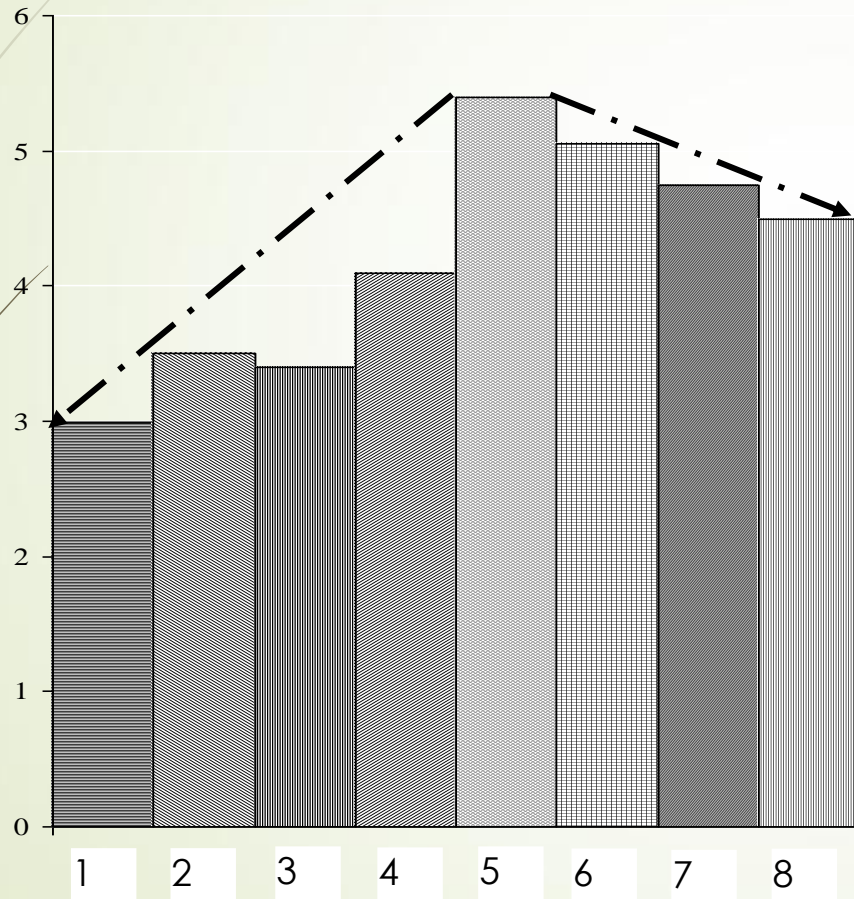
- и поперечные полиsulfидные связи типа).

До 10 % мас. серы вступит в химическое взаимодействие с углеводородами битума.

Произойдет –S– дегидрирование и образование асфальтеноподобных веществ. Часть серы растворится (20-26 %мас.). Остальная сера должна диспергироваться в битуме до коллоидного состояния. Это приведет к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия частиц серы через прослойки полимера. В битумополимерсерном вяжущем возникнет трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

Активация поверхности минерального порошка СКМС-3 должна привести к формированию на поверхности порошка структурно-упрочненного слоя полимера, который повысит адгезию битумополимерсерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сополимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, аутогезии макромолекул СКМС-30. Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией, что и определит долговечность модифицированного асфальтобетона в условиях влажного и жаркого климата.

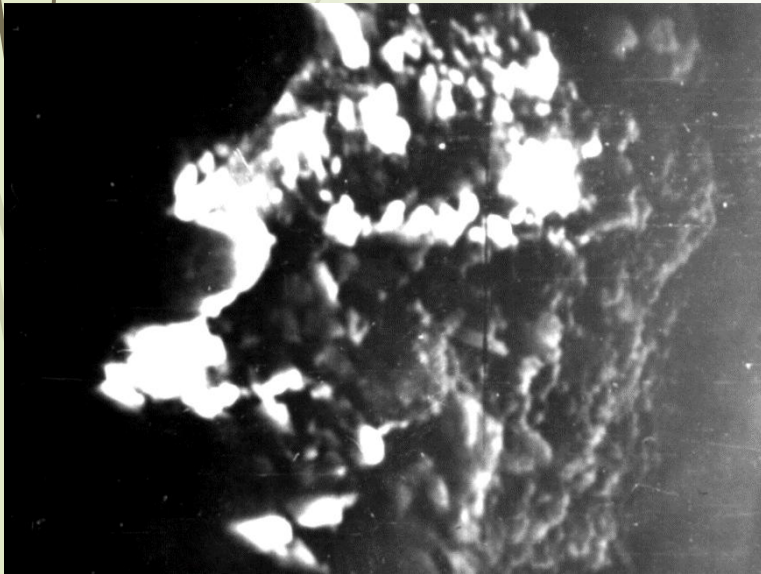
Диаграмма предела прочности при сжатии при температуре 20°C R_{20} мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовязущего вещества:



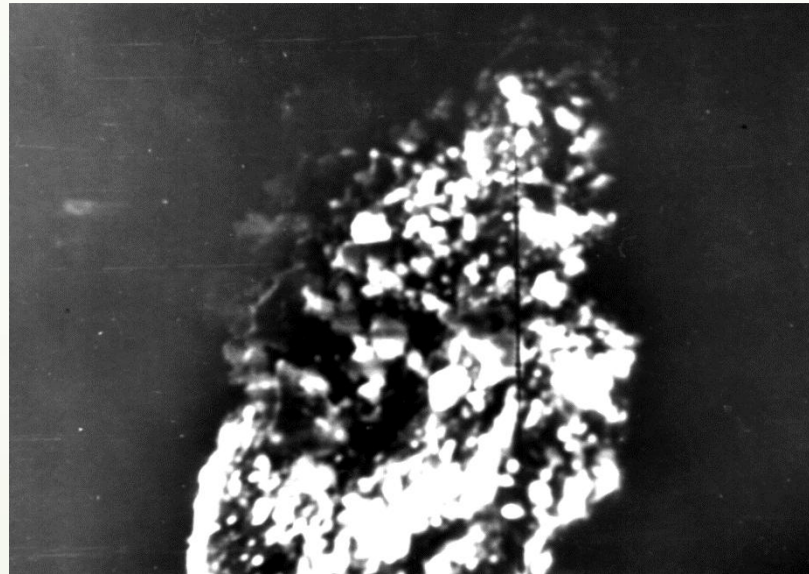
- 1 – вяжущее – битум (Б), $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетрометра, известняковый минеральный порошок (ИМП) не активирован;
- 2 – вяжущее – Б, $P_{25} = 59$ град. с 2 % бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и с 30 % S, ИМП не активирован;
- 3 – вяжущее – Б, $P_{25} = 59$ град. с 30 % технической серы (S), ИМП не активирован;
- 4 – вяжущее – Б, $P_{25} = 59$ град. с 2 % СКМС-30 и 30% S, ИМП не активирован;
- 5, 6, 7, 8 – вяжущее – Б, $P_{25} = 59$ град. с 2 % СКМС-30 и с 30 % S, ИМП активирован 0,5 %, 1,0 %, 1,5 % и 2,0 % СКМС-30 соответственно.

Электронные микрофотографии активированного КФ-МТ известнякового минерального порошка (x900): а, б, в – массовая концентрация КФ-МТ на поверхности ИМПГ 0,25%, 0,5% и 1,25% соответственно

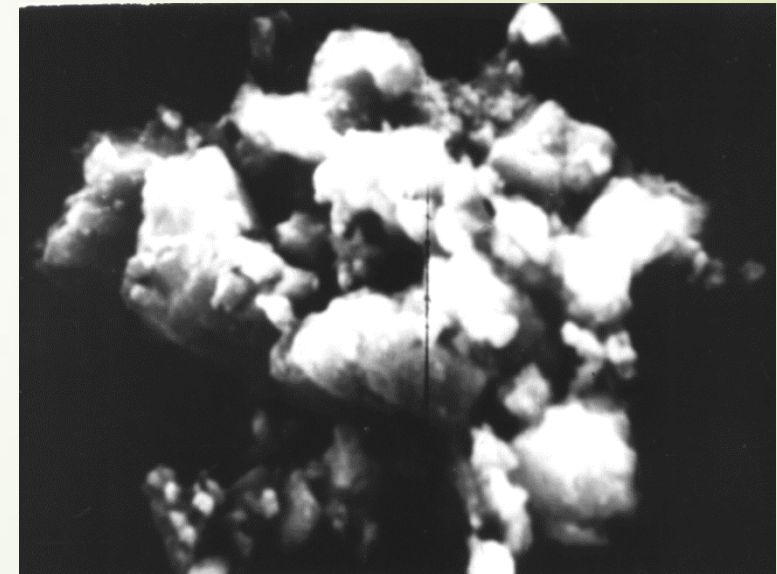
а



б



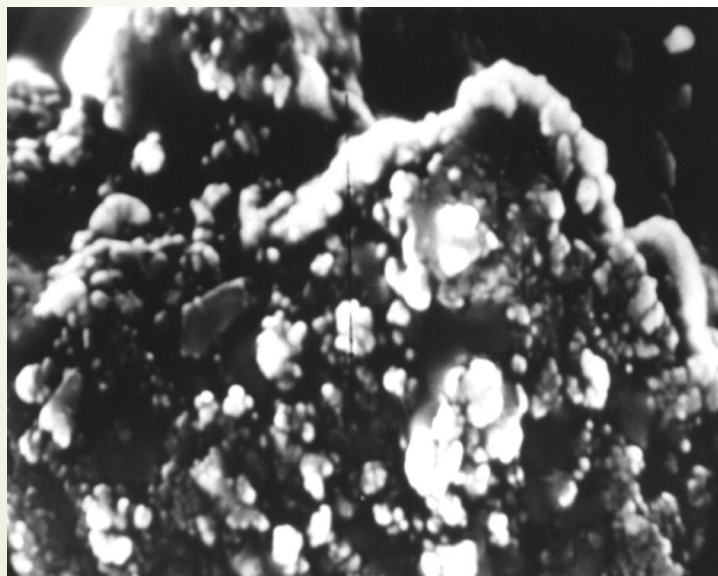
в



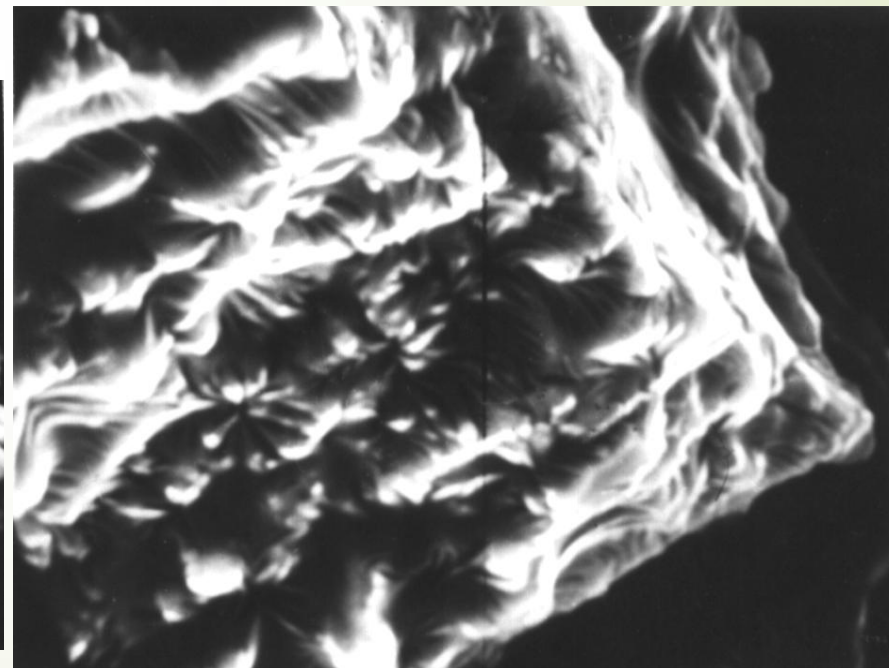
Электронные микрофотографии дёгтеполимерных вяжущих веществ (x3000) состава:

а – дёготь $C_{30}^{10} = 215 \text{ с}$ с 1,5% ПВХ, минеральный порошок известняковый не активирован;

б – дёготь $C_{30}^{10} = 215 \text{ с}$ с 1,5% ПВХ, минеральный порошок известняковый активирован 0,5% КФ-МТ.



а



б

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРАМИ

16

Пенетрация модифицированных битумов

Температура испытаний, °С	Нормы согласно ГОСТ 22245-90	Глубина проникания иглы, × 0,1, см			
		БНД 60/90	БНД 60/90 + 2 % Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105	БНД 60/90 + 2 % СКМС-30 + 30 % тех. серы	БНД 60/90 + 3 % Kraton D 1101
25	60 – 90	67	50	60	55
0	Не менее 20	24	18	22	24

Температура размягчения и хрупкости модифицированных битумов

Вид испытания	Нормы согласно ГОСТ 22245-90	Битумы, модифицированные полимерными добавками			
		БНД 60/90	БНД 60/90 + 2 % Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105	БНД 60/90 + 2 % СКМС-30 + 30 % тех. серы	БНД 60/90 + 3 % Kraton D 1101
Температура размягчения, °С	Не ниже 47 °С	49	56	52	54
Температура хрупкости, °С	Не выше -15 °С	-15	-15	-19	-16

Растяжимость и эластичность модифицированных битумов

Температура испытаний, °С	Нормы согласно ГОСТ 22245-90	Глубина проникания иглы, × 0,1, см			
		БНД 60/90	БНД 60/90 + 2 % Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105	БНД 60/90 + 2 % СКМС-30 + 30 % тех. серы	БНД 60/90 + 3 % Kraton D 1101
Растяжимость при 25 °С, см	Не менее 55 см	90	63	45	38
Эластичность, при 25 °С, %	Не нормируется	-	75	52	80

Когезия модифицированных битумов

Температура испытаний, °С	Битумы, модифицированные полимерными добавками			
	БНД 60/90	БНД 60/90 + 2 % Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105	БНД 60/90 + 2 % СКМС-30 + 30 % тех. серы	БНД 60/90 + 3 % Kraton D 1101
25 °С, см	0,079	0,140	0,130	0,132

ЗНАЧЕНИЯ ФАКТОРОВ ВАРЬИРОВАНИЯ

Значение факторов варьирования, действующих на асфальтополимерсерное асфальтовязующее вещество

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1	X ₁	Массовая концентрация минерального порошка, механоактивированного раствором СКМС-30 (0,5 % СКМС-30 в пересчете на твердое вещество к массе известнякового минерального порошка)	%	5	10	15	20
2	X ₂	Массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего (битум БНД 40/60 (П ₂₅ = 59 град.) модифицирован 2% СКМС-30 по массе и 40% технической серы)	%	2	6,5	8,5	10,5

Параметры оптимизации состава матрицы литого асфальтополимерсеробетона и их граничные значения

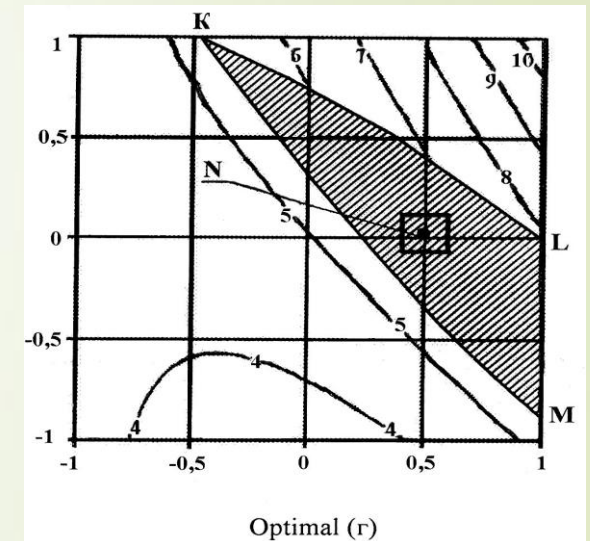
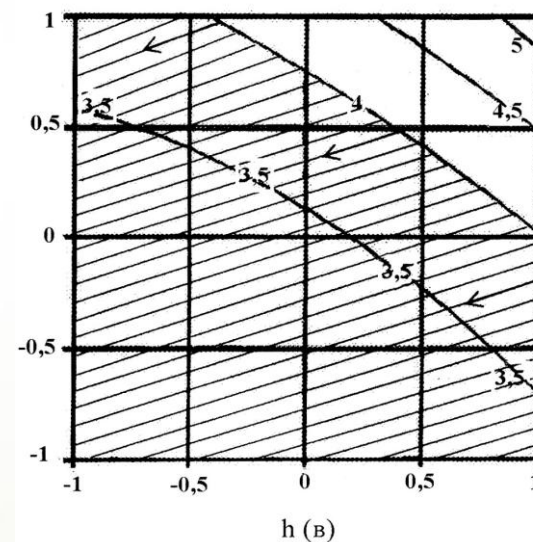
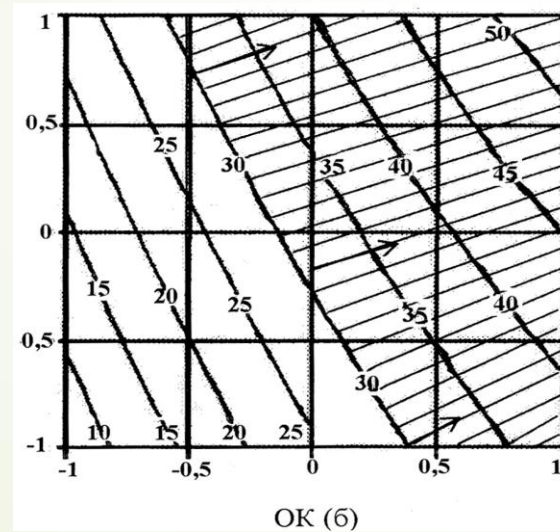
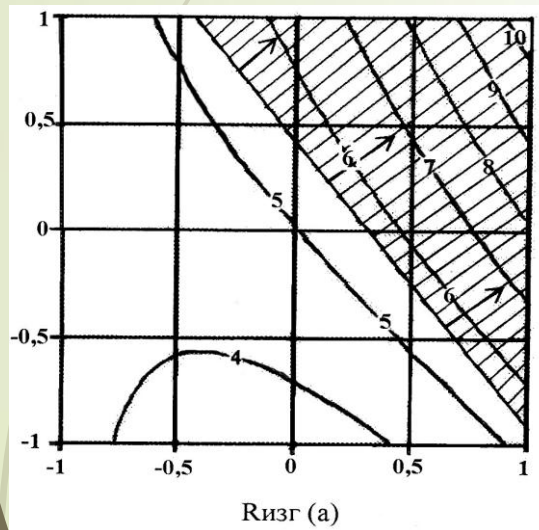
№ п/п	Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Размерность	Граничное значение функции отклика
1	y_1	Предел прочности на растяжение при изгибе при 0°С	МПа	Не менее 5,6
2	y_2	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	–	Не менее 0,96
3	y_3	Подвижность смеси при 170°С (осадка конуса)	мм	Не менее 30
4	y_4	Погружение штампа при 40°С	мм	Не более 4 мм

Исходя из ограничений по глубине погружения штампа, осадки конуса и экономичности установлено:

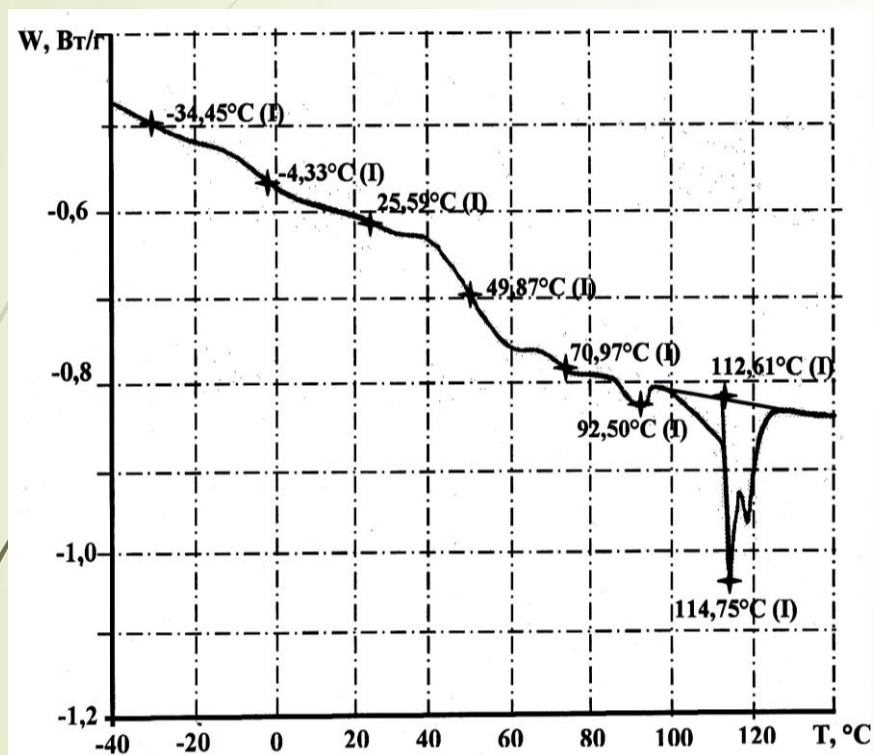
Оптимальное содержание в смеси:

- активированного минерального порошка 17-18 %;
- модифицированного органического вяжущего 8-9,5%.

Зависимость: предела прочности на растяжение при изгибе $R_{\text{изг}}$ (МПа), (а) при 0°C (Y_1); подвижности асфальтополимерсеробетонной смеси ОК (мм) при 170°C (б) (Y_3); глубины погружения штампа при 40°C h (мм), (в) (Y_4); и области оптимальных составов



ТЕРМОГРАММА БИТУМОПОЛИМЕРСЕРОВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА



Зависимость теплового потока W от температуры T при нагреве битумополимерсерного вяжущего состава в массовых частях компонентов:

битум нефтяной дорожный $\Pi_{25}=59$ град. -100 ;
бутадиенметилстирольный каучук
СКМС-30 – 2; техническая сера – 30.

Прибор для определения глубины погружения штампа при контроле качества литых асфальтобетонных смесей



ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

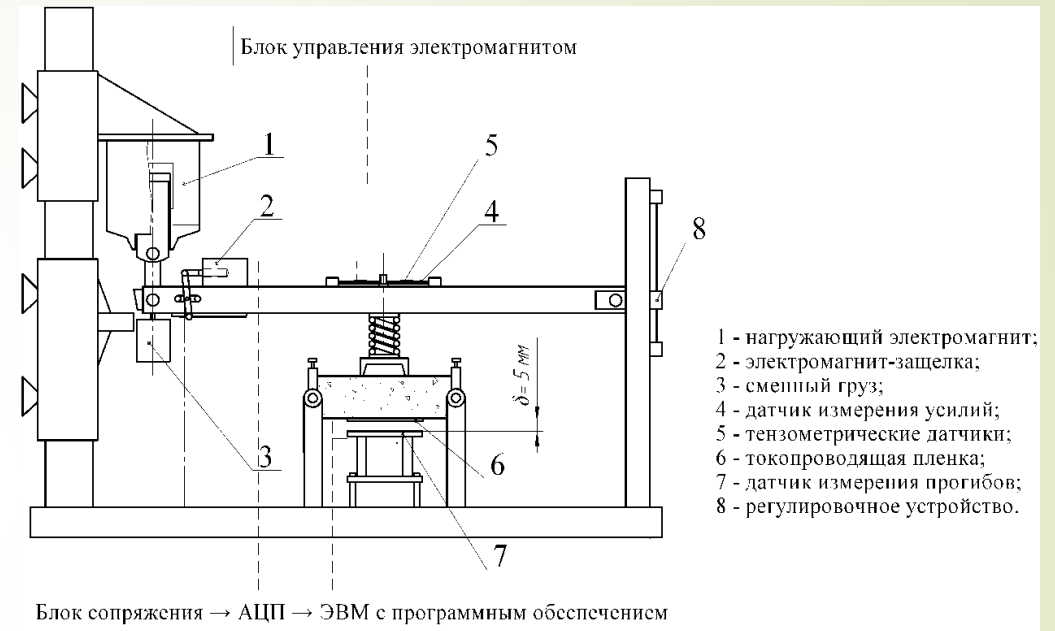


Рис. Общий вид и схема лабораторной установки.

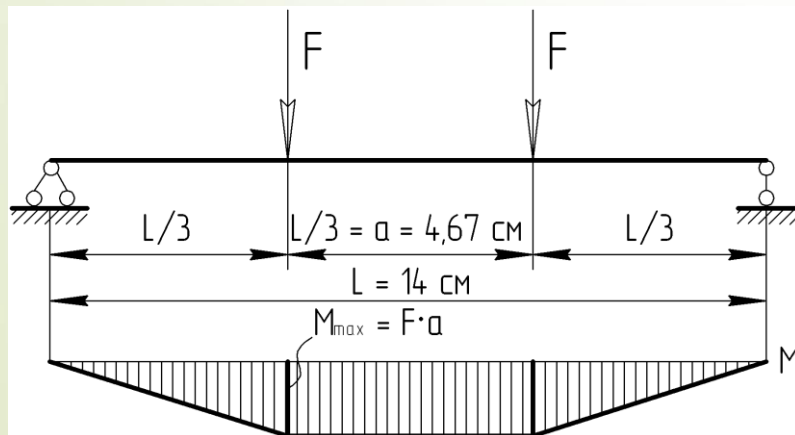


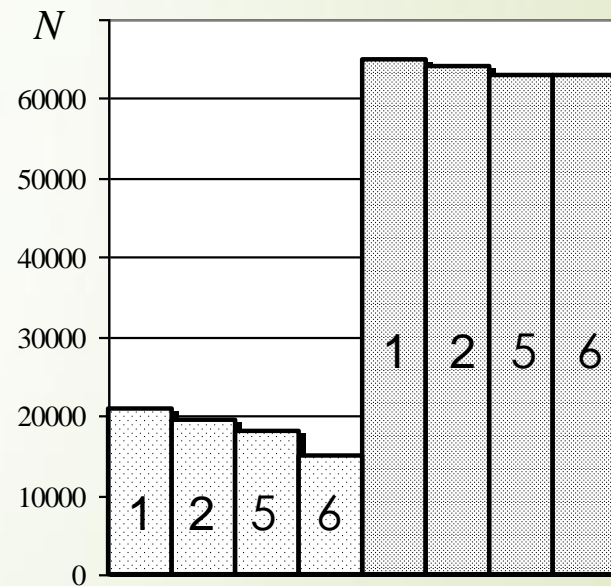
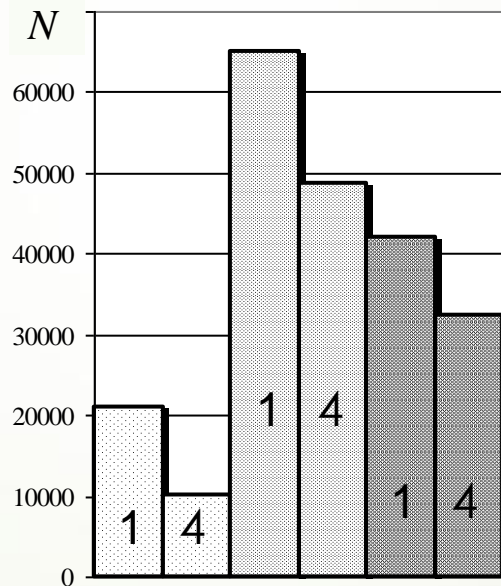
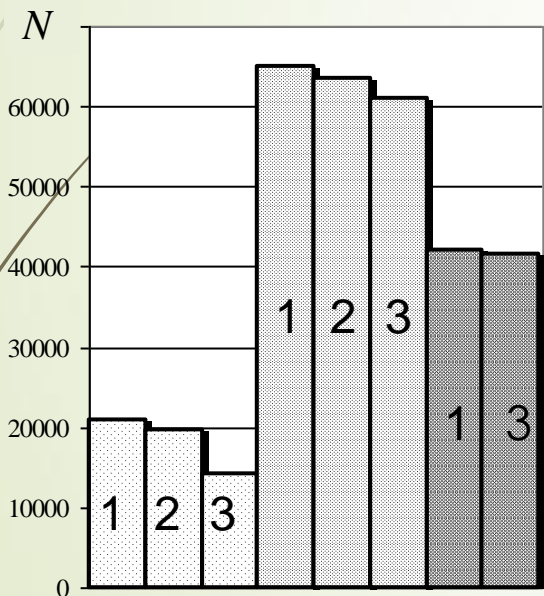
Рис. Схема приложения нагрузки и эпюра изгибающих моментов

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

24

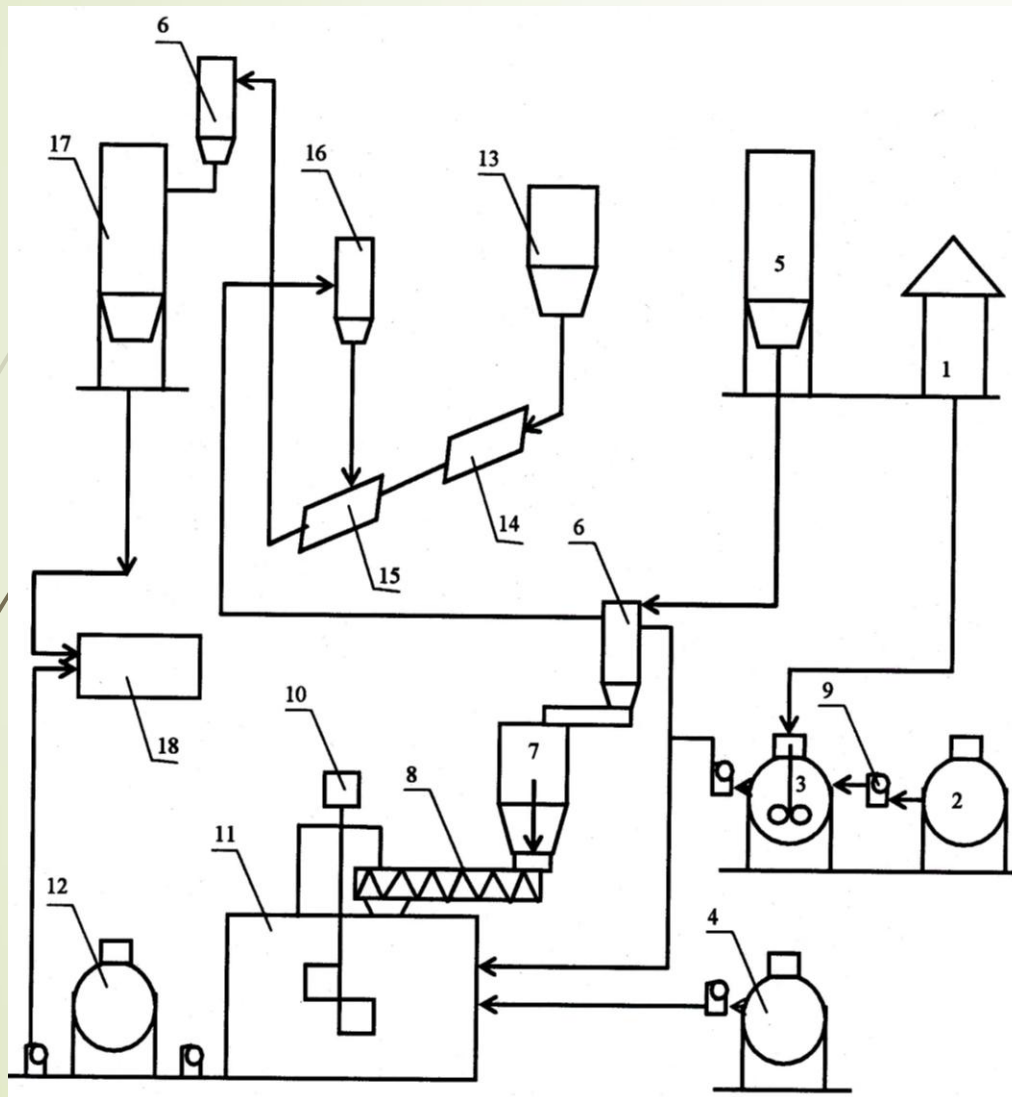
Сравнение значений усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) (время нагружения 0,1 сек, напряжение – 0,4 – 0,45 МПа при температуре + 20 °С) в зависимости от воздействия различных агрессивных сред: а) в зависимости от времени водонасыщения; б) после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания; в) в зависимости от воздействия на них в течении 15 суток агрессивных сред

1 – усталостная долговечность асфальтобетона в нормальных условиях; 2 – после водонасыщения 15 суток; 3 – после водонасыщения 30 суток; 4 – после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания; 5 – после 15 суток в водном 5 % растворе NaCl; 6 – после 15 суток в водном 2 % растворе HCl.



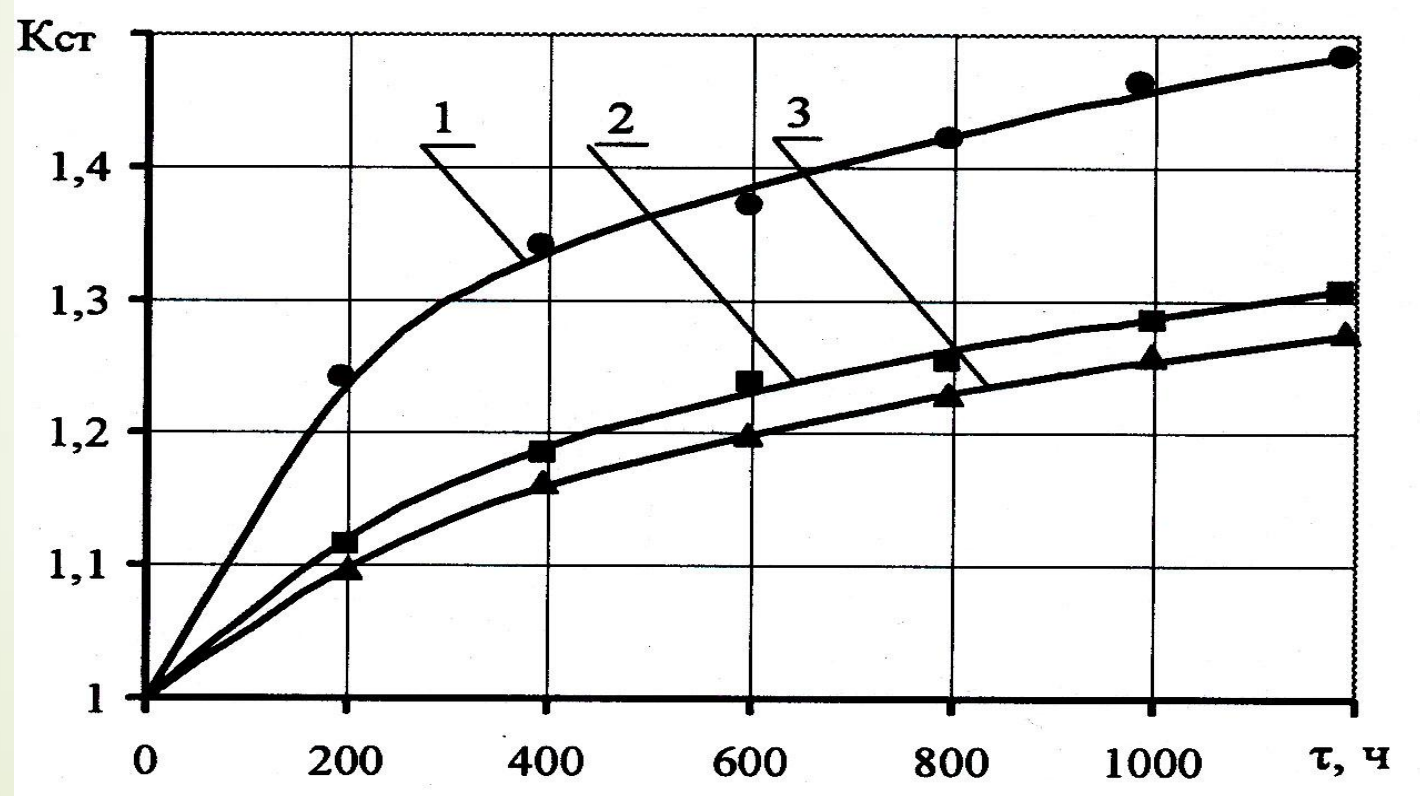
- мелкозернистый асфальтобетон тип «Б»;
- мелкозернистый асфальтополимербетон тип «Б» с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM;
- литой асфальтополимерсеробетон с комплексно-модифицированной микроструктурой SKMC-30;

Принципиальная технологическая схема производства литой асфальтополимерсеробетонной смеси

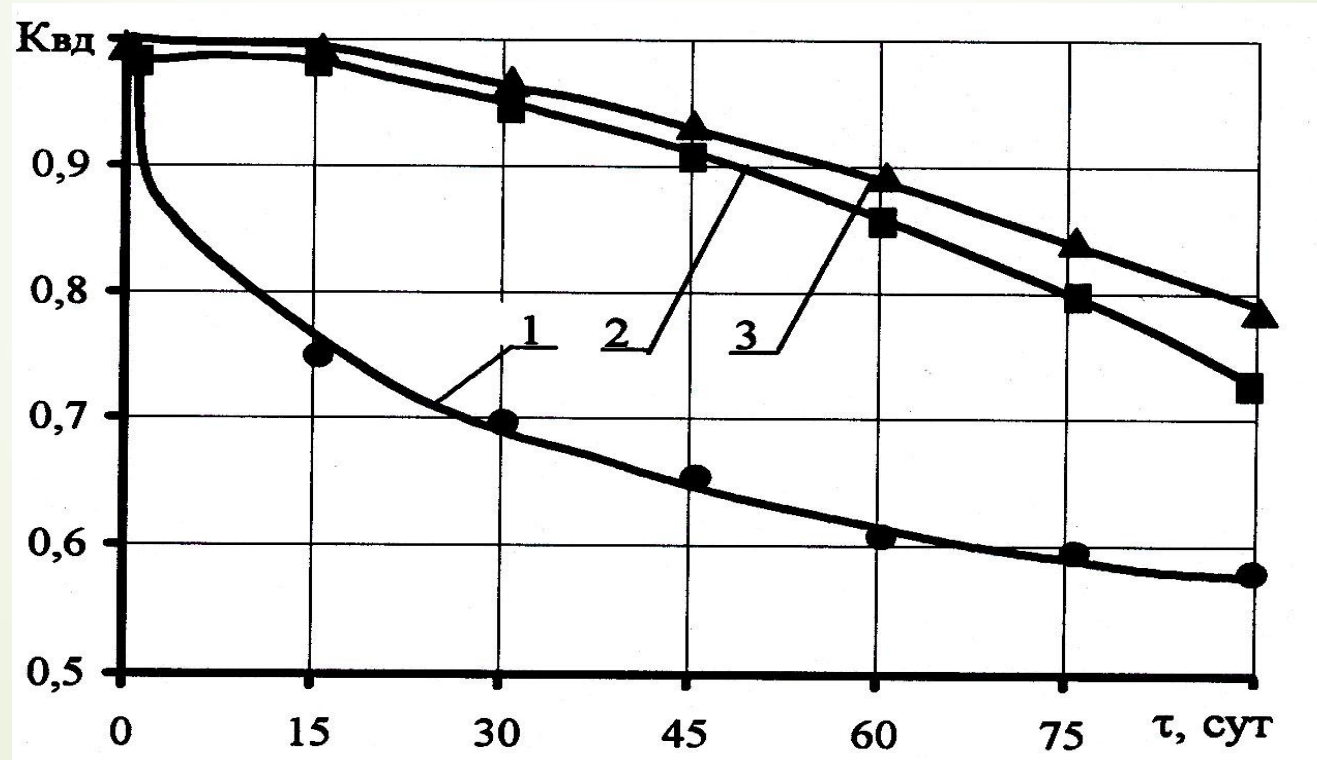


1 – склад СКМС-30; 2 – ёмкость растворителя СКМС-30; 3 – ёмкость для приготовления раствора СКМС-30; 4 – битумоварочный котёл; 5 – силосный склад технической серы; 6 – циклон; 7 – бункер для межоперационного складирования технической серы; 8 – шнековый питатель; 9 – битумонасос; 10 – мешалка; 11 – битумоварочный котёл приготовления битумополимерсерного вяжущего; 12 – расходный битумоварочный котёл битумополимерсерного вяжущего; 13 – бункер для межоперационного складирования известнякового щебня; 14 – сушильный барабан; 15 – мельница; 16 – дозатор раствора СКМС-30; 17 – силосный склад активированного СКМС-30 минерального порошка; 18 – асфальтосмеситель.

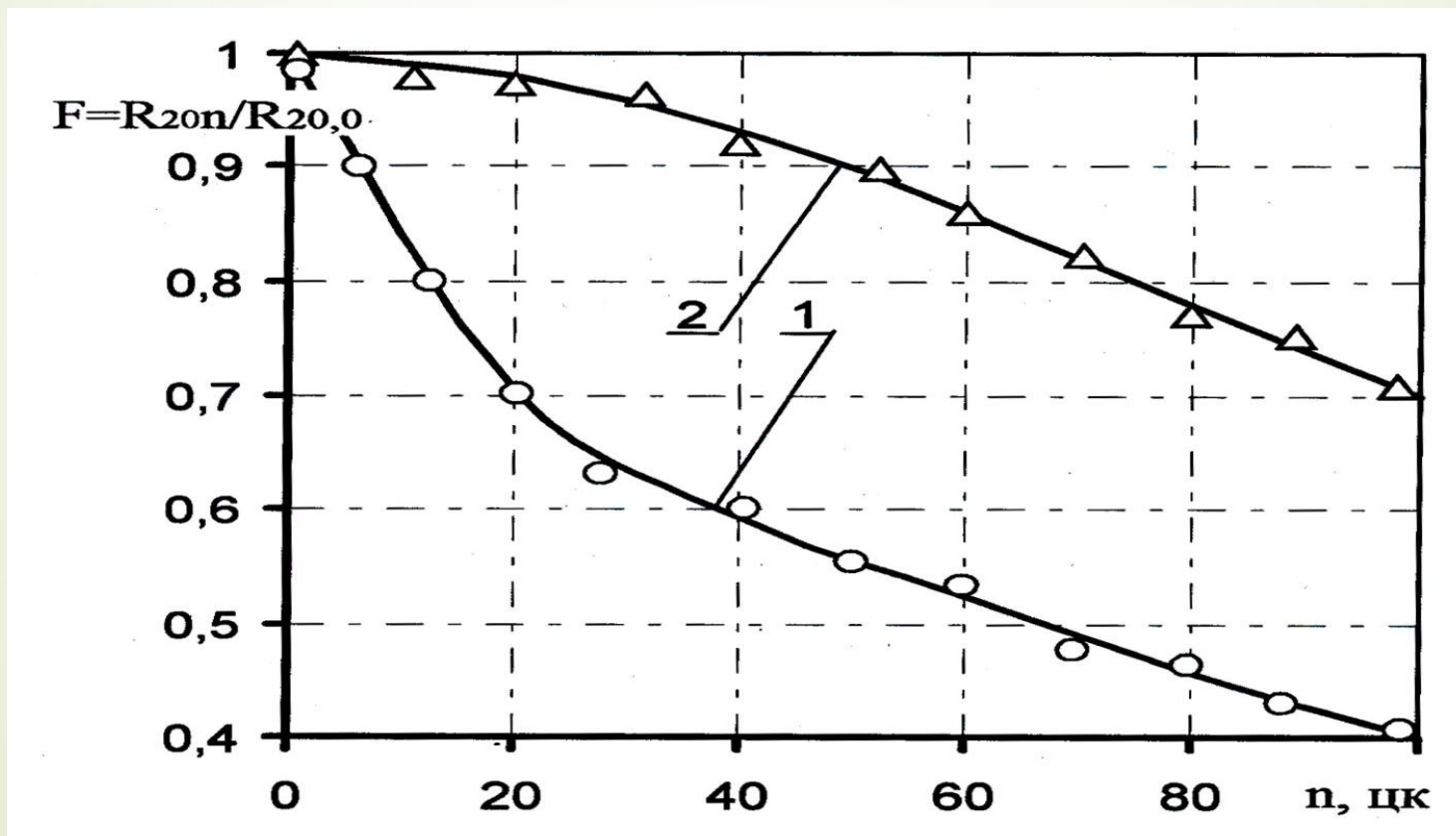
Зависимость коэффициента теплового старения $K_{ст}$ от времени прогрева τ в климатической камере ИП-1 при температуре 75°C мелкозернистого асфальтового бетона, отличающегося составом асфальтовяжущего вещества



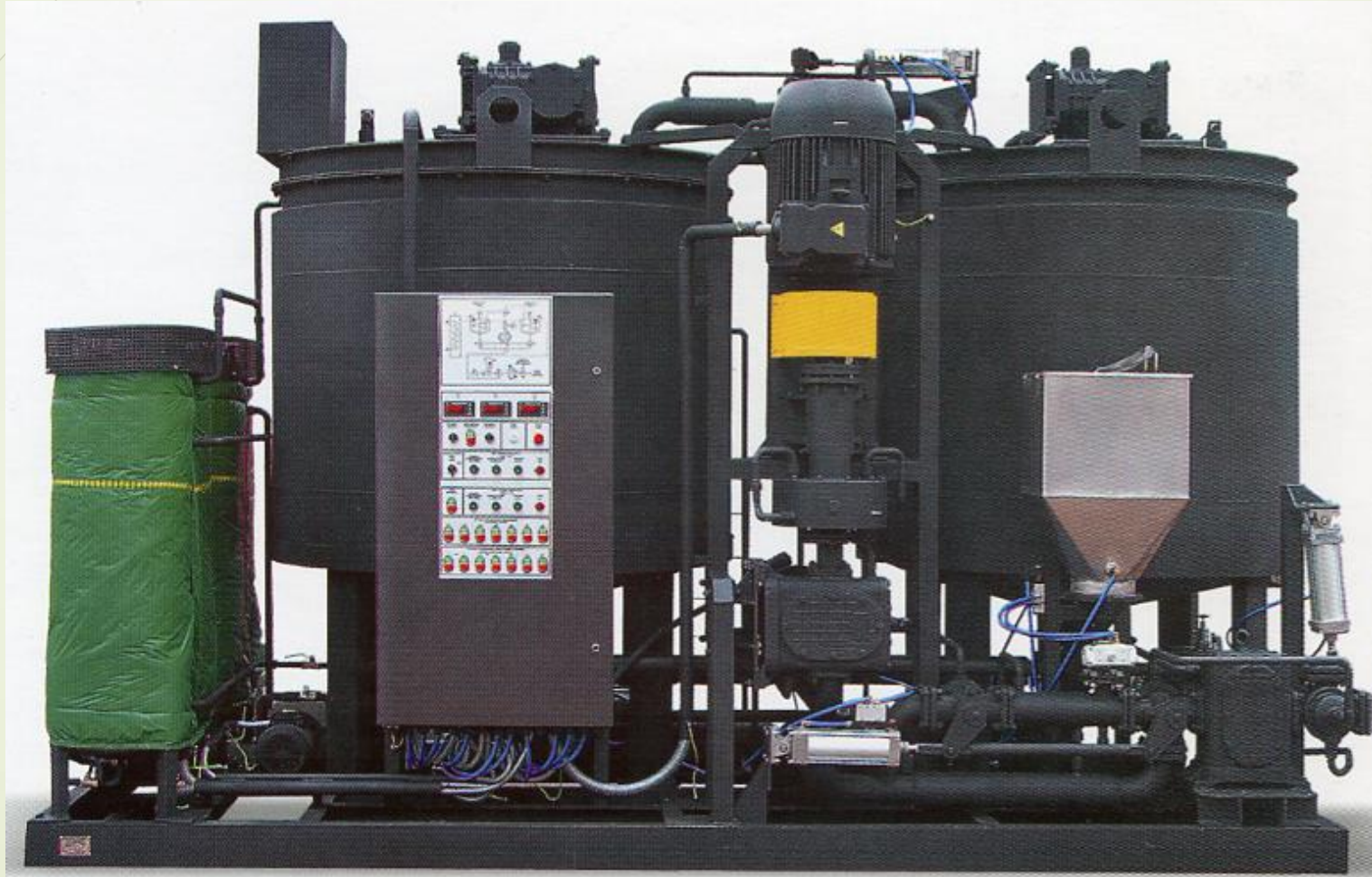
Зависимость коэффициента длительной водостойкости асфальтобетона $K_{вд}$ от времени водонасыщения



Зависимость коэффициента длительной морозостойкости F от количества циклов попеременного замораживания-оттаивания мелкозернистого асфальтобетона



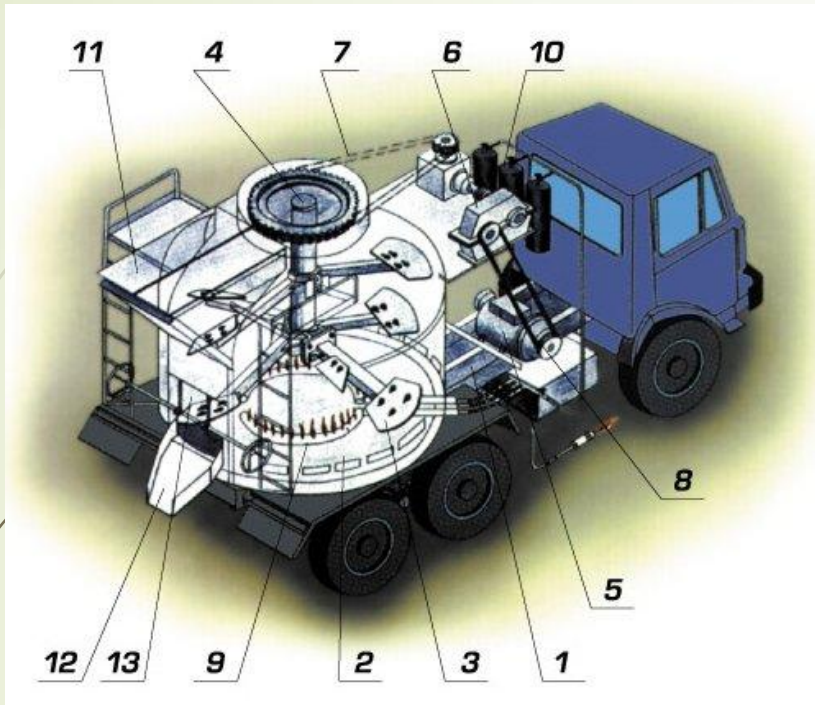
Установка для модифицирования битумов



Техническая характеристика	Значение			
Производительность максимальная, м ³ /ч:	4	8	16	32
Количество полимера на 1 м ³ исходного битума, кг*	10...25	10...25	10...25	10...25
Режим работы	циклично-очередный			
Количество реакторов, шт.	2	2	2	4
Объём реактора, м ³	2	4	8	8
Установленная мощность, кВт:				
мельницы	45	55	75	90
насоса подачи битума к мельнице	7,5	11	15	15
насоса подачи-выкачки битума	11,0	15	18	18
привода мешалки	2x7,5	2x11	2x11	4x11
нагревателя теплоносителя (общая)	4x25	4x25	4x25	6x25
насоса подачи теплоносителя	3	4	5,5	7,5
системы управления	0,8	0,8	0,8	0,8
общая	182,3	210	265	325
Габаритные размеры, мм, не более:				
длина	5000	6000	6000	10000
ширина	2400	3000	3500	4000
высота	3200	3500	3500	3500
Масса, не более, кг	5250	6500	7700	12000

* в зависимости от рецепта

Комплект для транспортирования литой асфальтобетонной смеси КДМ-1501



Оборудование представляет собой блок, в состав которого входит рама 1 и теплоизолированная емкость 2, в которую встроена лопастная мешалка 3 с вертикальным расположением вала 4. Привод мешалки осуществляется от автономного дизельного двигателя 5 через редуктор 6 с использованием клиноременной 7 и цепной 8 передач.

Температура смеси в котле поддерживается за счет системы подогрева 9, работающей на сжиженном газе из баллонов 10. Загрузка литой асфальтобетонной смеси осуществляется через загрузочный люк 11 в верхней части котла, а выгрузка - по лотку 12 через люк с шиберным затвором 13 в нижней части котла.



Котёл для литого асфальта КДМ-150 предназначен для транспортировки литой асфальтобетонной смеси к месту его укладки с непрерывным перемешиванием и поддержанием температуры или подогревом смеси при температуре окружающего воздуха от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$,

при этом температура самой смеси не должна опускаться ниже 180°C . Уплотнение смеси катками не требуется. Для выравнивания поверхности покрытия следует применять только легкие рельсовые либо ручные валики.



Устройство покрытия из литой асфальтобетонной смеси



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТЫХ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВА СЛОЕВ ИЗНОСА И ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

При использованной мощности асфальтобетонного завода 50000 тонн литой асфальтополимерсеробетонной смеси в год:

- себестоимость 1 т смеси – 3610 рублей;
- стоимость 1 т смеси – 5000 рублей;
- плановая прибыль – 69500000 рублей;
- рентабельность АБЗ – 126 %;
- срок окупаемости реконструируемого АБЗ – 2,6 года;
- приоритет разработки – патент Украины №8922.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКАЗЫВАЮТ

Литые асфальтополимерсеробетоны характеризуются:

- высокими деформационно-прочностными и коррозионными свойствами;
- обладают заданной удобоукладываемостью.

Эти характеристики указывают на целесообразность их применения для текущего ремонта покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог