



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.

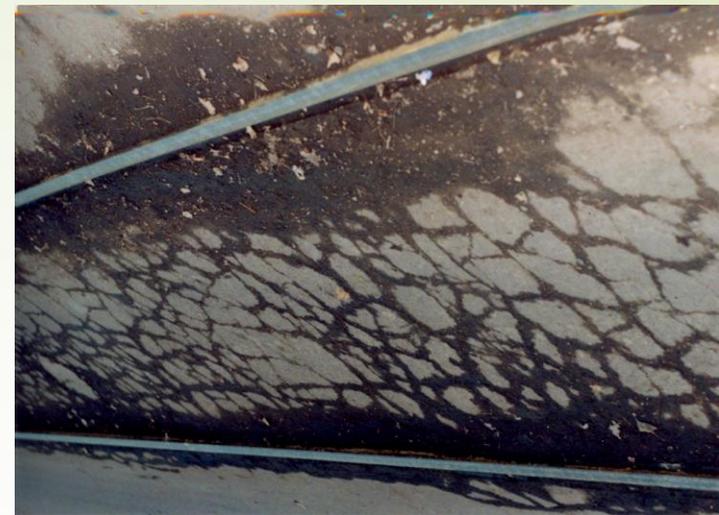
*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»*



Сдвиг покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с образованием волн



Сдвиг покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с образованием волн

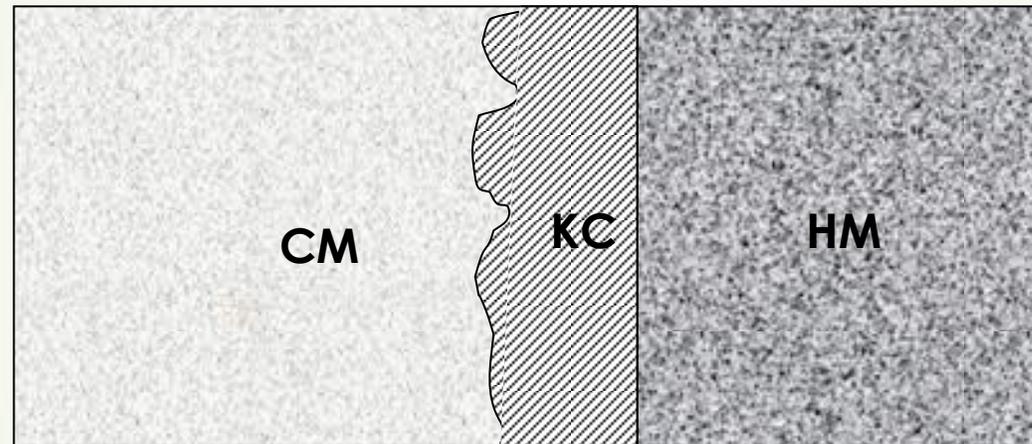


Хрупкий разрыв асфальтобетонного покрытия



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)

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

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

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

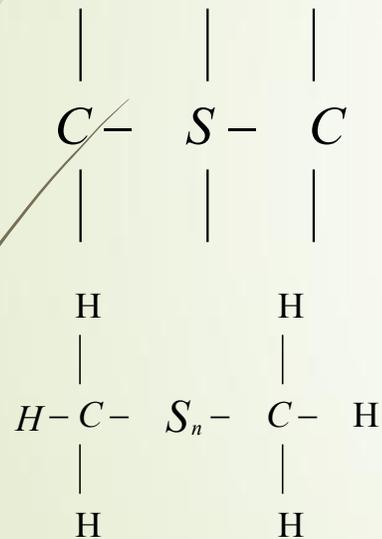
где: D_c – долговечность системы (лет); $R_{изг}^c$ – предел прочности при изгибе системы с учетом изменения её в процессе старения, МПа; F – морозостойкость; $K_{вд}$ – коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении; $T_{стекл}$ – трещиностойкость, °С (МПа); $K_{стар}$ – коэффициент старения;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

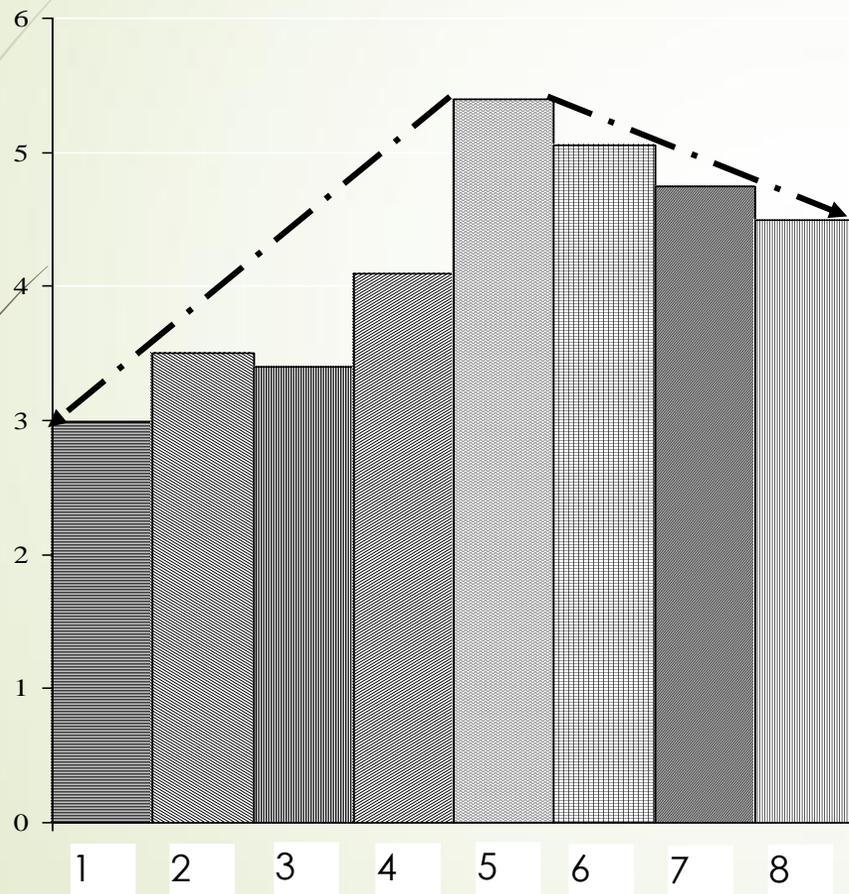
- и поперечные полиsulfидные связи типа).

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.

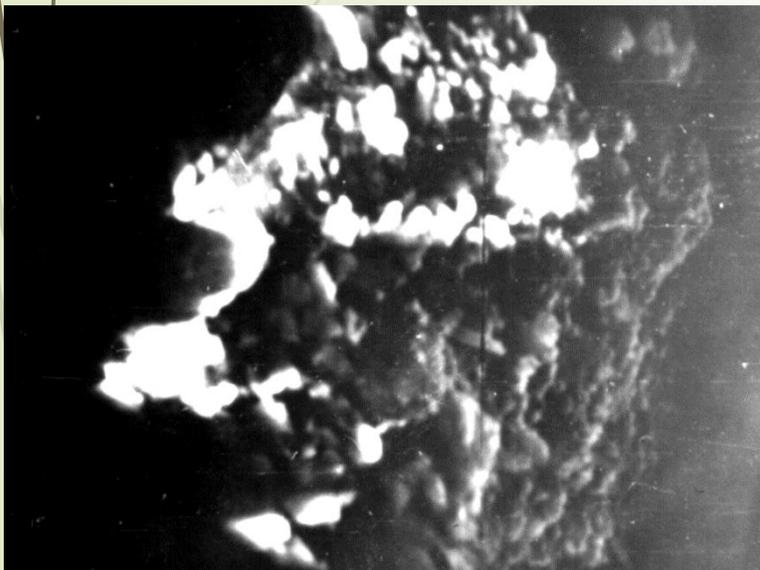
Диаграмма предела прочности при сжатии при температуре 20°C R_{20} мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовяжущего вещества:



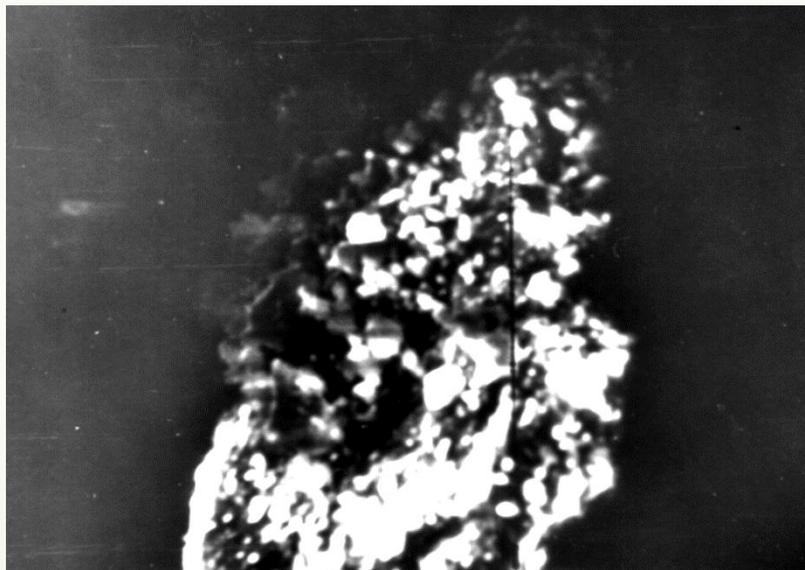
- 1 – вяжущее – битум (Б), $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетрометра, известняковый минеральный порошок (ИМП) не активирован;
- 2 – вяжущее – Б, $P_{25} = 59$ град. с 2 % бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и с 30 % S, ИМП не активирован;
- 3 – вяжущее – Б, $P_{25} = 59$ град. с 30 % технической серы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

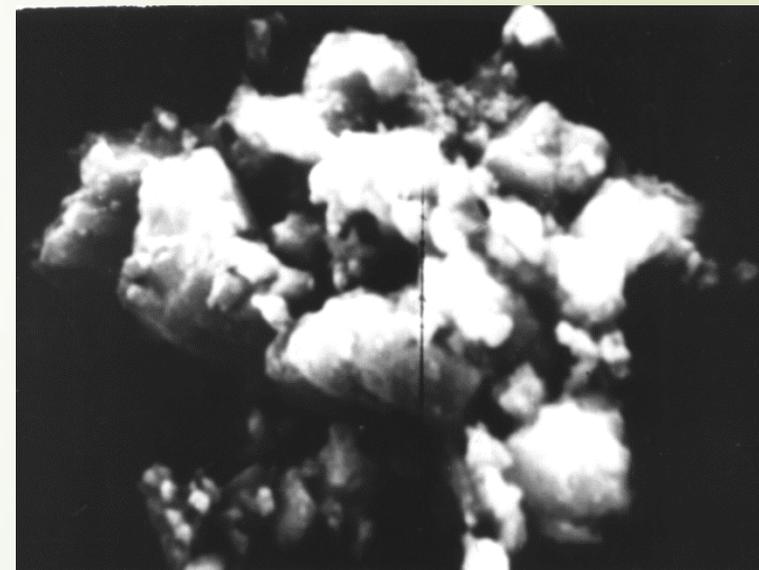
а



б



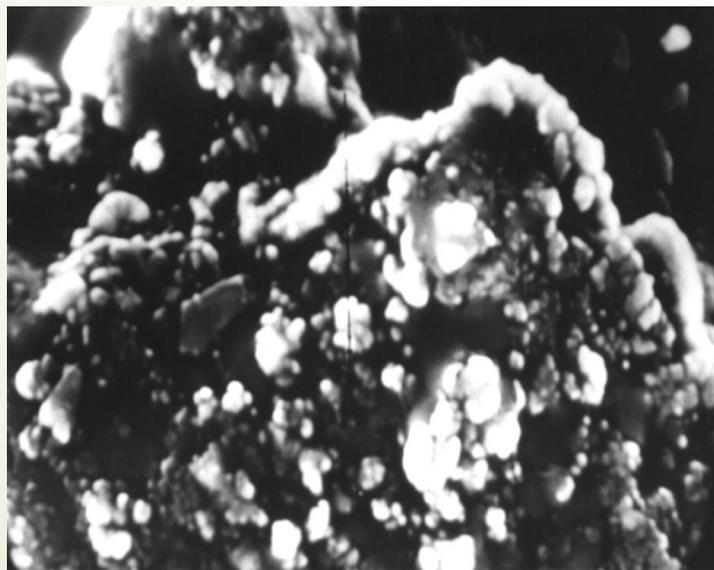
в



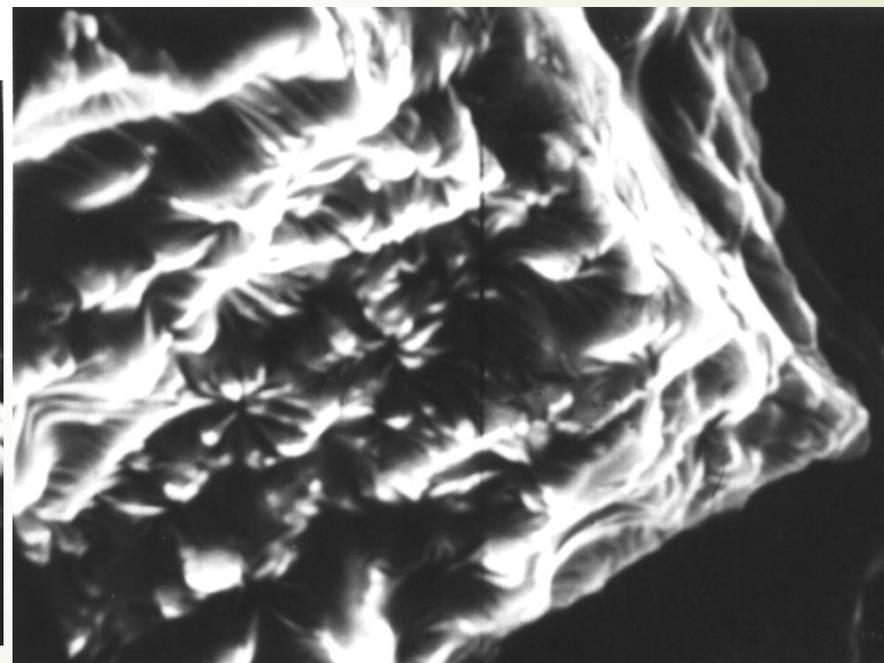
Электронные микрофотографии дёгтеполимерных вяжущих веществ (x3000) состава:

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

б – дёготь $C_{30}^{10} = 215 c$ 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

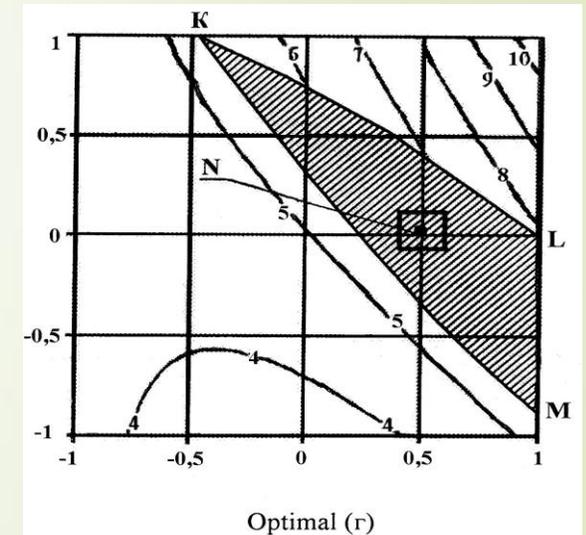
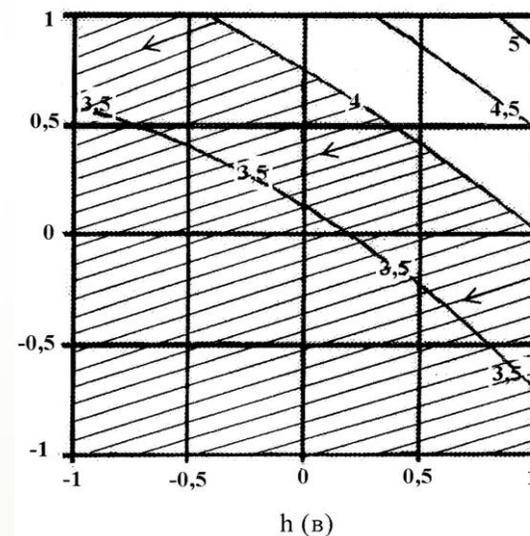
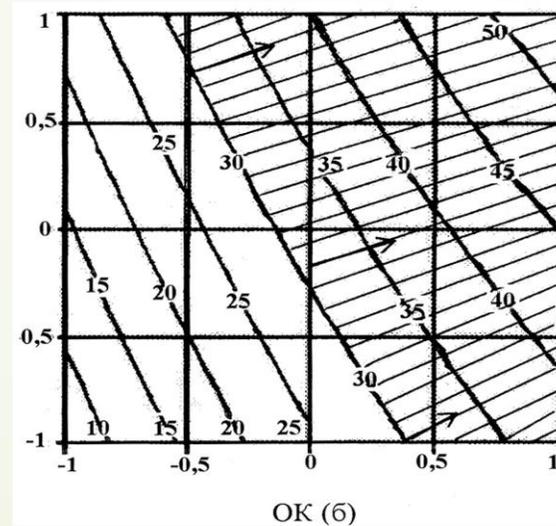
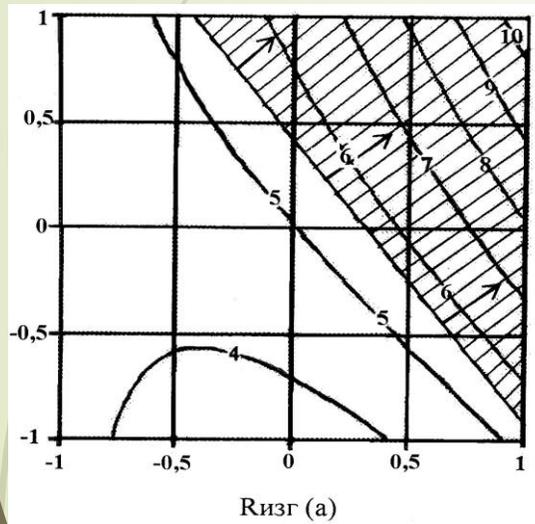
| № п/п | Код параметра оптимизации | Физический смысл параметра оптимизации | Размерность | Граничное значение функции отклика |
|-------|---------------------------|--|-------------|------------------------------------|
| 1 | y_1 | Предел прочности на растяжение при изгибе при 0°С | МПа | Не менее 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:

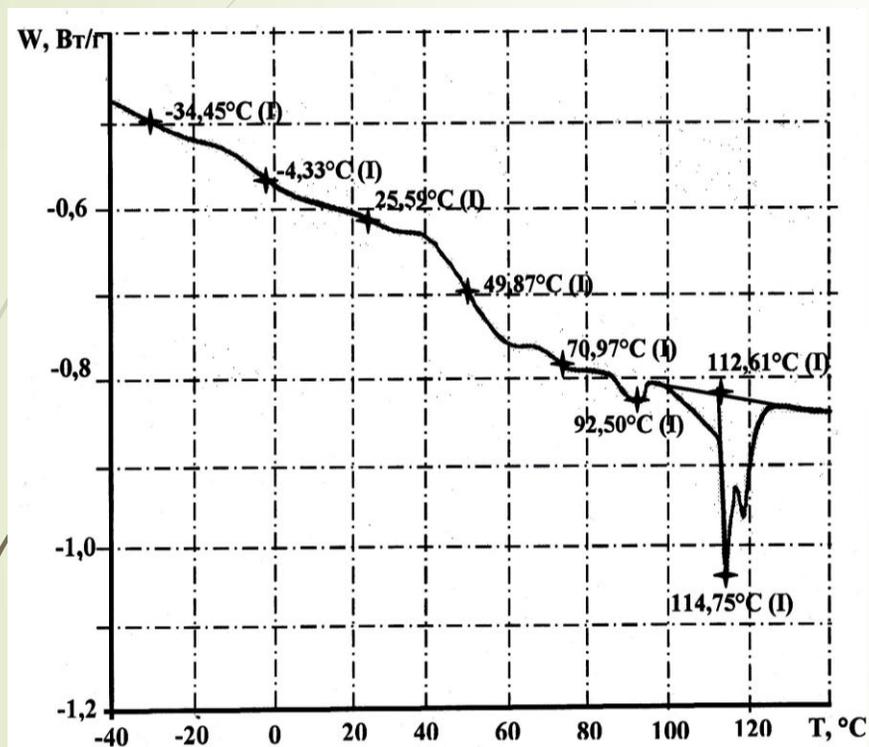
Оптимальное содержание в смеси:

- 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 П₂₅=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

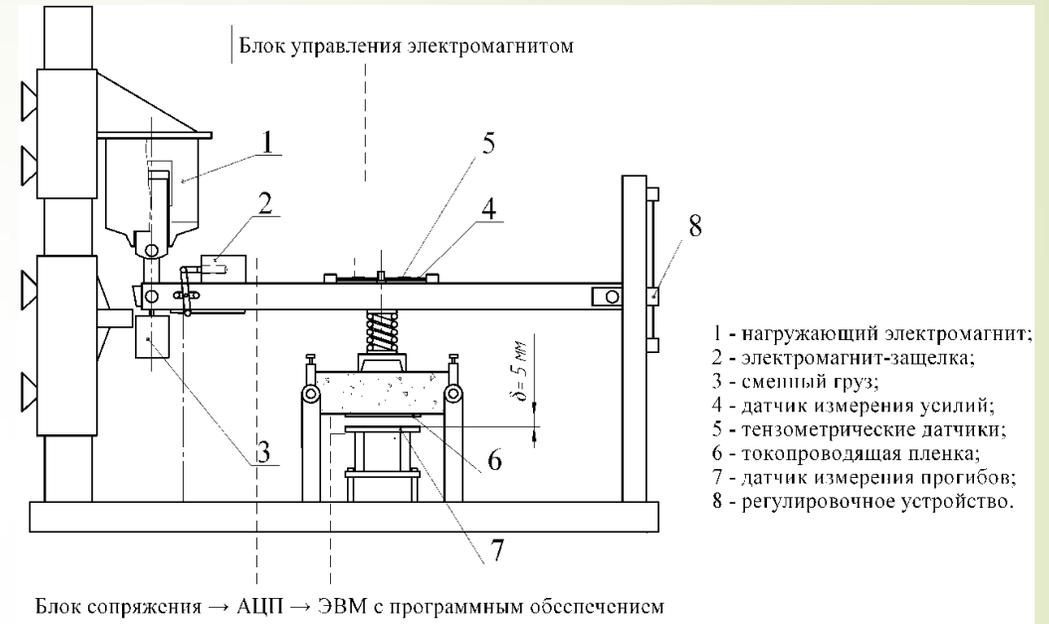


Рис. Общий вид и схема лабораторной установки.

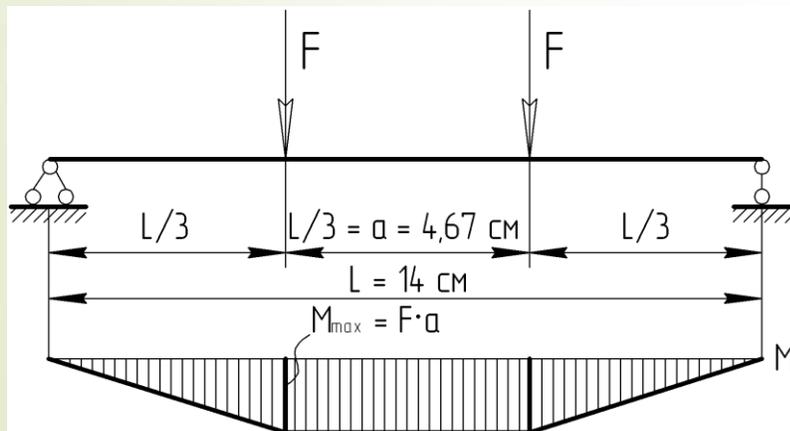


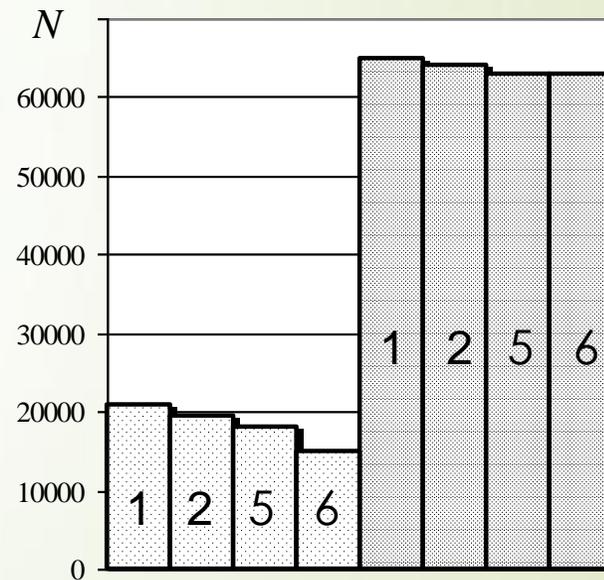
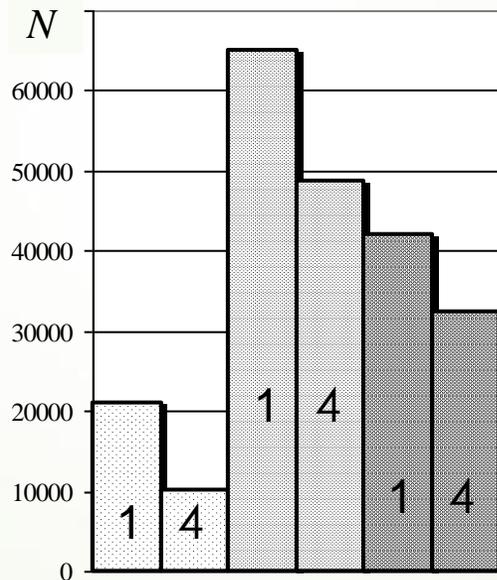
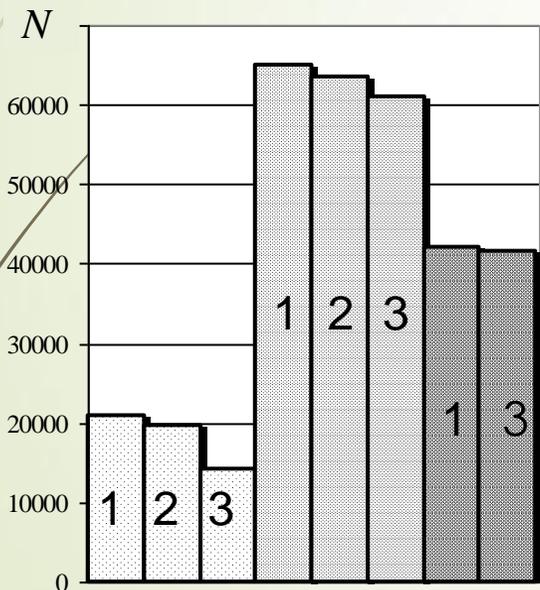
Рис. Схема приложения нагрузки и эпюра изгибающих моментов

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

24

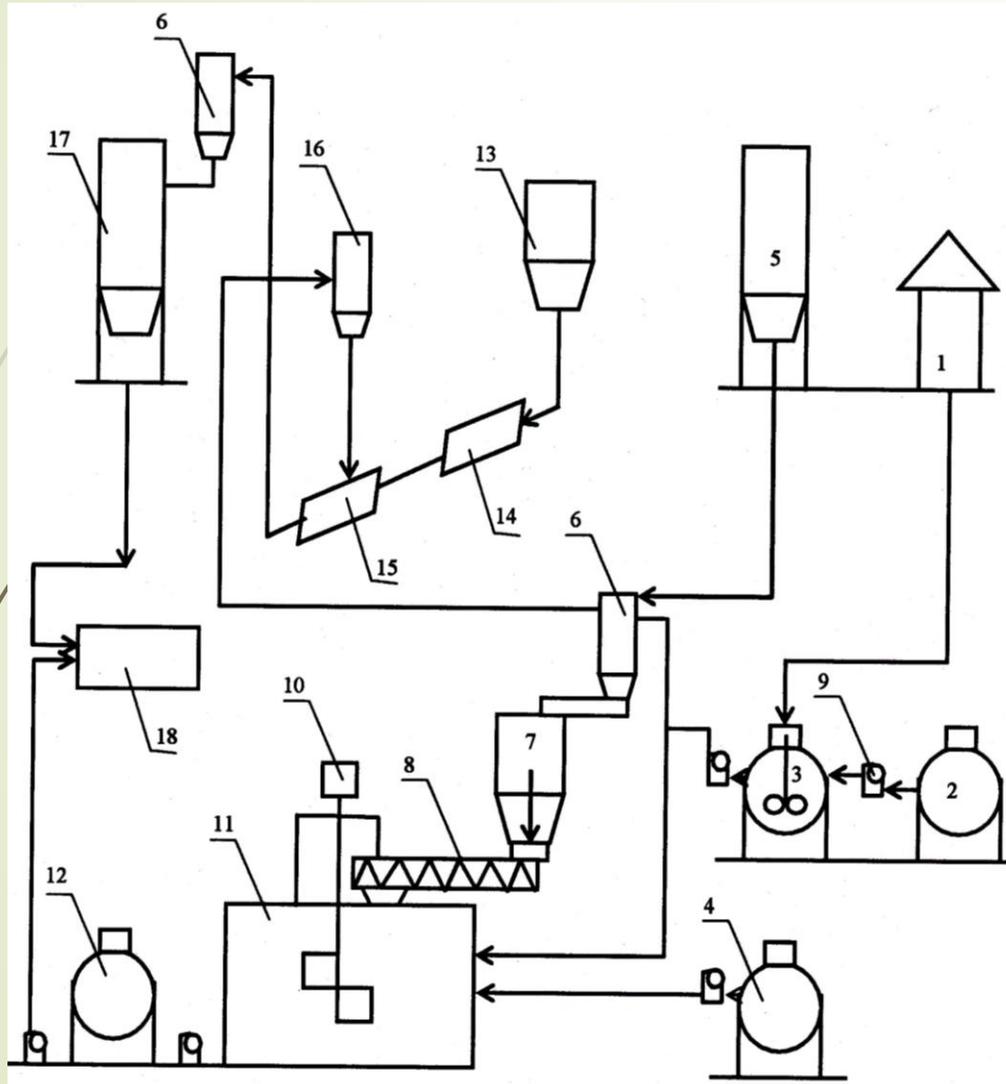
Сравнение значений усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) (время нагружения 0,1 сек, напряжение – 0,4 – 0,45 МПа при температуре + 20 °С) в зависимости от воздействия различных агрессивных сред: а) в зависимости от времени водонасыщения; б) после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания;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



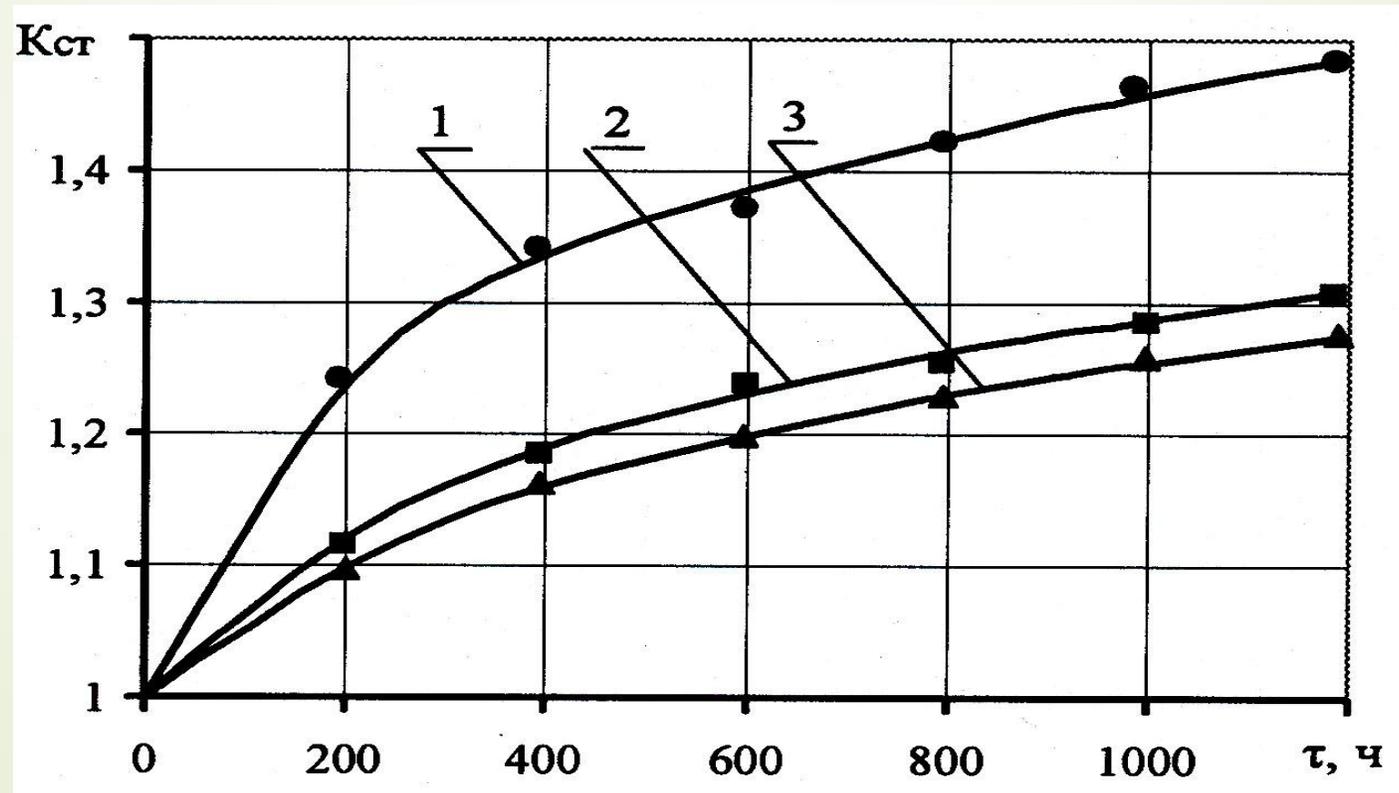
-  – мелкозернистый асфальтобетон тип «Б»;
-  – мелкозернистый асфальтополимербетон тип «Б» с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM;
-  – литой асфальтополимерсеробетон с комплексно-модифицированной микроструктурой SKMC-30;

Принципиальная технологическая схема производства литой асфальтополимерсеробетонной смеси

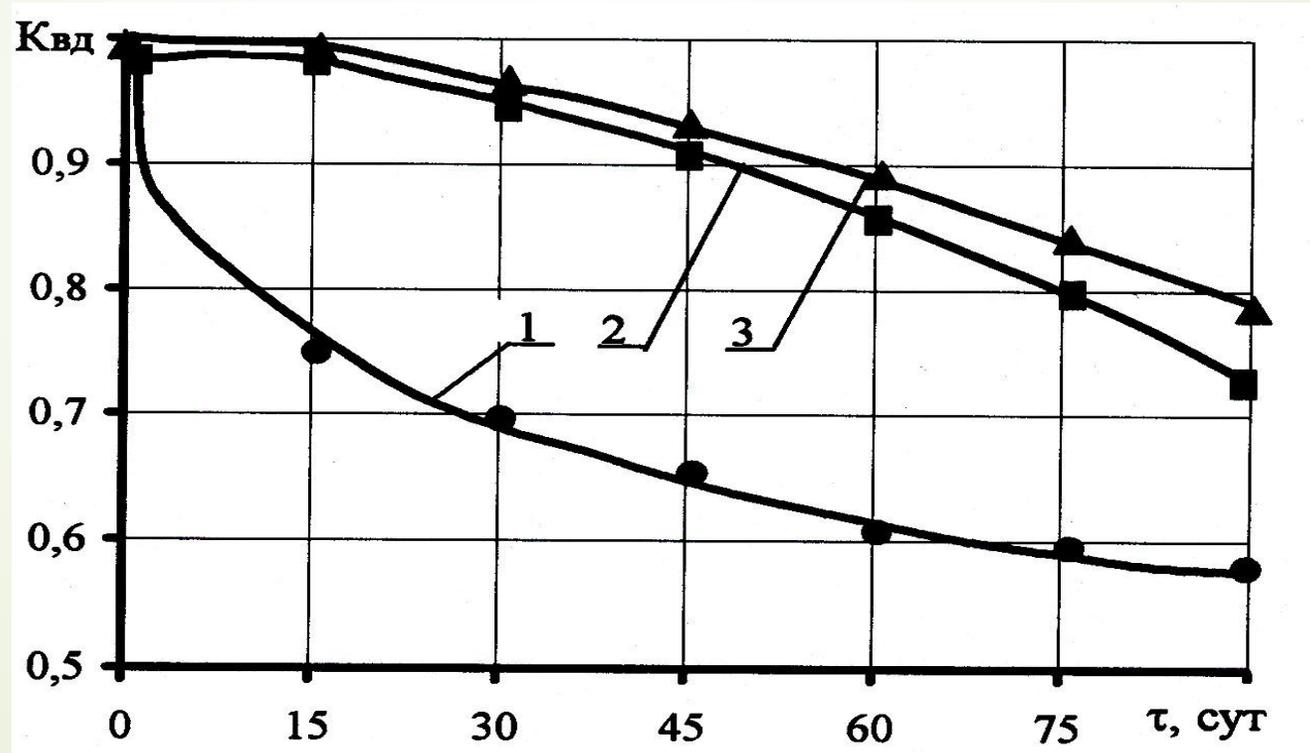


1 – склад СКМС-30; 2 – ёмкость растворителя СКМС-30; 3 – ёмкость для приготовления раствора СКМС-30; 4 – битумоварочный котёл; 5 – силосный склад технической серы; 6 – циклон; 7 – бункер для межоперационного складирования технической серы; 8 – шнековый питатель; 9 – битумонасос; 10 – мешалка; 11 – битумоварочный 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.

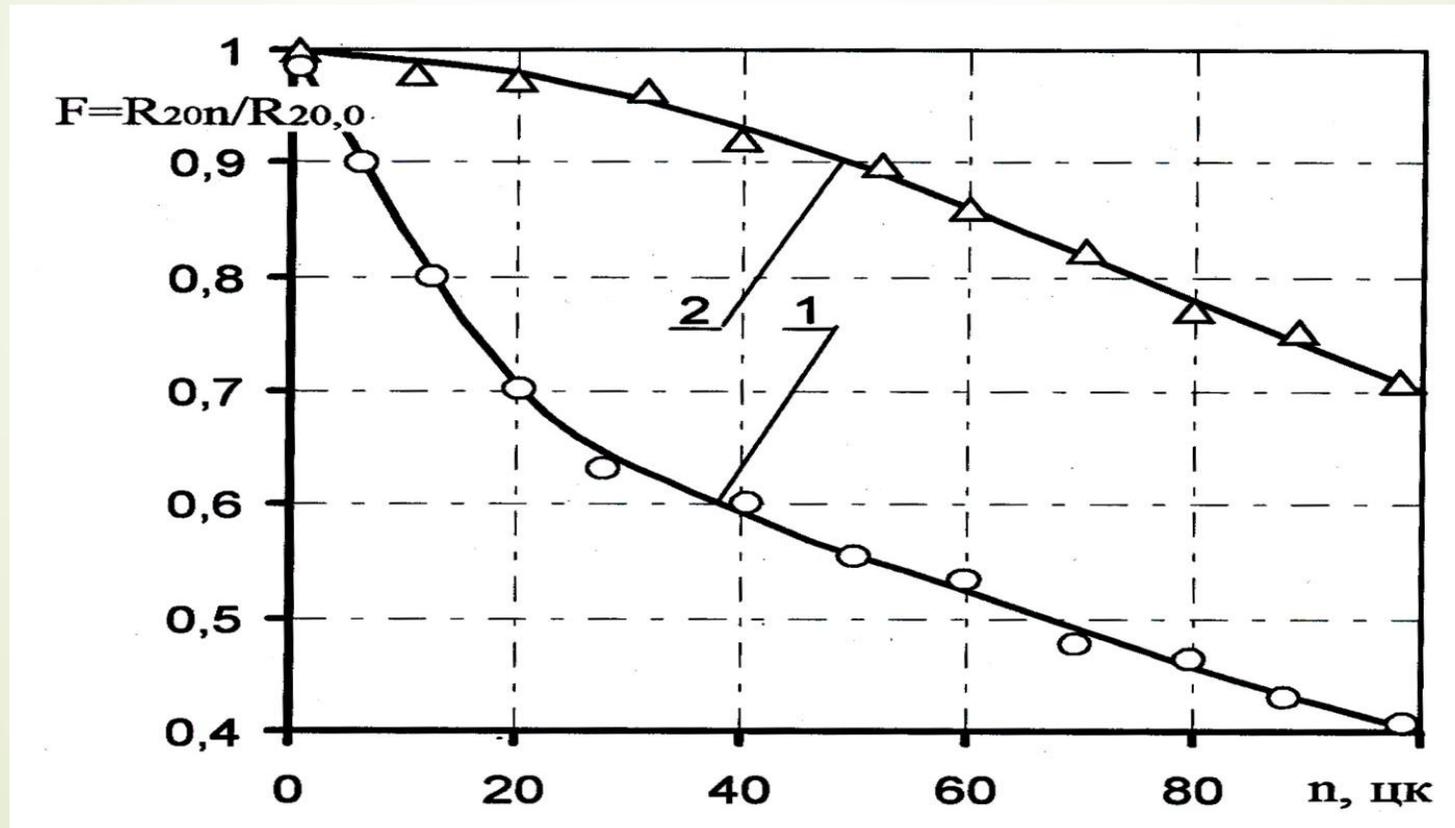
Зависимость коэффициента теплового старения $K_{ст}$ от времени прогрева τ в климатической камере ИП-1 при температуре 75°C мелкозернистого асфальтового бетона, отличающегося составом асфальтовязующего вещества



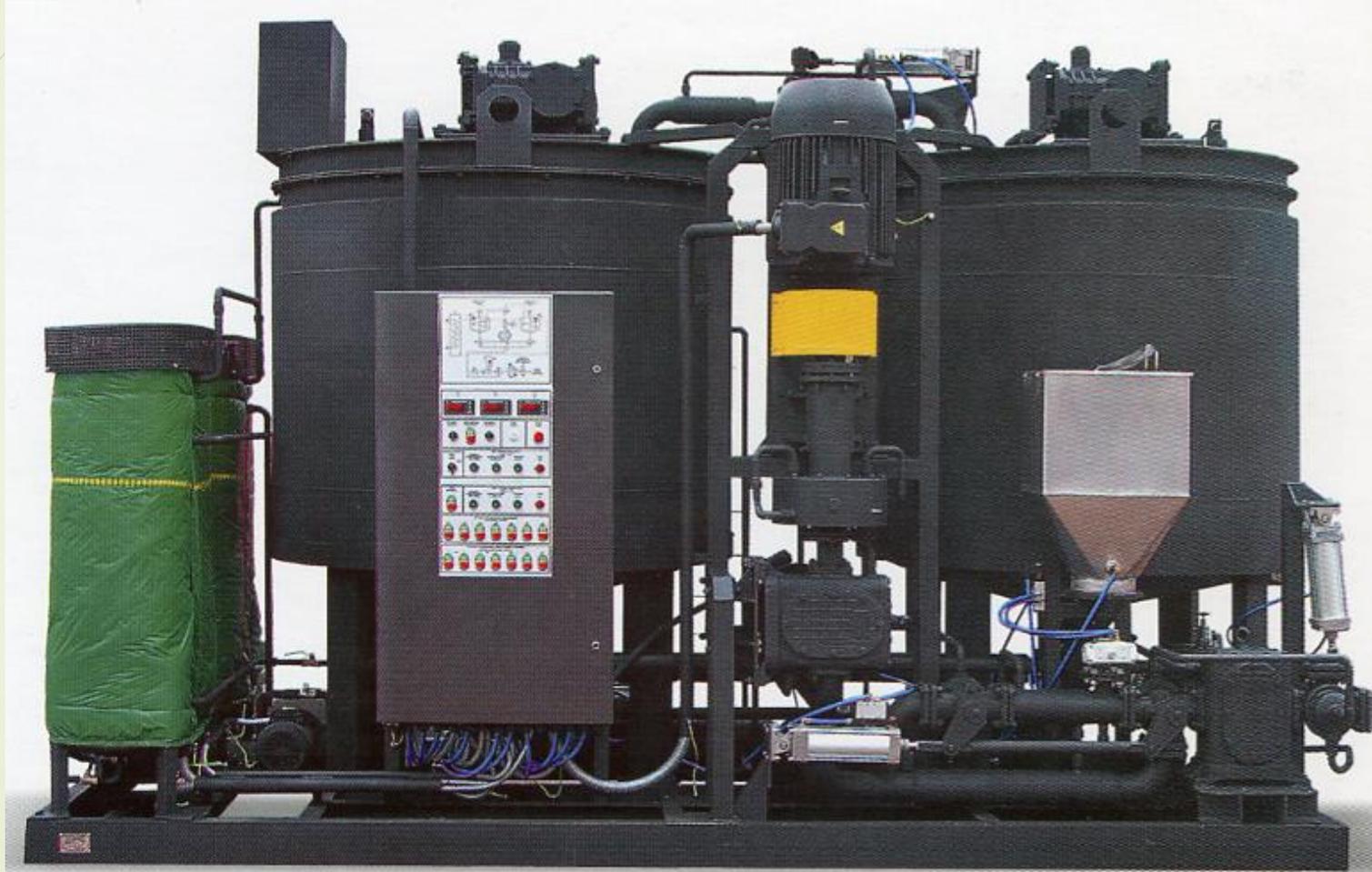
Зависимость коэффициента длительной водостойкости асфальтобетона $K_{вд}$ от времени водонасыщения



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



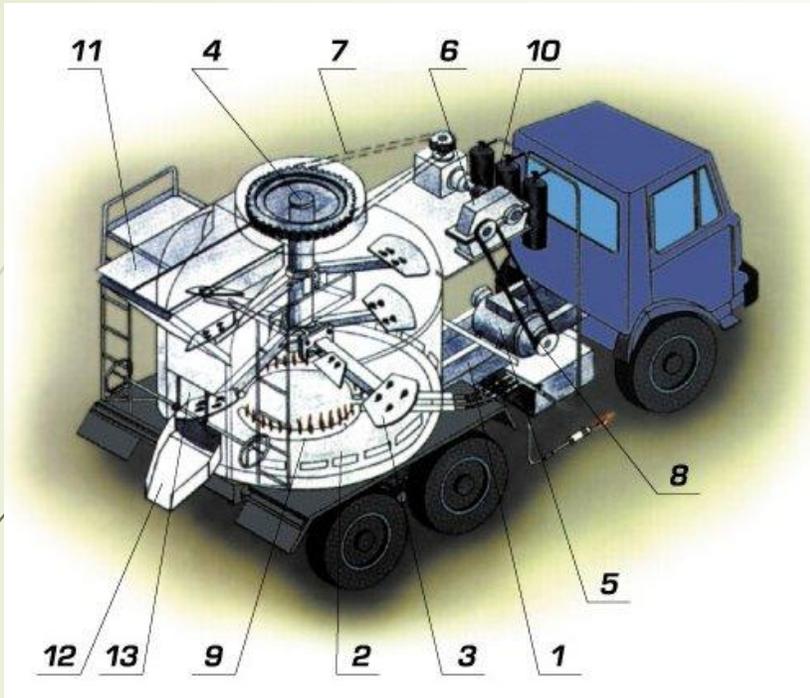
Установка для модифицирования битумов



| 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