



MASSENZA

Полимерно- модифицированный битум

Технические аспекты, производство и материальное
обеспечение

Автор: Диего Массенца



Полимерно-модифицированный битум

Введение 4

Часть I. ПМБ - технические аспекты

1. Битум 6

2. Полимеры 7

3. Модифицированный битум 10

3.1 Совместимость битумов и полимеров 11

3.2 Реологическое поведение модифицированного битума 13

3.3 Когезионные и адгезионные свойства модифицированного битума 16

4. Битум, модифицированный эластомерами 17

5. Битум, модифицированный пластомерами 23

6. Причины использования модифицированного битума вместо обычного битума 26

7. Дренирующие покрытия 29

Часть II - ПМБ: Производство и материальное обеспечение

1. Производство 30

1.1 Непрерывное производство 31

1.2 Производство партиями 40

1.3 Концентрированная смесь 44



2. Обращение с битумом и полимерами	48
2.1 Как обращаться с битумом	48
2.2 Как обращаться с полимерами	49
3. Хранение и перевозка ПМБ	53
3.1 Заводское производство	53
3.2 Производство на месте работ	54
4. Производство асфальтобетона с ПМБ	56
4.1 Изменение параметров асфальтобетонного завода	56
4.2 Укладка и уплотнение	56
<i>Библиография</i>	59

Замечание 1: в технической литературе термин «асфальт» обычно означает то же, что и «битум», поэтому мы называем битумную смесь (или битумный связующий материал) также асфальтовой смесью (или асфальтовым связующим материалом).

Замечание 2: содержание полимерных материалов в битумных смесях выражено в процентах от массы битума.



Введение

Человечество использует битум на протяжении 5000 лет. В Междуречье, Иране и северо-западной части Индии он применялся как защитный и связующий материал. Битум также использовался древними египтянами для строительства и защиты от воды. Неизвестно, почему, несмотря на активное применение битума в те времена, пришлось так долго ждать возобновления его использования во всем мире. Даже римляне, лучшие в истории строители дорог, не использовали битум должным образом. Первые данные о применении битума в новое время относятся к 1712 году, когда человек по имени Д'Эйринис начал использовать природный асфальт небольшими кусками, добавляя его к горной породе. В течение следующих 150 лет это оставалось единственным применением битума в дорожном строительстве, причем использовался в основном натуральный асфальт острова Тринидад. С разработкой процесса перегонки нефти наиболее значительные в этой области ученые, в частности Де Смедт, Ричардсон и Бардер, начали эксперименты с асфальтом, изучая смеси природного асфальта и продуктов перегонки. Так была открыта эра **смешивания различных продуктов для получения лучших результатов.**

Во второй половине XIX века процесс перегонки улучшался и был впервые получен перегнаный битум. Ученые использовали этот битум в смеси с природным и начали исследования с целью улучшения его качества. В 1881 г. Де Смедт запатентовал систему, использующую продув горячего битума воздухом («окисленный асфальт»), и на этом использование природного битума практически завершилось.

Необходимость дорожного строительства по всему миру создала огромный спрос на битум и другие компоненты нефти. В то же время технология перегонки постоянно улучшалась, а ее отходы



(то есть битум) становились все хуже и хуже, хотя увеличение дорожного движения и рост нагрузки на дорожное покрытие требовали повышения его качества.

Таким образом, единственным способом улучшения качества битума стало использование добавок. Поскольку в покрытии для крыш широко применялось **добавление в битум пластичных материалов**, наиболее простым представлялось использовать уже накопленный опыт и знания и проверить их применимость в дорожном строительстве. Исследование способов улучшения свойств битума путем использования определенных добавок началось в начале XX века (первые попытки модификации битума были сделаны с помощью природной резины). Использовались различные типы полимеров: SBS, EVA, ЕМА и РЕ. Эти добавки стали основой исследования модификации битума для применения в дорожном строительстве. В течение нескольких лет испытаний выяснилось, что **полимер SBS или его смесь с другими добавками дает наилучшие результаты**.

Однако целенаправленная разработка **полимерно-модифицированных битумов** и промышленных процессов их получения началась только в 70-е годы XX века. В то время дорожные покрытия имели множество недостатков, а именно: подверженность вымыванию, хрупкость в зимний период, преждевременное старение и, что наиболее важно, низкую износостойчивость при больших транспортных нагрузках.

В Европе (в частности, в Германии, Франции, Бельгии и Италии) была разработана технология производства битумного покрытия, при которой в смеситель добавлялся полимер с целью устранения недостатков, перечисленных выше. В то же время активно исследовались способы повышения безопасности на дорогах путем увеличения коэффициента сцепления. Это привело к появлению дренажных покрытий.



ПМБ: Технические аспекты

1. Битум

Битум обычно характеризуют как коллоидную субстанцию с мицеллами асфальтенов, окруженными смолами и рассеянными в масляных фазах высокой вязкости (мальтенах). Коллоиды делятся на золи (преимущественно жидкой консистенции) и гели (преимущественно твердой консистенции) в зависимости от соотношения компонентов. В битуме соотношение между этими двумя фазами зависит от взаимодействия асфальтенов со смолами и сильно меняется с температурой. Это объясняется тем, что повышение температуры битума разрушает структуру геля, позволяя мицеллам асфальтенов перемещаться свободно, как в золевой структуре.

Таким образом, важнейшей характеристикой битума является то, что он бывает твердым или полутвердым при обычных температурах, но легко превращается в жидкость при нагревании. Эта замечательная **термическая чувствительность** битума также является и главным неудобством при его использовании. Фактически, битумные смеси должны сохранять свои сцепляющие и связующие свойства в любых природных условиях в течение целого года. Термическая чувствительность не позволяет обычным битумным смесям хорошо вести себя и при высоких, и при низких температурах, заставляя «модифицировать» каким-либо образом свойства битума.

Наличием асфальтенов обусловлены специфические свойства битумов, а именно вязкость (пластичность) и упругость, устойчивость к определенным типам деформаций, сцепляющие и связующие свойства. Упругость и пластичность также обусловлены наличием смол и мальтенов.



С точки зрения реологии битум может быть определен как **вязкоэластичный материал**, причем его свойства меняются в зависимости от частоты приложенных нагрузок: он проявляет упругие свойства при нагрузках высокой частоты и пластичные при нагрузках низкой частоты. Реологическое поведение битума зависит от его химической структуры (золь или гель). Как было сказано выше, баланс между двумя фазами сильно зависит от температуры. В свою очередь, это означает, что **реологическое поведение битума является функцией температуры**.

2. Полимеры

Полимер может быть упрощенно описан как «большая молекула», состоящая из многих соединенных последовательно относительно небольших молекул, называемых мономерами. В случае, если полимер состоит из различных мономеров, он называется сополимером. Существует множество методов классификации полимерных материалов: по происхождению (природные или синтетические), химическому составу, молекулярной структуре, способу синтеза. Из них наиболее важным для нас представляется реологическое поведение полимера.

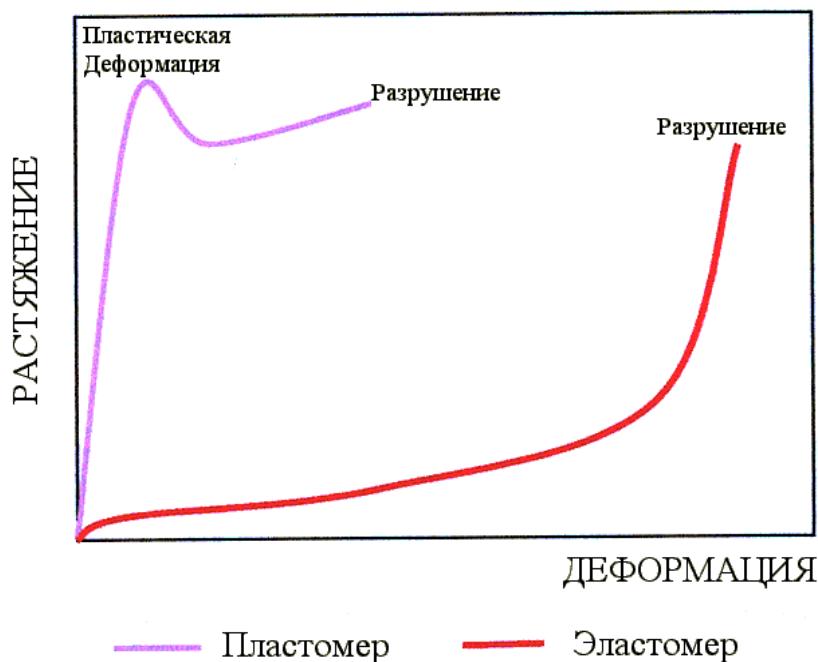


Рисунок 1. Диаграммы растяжения пластомера и эластомера

Исходя из их реологического поведения, полимеры могут быть разделены на *пластомеры* и *эластомеры*. Их поведение при рабочей температуре, в частности жесткость, подверженность деформации и ударная вязкость, существенно различаются. Типичные зависимости напряжения от деформации для пластомера и эластомера показаны на рисунке 1. Ясно видны различия в реологическом поведении: в случае пластомера упругой деформации сопутствует довольно значительная доля остаточной деформации и разрушения; эластомер демонстрирует вязкоэластичное поведение.

Термопластичные полимеры (эластомеры)

Стирол-бутадиен-стирол	SBS
Стирол-бутадиен	SB
Радиальный стирол-бутадиен-стирол	rSBS



Термопластичные полимеры (пластомеры)

Этилен-винилацетат	EVA
Этилен-метилакрилат	EMA
Полиэтилен	PE
Полиэтилен низкой плотности	LDPE
Полиэтилен высокой плотности	HDPE

Латекс

Полихлоропрен
Природная резина

Резиновая крошка

Для модификации битума может использоваться множество полимерных материалов, из которых наиболее часто применяются **термопластичные полимеры**. Кроме этих синтетических полимеров, могут применяться и другие вещества, в частности резиновая

крошка и латекс (смотри таблицу выше). Для некоторых применений определенные виды полимеров могут смешиваться с битумом.

В частности, эластомеры могут использоваться как в «сырой» форме (без поперечных связей), так и в форме с поперечными связями. Последняя может быть как «химической», где имеются межмолекулярные химические связи (как в вулканизированной резине), так и «физической», представляющей собой двухфазный полимерный материал (сополимер SBS).

Основной целью добавления полимеров в битум для асфальтовых смесей является повышение сопротивления деформации путем увеличения жесткости битума и смеси, а также их эластичности. Полимеры, создающие в битуме непрерывные структуры (особен-



но SBS), эффективны для придания смеси эластичных свойств. Полимеры, не формирующие структур (EVA), также могут увеличить эластичность битума, но только за счет растяжения и сжатия молекул.

3. Модифицированный битум

В дорожном строительстве обычные материалы обеспечивали удовлетворительное качество в течение многих лет. Сегодня постоянно растущие транспортные нагрузки, необходимость в надежных и долговечных дорогах и требования экономии сделали недостатки обычных битумов очевидными. Битумы, не модифицированные должным образом, показывают на практике следующие недостатки:

- 1) высокая термическая чувствительность (размягчение при высоких температурах и хрупкость при низких);**
- 2) плохие механические характеристики и низкая упругость;**
- 3) склонность к старению.**

Ввиду этих недостатков, а также многих практических и экономических факторов, в течение последних 30 лет был проведен ряд исследований. Они продемонстрировали, что полимерные

материалы являются лучшими модификаторами для улучшения технологических качеств битума.

Полученный модифицированный битум, образованный объединением обычного битума и полимера, обеспечивает более высокий уровень качества:



- 1) *улучшение рабочих характеристик при высоких и низких температурах;*
- 2) *улучшение эластопластических характеристик;*
- 3) *повышенное сопротивление усталости материала;*
- 4) *улучшение когезии и адгезии с наполнителями;*
- 5) *повышенное сопротивление старению.*

Перечисленные преимущества сильно связаны с видом использованной битумной основы и полимера, а также с типом применяемого при модификации технологического процесса. Высокие рабочие характеристики достигаются только при условии точного контроля дозировки полимера и его распределения в битумной массе. **Лучшие показатели распределения (гомогенизации) достигаются при использовании мельницы с высокой степенью измельчения.**

3.1 Совместимость битумов и полимеров

Совместимость битума и модифицирующего вещества является определяющим фактором (не все полимеры совместимы с определенным типом битума и наоборот). С точки зрения термодинамики совместимость битума и полимера определяется как ситуация, в которой битум и полимер находятся в одном фазовом состоянии (растворимость). Растворимость полимерных материалов в битуме зависит от многих параметров, из которых наиболее важными являются:

- различие в параметрах растворимости полимера и мальтеновой фазы полимера;
- количество и типы асфальтенов, содержащихся в битуме.



Это согласуется с тем фактом, что мальтеновая фаза является растворителем для полимера, а асфальтены, стремясь остаться растворенными, конкурируют с полимером.

Параметр растворимости (то есть плотность энергии связи) мальтеновой фазы любого битума изменяется в определенном диапазоне; чтобы полимер взаимодействовал с битумом, параметр растворимости полимера должен находиться внутри этого диапазона. Среднее значение параметра растворимости полимеров (сополимеров), имеющих основаниями стирол и бутадиен (SBS) или этилен-винилацетат (EVA), очень близко к среднему значению этого параметра для мальтеновой фазы. Поэтому эти полимеры сильно взаимодействуют с большинством типов битума.

Другим важным параметром является молекулярный вес смешиваемых компонентов: максимально допустимая разница в их параметрах растворимости прямо зависит от их молекулярных весов. Поэтому, полимеры с низким молекулярным весом смешиваются легче, чем с высоким (молекулярный вес полимеров, используемых для модификации битума, обычно находится в пределах 50000 - 300000).

Способность комбинации битум/полимер к улучшению рабочих характеристик в основном определяется составом и молекулярным весом полимера и в меньшей степени — свойствами битума. Вообще говоря, более совместимым битумам требуется меньше полимера для создания непрерывной полимерной сети (количество полимера зависит от взаимодействия полимера и битума, учитывая то, что полимер может поглотить объем битумных компонентов в несколько раз больший, чем его собственный объем). Когда **обогащенная фаза полимера** начинает переходить в **непрерывную фазу (инверсия фазы)**, свойства смеси существенно изменяются. С различными активно взаимодействующими полиме-



рами это происходит при концентрациях около 4 - 6%. При таких концентрациях используются многие дорожные покрытия*.

Следует заметить, что выполнение инверсии фазы обычно занимает долгое время. Этот процесс «созревания» битума начинается при измельчении и продолжается в специальных септиктанках. Этот второй этап созревания может быть устранен (и время созревания уменьшено) с помощью специального процесса.

3.2 Реологическое поведение модифицированного битума

Как было сказано ранее, реологическое поведение битума зависит от температуры. Схематическое описание реологического поведения битумного материала в зависимости от температуры показано на рисунке 2.

* Мы можем выделить 2 категории смесей в зависимости от количества полимера, добавленного к битуму:

- МЯГКИЙ (SOFT) тип битума с содержанием полимера около 3 - 4%;

- ЖЕСТКИЙ (HARD) тип битума с содержанием полимера около 5,5 - 6,5% (иногда до 8%).

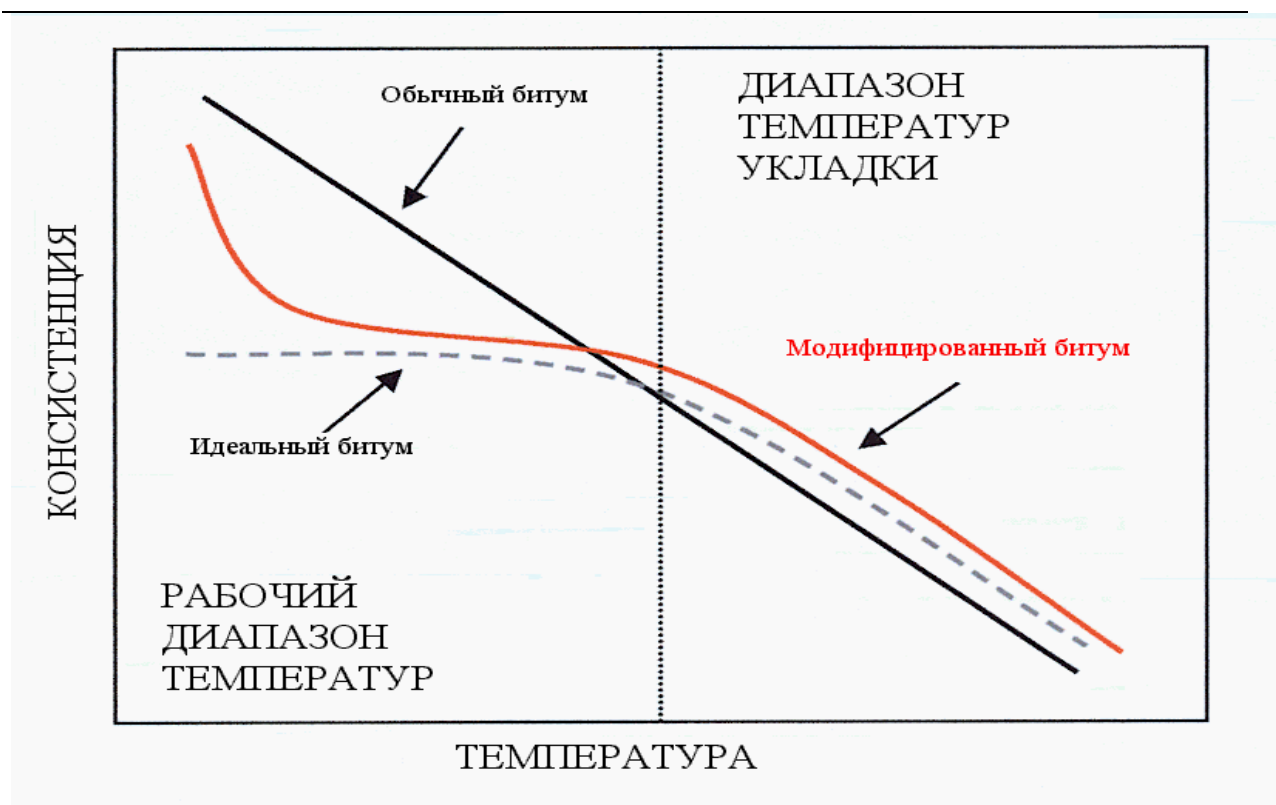


Рисунок 2. Реологическое поведение битумных материалов

Весь диапазон температур разделен на две части: рабочий диапазон и диапазон, в котором возможна работа с битумом (укладка). Консистенция идеального битума постоянна на всем диапазоне рабочих температур и падает в диапазоне укладки: у такого материала хорошие эксплуатационные свойства, и его легко укладывать.

Консистенция обычного битума уменьшается почти линейно с увеличением температуры. С этим материалом легко работать, но в рабочих условиях он проявляет очень высокую температурную чувствительность. **Поведение же полимерно-модифицированного битума оказывается очень близким к идеальному!** Реологическое поведение модифицированного битума полностью отлично от поведения обычного и отражает поведение использованных полимерных материалов. Это происходит главным образом тогда,

когда полимер образует непрерывную фазу, содержащую битум в виде рассеянных капель.

Для получения этой непрерывной фазы смешивание должно осуществляться должным образом (исходя из термодинамических и кинетических соображений). Структура полимерно-модифицированного битума может быть изучена с помощью флуоресцентной микроскопии. При этом насыщенная фаза битума имеет темный цвет, а насыщенная фаза полимера — светлый. Пример внутренней структуры полимерно-модифицированного битума приведен на рисунке 3: здесь можно легко наблюдать однородное распределение битума в непрерывной полимерной фазе.

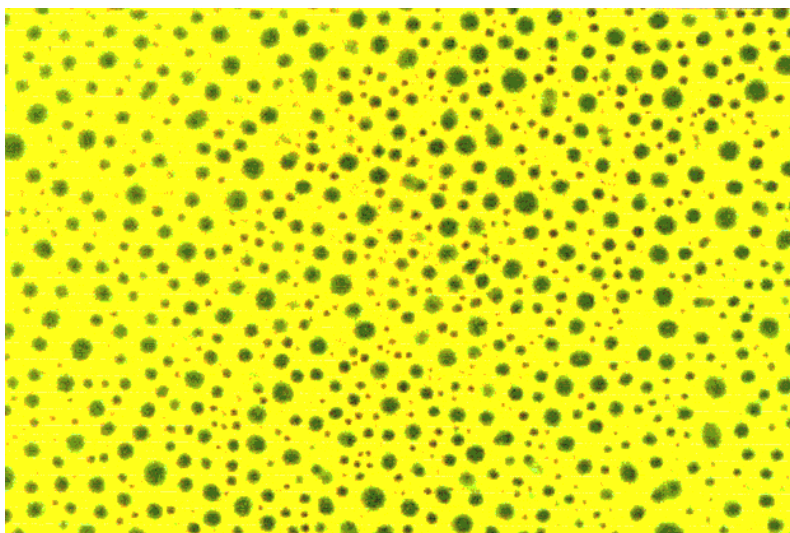


Рисунок 3. Фотография структуры модифицированного битума, полученная с помощью флуоресцентной микроскопии

Как было сказано ранее, битум является вязкоупругим материалом. Добавление полимера в битум повышает как упругость, так и пластичность, что показано на рисунке 4 как увеличение комплексного модуля. Преимущество высокого модуля состоит в уменьшении деформации при высоких транспортных нагрузках. Кроме того, присутствие полимера увеличивает сопротивляемость

усталости материала. Как следствие, модифицированный битум более устойчив к усталости, а также к остаточным (неупругим) деформациям.

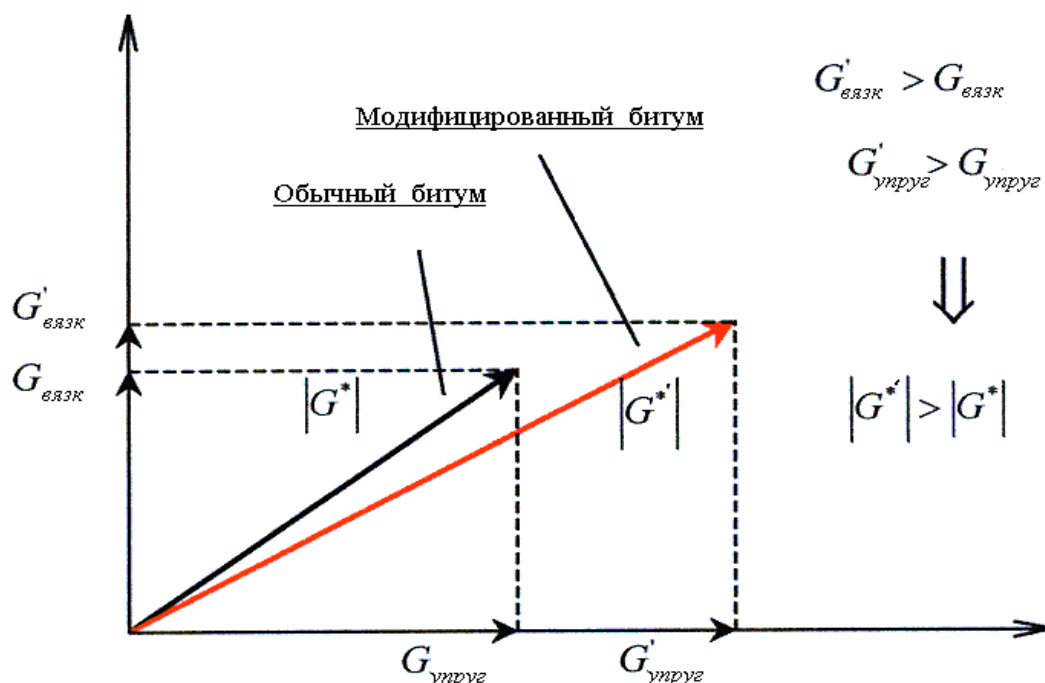


Рисунок 4. Сравнение комплексных модулей обычного и модифицированного битума

3.3 Коhezивные и адгезивные свойства модифицированного битума

Коhezия — это способность битума сопротивляться внешней деформации. Такая способность возникает за счет присутствия в битуме асфальтенов и смол. Очевидно, что существует прямая связь между коhezивными и реологическими свойствами. Итак, можно говорить, что **улучшение коhezивных свойств благодаря добавлению полимера** проявляется как улучшение реологического поведения модифицированного битума (смотри выше).

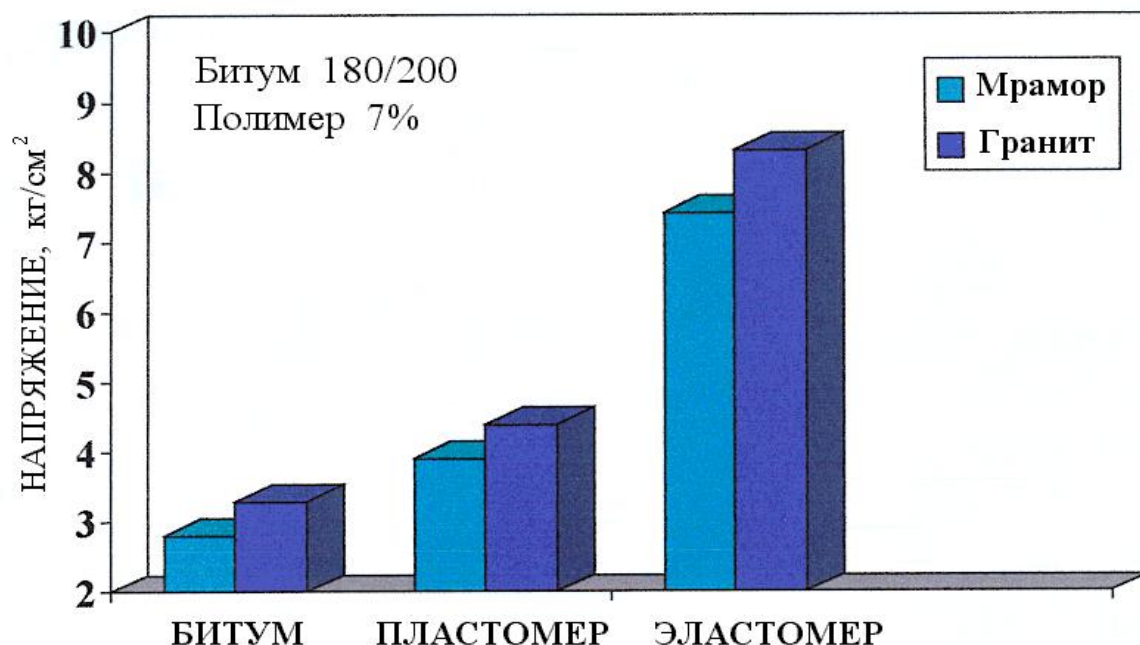


Рисунок 5. Адгезия с наполнителями (метод С. N. R.)

Что касается адгезии битума с наполнителями, то результаты тестов приведены на рисунке 5. Тест очень прост и состоит в разделении двух небольших призм из исследуемого материала, связанных тонким слоем битума. Эти результаты показывают, что **присутствие полимеров улучшает адгезивные свойства**, особенно в случае с эластомерами (это можно объяснить способностью системы поглощать деформации посредством рассеивания энергии).

4. Битум, модифицированный эластомерами

При модификации битумов эластомерами образуются вещества, называемые эластомерными битумами. При этом могут быть использованы различные виды гомополимеров и сополимеров. Наиболее часто в дорожном строительстве используется группа стирол-бутадиеновых сополимеров, в частности двух- и трехблочные (SB или SBS). Трехблочные сополимеры могут быть линейными



или радиальными (смотри рисунок 6). Полимеры SBS, широко используемые в дорожных покрытиях, имеют молекулярные веса от 80000 до 300000. Стирол обычно составляет 20-30% общего веса полимера.

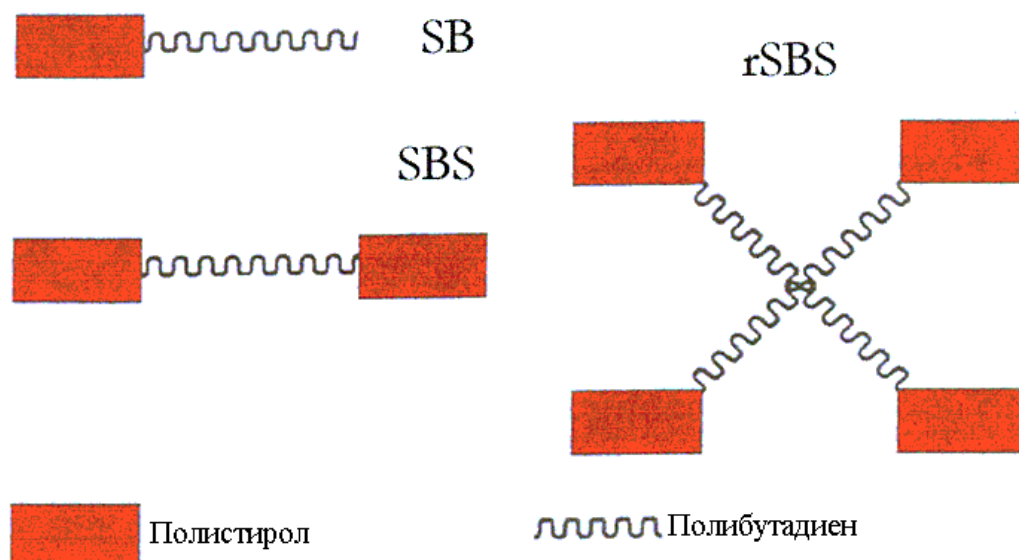


Рисунок 6. Линейные и радиальные термопластичные эластомеры

Модификация битума включает смешивание битума и полимера при температуре выше точки плавления полимера и перемешивание для обеспечения равномерного смешения фаз. Чтобы понять характер взаимодействия между битумом и стироловым термопластичным эластомером, необходимо учесть следующее:

- природу битума;
- факт того, что полимер составляет отдельную фазу.

Битумы представляют собой сложные смеси углеводородов с различными химическими составами и молекулярными весами. Как уже было сказано, битумы — коллоидные смеси, в которых прерывистая фаза, асфальтены, окружена слоем полярных смол, об-



разующих «мицеллы». Эти мицеллы погружены в непрерывную мальтеновую фазу, которая представляет собой смесь ароматических и насыщенных углеводородов. Стирол и бутадиен совместимы с ароматическими и неароматическими компонентами битума соответственно, и именно это свойство объясняет сильное взаимодействие SBS и битумов.

Вступая в контакт с битумом, эластомерные блоки (полибутадиены) разбухают, поглощая значительную долю мальтеновой фракции. В то же время полистироловые блоки, менее совместимые с битумом, разделяются на изолированные домены, предоставляя позиции для физических поперечных связей. Особенностью SBS является то, что различные блоки (полистирол и полибутадиен) взаимно несовместимы и борются за разделение фаз. Поскольку они связаны химически, разделение фаз происходит на микроуровне: создается двухфазная система, в которой разобщенные домены полистирола удерживаются внутри непрерывной полибутадиеновой матрицы (смотри рисунок 7). Другими словами, полистироловые домены формируют позиции для физических поперечных связей в трехмерной сети полибутадиена.

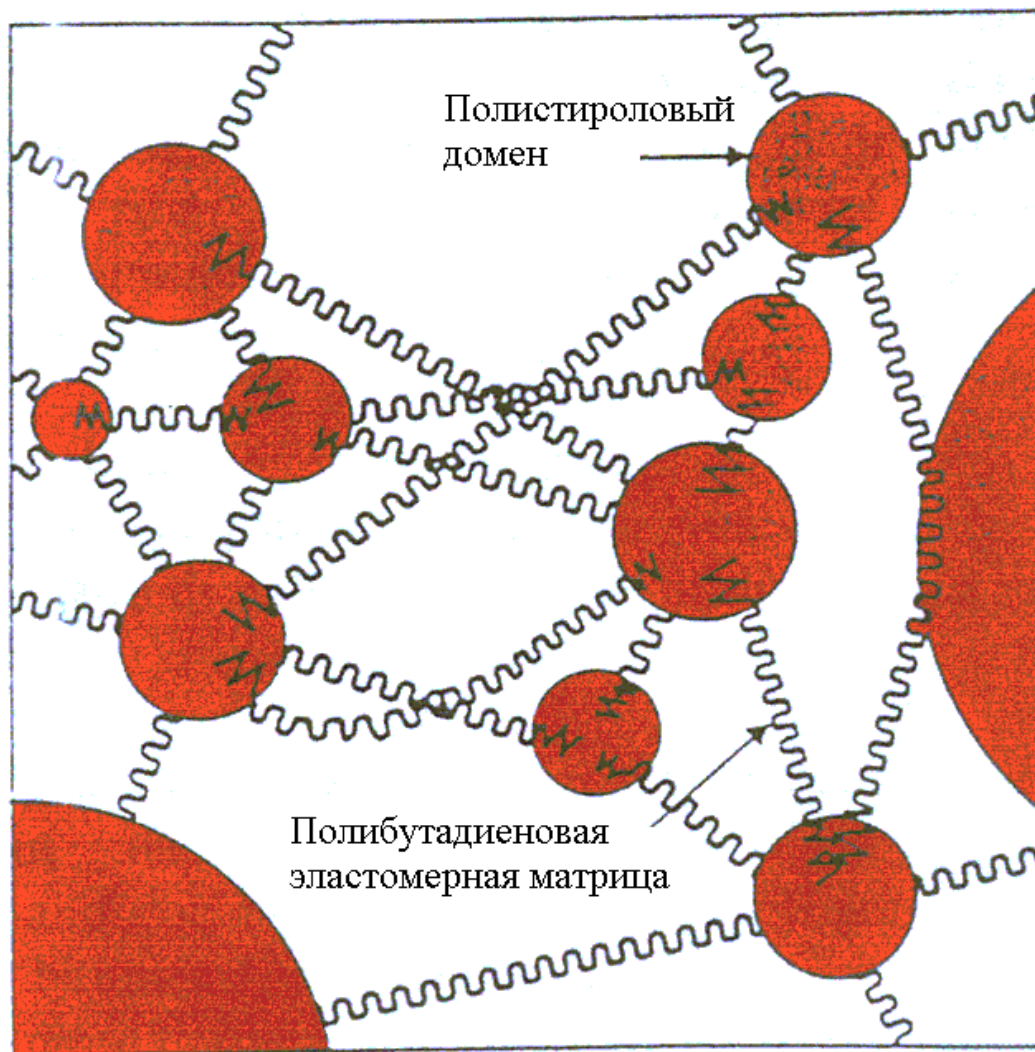


Рисунок 7. Трехмерная сеть полимера SBS

Таким образом, после смешивания с битумом SBS разбухает; объем обогащенной фазы полимера в 5-10 раз превышает объем добавленного в смесь полимера. Явление разбухания наблюдается при изучении структуры эластомерного битума с помощью флуоресцентного микроскопа (обогащенную фазу полимера легко распознать, поскольку она излучает желто-зеленый свет, в то время как битумная матрица почти не светится).

Как было уже сказано, обогащенная фаза полимера содержит главным образом ароматические углеводороды (которые вздувают



полимер в основном из-за совпадения их параметров растворимости). Фаза с низким содержанием полимеров содержит, в частности, асфальтены. Эта фаза обычно не очень стабильна и имеет более высокую плотность, чем обогащенная. Кроме того, фазы склонны к разделению: насыщенная полимерная фаза отстаивается сверху, а насыщенная асфальтеновая фаза оседает вниз.

Хотя результаты стандартных тестов для термопластичных эластомерных битумов обычно существенно отличаются от результатов для обычных битумов, часто бывает трудно получить из них точную информацию о рабочих характеристиках модифицированных битумных смесей. Более полезной является информация, полученная из реологических тестов.

Модификация битума эластомером изменяет его реологическое поведение. Для определенного вида битума это изменение зависит как от природы полимера, так и от его содержания в смеси.

Интересный результат дает сравнение упругих компонент комплексного модуля для обычного и SBS-модифицированного битума (рисунок 8). Модифицированный битум имеет меньшие значения комплексного модуля при низких температурах (и по этой причине является более податливым). При высоких же температурах он имеет большие значения модуля, чем обычный битум (и по этой причине оказывается более устойчивым). Таким образом, **присутствие полимера увеличивает рабочий интервал температур для битума**: оно способствует уменьшению жесткости битума при низких температурах и эффективно повышает ее при высоких температурах (когда сам битум склонен к проявлению более вязкопластичного поведения).

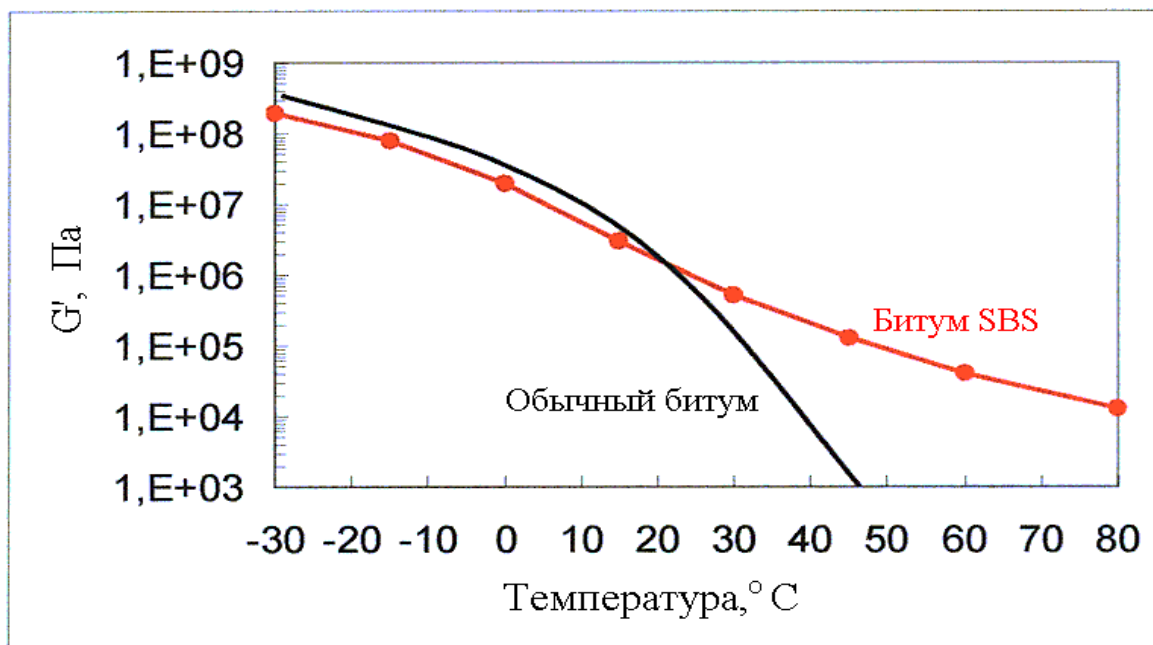


Рисунок 8. Влияние модификации битума на упругий компонент комплексного модуля (частота теста 10 Гц)

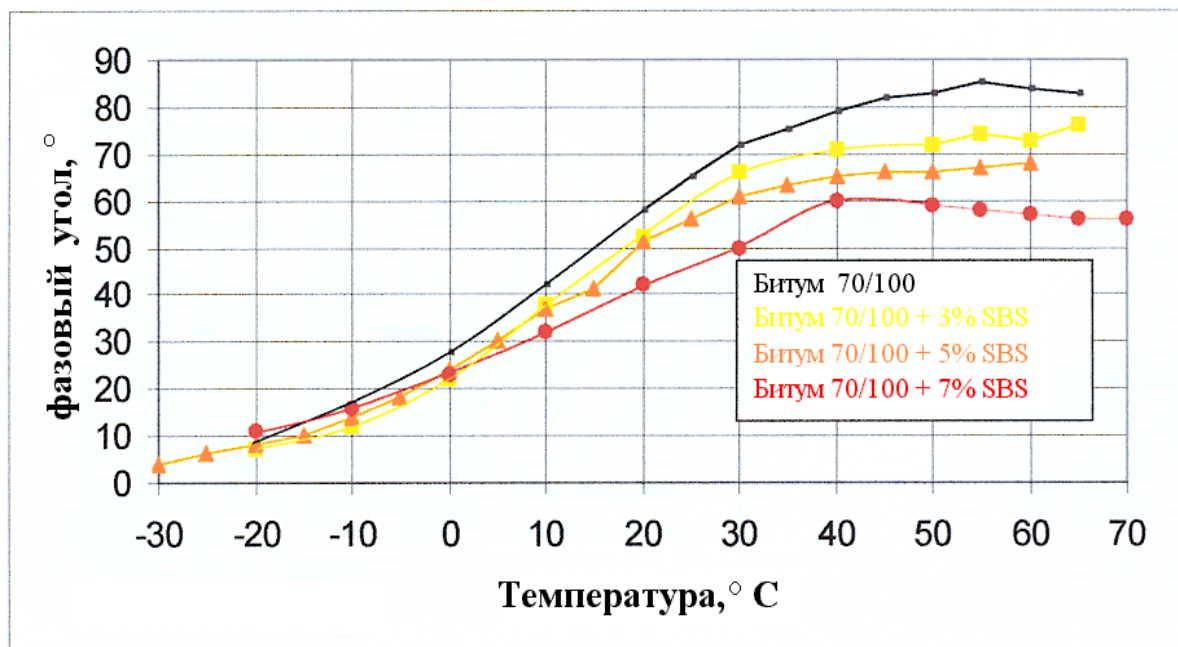


Рисунок 9. Влияние содержания полимера на фазовый угол смеси битума/SBS



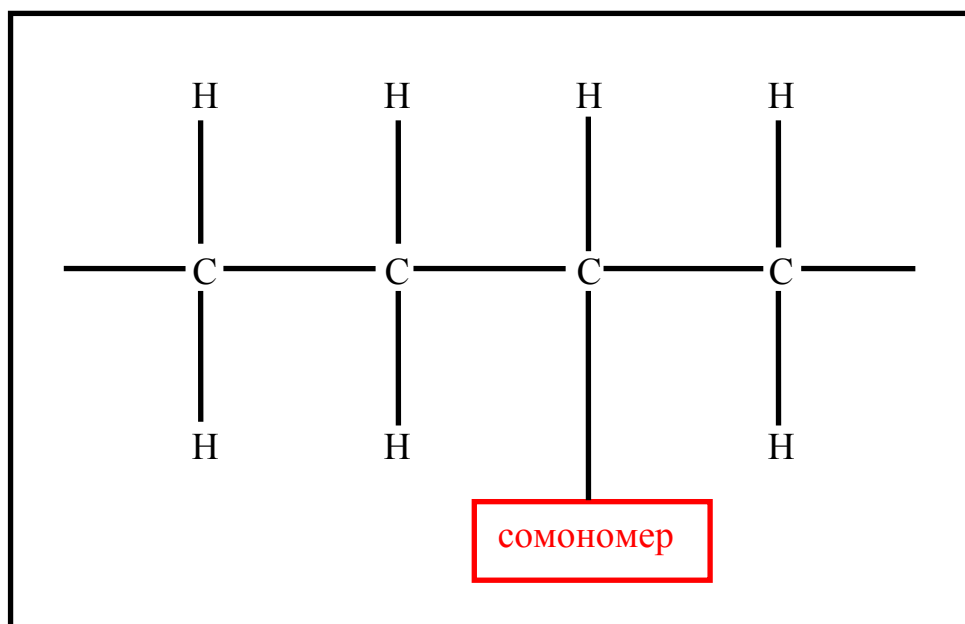
Для определенного вида битума изменение в его реологическом поведении зависит как от природы полимера, так и от его содержания в смеси, что ясно видно на фазовой диаграмме (рисунок 9):

- фазовый угол для обычного битума 70/100 увеличивается непрерывно;
- фазовый угол резко уменьшается при добавлении всего 3% SBS;
- при добавлении 5% SBS на кривой фазового угла появляется плоский участок;
- при добавлении 7% SBS фазовый угол достигает максимума.

5. Битум, модифицированный пластимерами

Для модификации битумов пластимерами может быть использовано большое число типов гомополимеров и сополимеров. В шоссейном строительстве обычно применяются **этиленовые сополимеры**: EVA (сополимеры этилена и винилацетата) и ЕМА (сополимеры этилена и винилакрилата). Сополимеры этилена и винилакрилата (EVA) могут быть использованы вместе с SBS.

Сополимеры этилена являются статистическими сополимерами, которые описываются следующей общей формулой:



Сомономером является винилацетат ($\text{O}=\text{C}=\text{OCH}_3$) в случае с EVA и метилакрилат (COOCH_3) в случае с ЕМА.

Углеводородная основа этой структуры ответственна за жесткость и когезию, которые изменяются в зависимости от длины цепей. Природа и содержание сомономеров, в свою очередь, определяют параметры совместимости и адгезии. Для EVA рекомендуемые сополимеры имеют содержание винилацетата от 18% до 33%, для ЕМА возможно использование метилацетата при содержании от 25% до 33%.

Влияние полимера на реологические характеристики битумных покрытий показано на рисунках 10 и 11 (для полимера EVA). Повышение содержания полимера приводит к повышению консистенции при высоких температурах и уменьшению температурной чувствительности (изохронные кривые модуля). Другим его результатом является значительное изменение реологического поведения смеси: изохронны для фазового угла показывают, что фазовый угол уменьшается (то есть покрытие становится более упругим) при увеличении содержания полимера. Кроме того, чем



выше содержание полимера, тем шире диапазон температур, в котором фазовый угол мал.

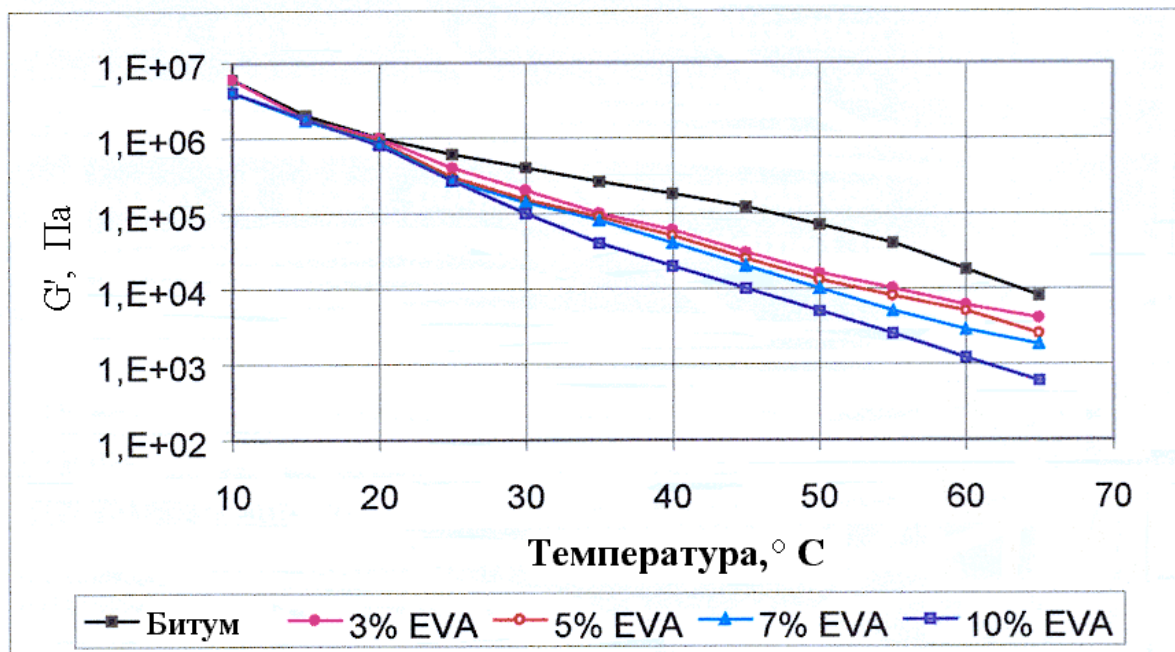


Рисунок 10. Изохронны комплексного модуля для битумов с различным содержанием этиленового сополимера

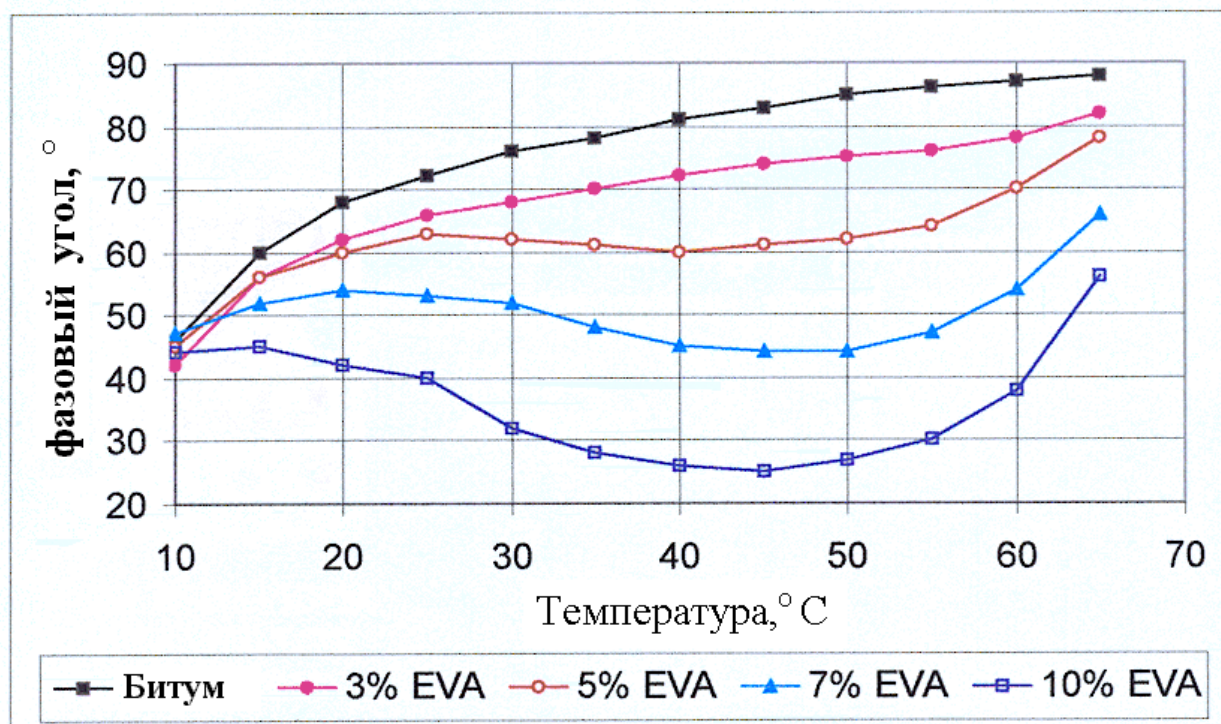


Рисунок 11. Изохронны фазового угла для битумов с различным содержанием этиленового сополимера

6. Причины использования полимерно-модифицированного битума вместо обычного битума

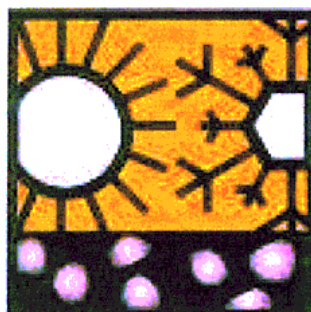
Как мы видели, целью модификации битума является придание битуму свойств модифицирующего полимера с целью повышения его технологических характеристик. При этом свойства битума будут меняться в зависимости от добавленных полимеров и условий его изготовления. Вот некоторые преимущества модифицированного битума по сравнению с обычным:



Каждый модификатор способствует расширению интервала упругопластичности смеси (интервала эффективного использования), который располагается между точкой хрупкости (от холода) и точкой размягчения (от жары).



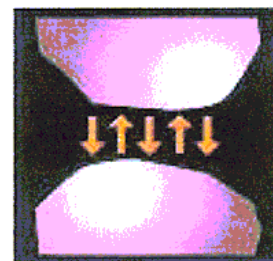
БОЛЬШОЙ
ИНТЕРВАЛ
УПРУГОПЛАСТИЧНОСТИ



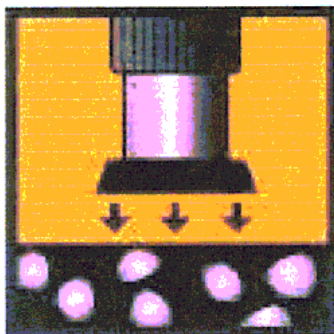
УЛУЧШЕННЫЕ
СВОЙСТВА ПРИ ВЫСОКИХ
И НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

При правильном выборе типа полимера и его концентрации обычный рабочий интервал ($-10^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$) может быть расширен до ($-25^{\circ}\text{C} \dots +110^{\circ}\text{C}$).

Присутствие полимеров всегда улучшает когезионные и адгезионные свойства. Это, в свою очередь, повышает упругопластические свойства битумной смеси.



УЛУЧШЕННЫЕ
КОГЕЗИОННЫЕ
И АДГЕЗИОННЫЕ
СВОЙСТВА



УЛУЧШЕННАЯ
СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ
НАГРУЗКАМ И УСТАЛОСТИ

Упругопластическое поведение модифицированного битума может гарантировать лучшее рассеивание энергии, создаваемой транспортными нагрузками, и большую сопротивляемость остаточной деформации.



УЛУЧШЕННОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ
СТАРЕНИЮ

Срок эксплуатации дорожных покрытий может быть значительно продлен. Это дает возможность уменьшить частоту ремонтов (а также помехи движению) и сэкономить значительные средства.

В заключение скажем, что присутствие полимера всегда улучшает технологические свойства битума. Вообще говоря, все виды производимых модифицированных битумных смесей могут использоваться более широко, чем обычные смеси. Это касается как диапазона рабочих температур (страны с очень холодным или очень горячим климатом), так и транспортных нагрузок (благодаря расширенному интервалу упругопластичности).



7. Дренирующие покрытия

Модифицированные битумы находят широкое применение в дорожном строительстве: производство дренирующих битумных смесей, герметизация цементных конструкций (например, стыков мостов, путепроводов, внутрь которых может просочиться вода), обработка поверхностей и т.д.

Дренирующее покрытие имеет большое количество пустот и благодаря своей пористости может быстро отводить воду посредством фильтрации. Такое покрытие имеет следующие преимущества:

- 1) вода не скапливается на поверхности, что могло бы привести к возникновению явления гидропланирования шин;
- 2) улучшение видимости в дождливую погоду (ослабление дымки);
- 3) улучшение сцепления шин с поверхностью дороги.

Таким образом, использование дренирующего покрытия повышает дорожную безопасность благодаря уменьшению заноса, а также снижает уровень шума от проскальзывания шин.

Тест Маршалла (Marshall test) демонстрирует преимущество в прочности модифицированных битумов по сравнению с обычными при изготовлении дренирующих покрытий. Для различных типов битумов с содержанием полимера от 5% до 8% прирост стабильности по Маршаллу составляет 40-90% (для 5-процентной смеси) и 10-60% (для 8-процентной смеси). Прирост прочности по Маршаллу составляет около 48% для 5-процентной смеси и 30% для 8-процентной смеси.

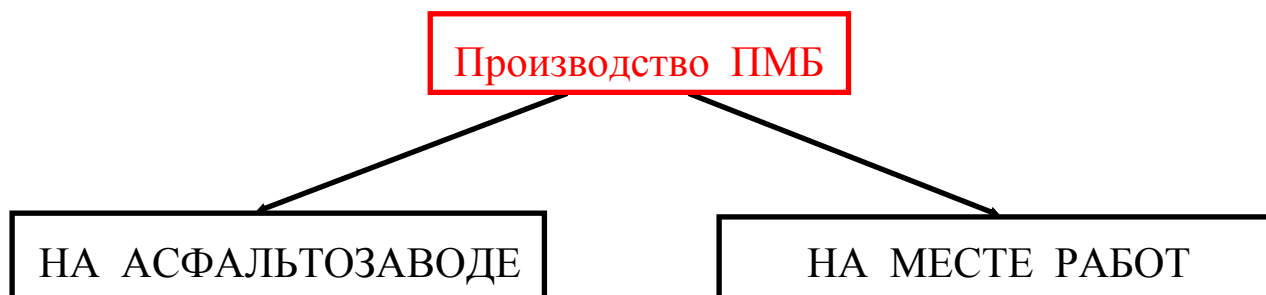


ПМБ: Производство и техническое обеспечение

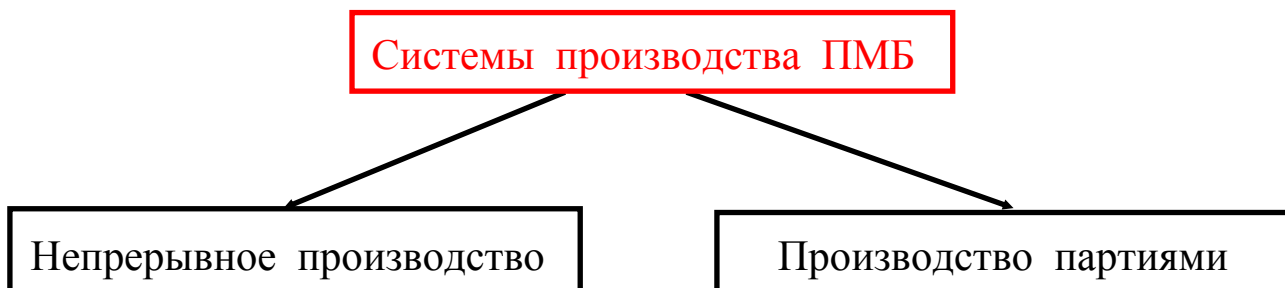
1. Производство

Технология производства модифицированных битумов хорошо изучена и освоена. После первых испытаний, проведенных на заводах по производству кровельных материалов, была разработана специальная технология для производства дорожных покрытий. В настоящее время существует большой выбор промышленного оборудования для полимерной модификации битума.

Производство полимерно-модифицированного битума может быть организовано как на асфальтобетонном заводе с терминалом, так и на месте работ:



В производстве модифицированных битумов используются *две основные системы: (1) непрерывное производство смеси и (2) производство партиями.*





Первый способ, пригодный только для линейного полимера SBS, применяется в основном на асфальтозаводах для массового производства с целью снабжения заказчиков готовым продуктом.

Второй способ используется заказчиками для производства битума на месте работ, а также некоторыми коммерческими компаниями для продажи конечным пользователям. Он может применяться почти со всеми известными на сегодня видами полимеров.

Независимо от используемого способа производства (непрерывного или партиями) **главной частью завода по производству ПМБ является мельница**. На рынке имеется несколько видов мельниц, причем большая их часть спроектирована для других отраслей промышленности (пищевой, химической, деревообрабатывающей), но используется для производства полимерно-модифицированных битумов. **MASSENZA разработала собственную модель мельницы, специально предназначенную для производства модифицированного битума и являющуюся лучшей в этой отрасли** (рисунки 1 и 2). Кроме того, **MASSENZA разработала специальную систему с насосом переменной скорости, питающим мельницу**. Такая система позволяет самой мельнице не тратить энергию на накачивание, направляя всю ее на измельчение, а также постоянно обеспечивает максимальный выход продукта путем регуляции потока сырья.

1.1 Непрерывное производство

Схема завода по производству полимерно-модифицированного битума с непрерывным циклом приведена на рисунке 3. Горячий битум и полимер в виде порошка или крошки загружаются в предварительный смеситель низкой степени измельчения, при этом поток контролируется точными приборами. На этой стадии происходит «увлажнение» битума полимерами. После стадии



предварительного смешения битумно/полимерная смесь пропускается через мельницу высокой степени измельчения для получения нужного качества смешивания. Затем смесь направляется в специальные цистерны (снабженные системой перемешивания для предотвращения разделения фаз), где происходит так называемое созревание. Время созревания зависит от типа битума, типа полимеров, настройки мельницы высокого измельчения, мощности потока и температуры битума.

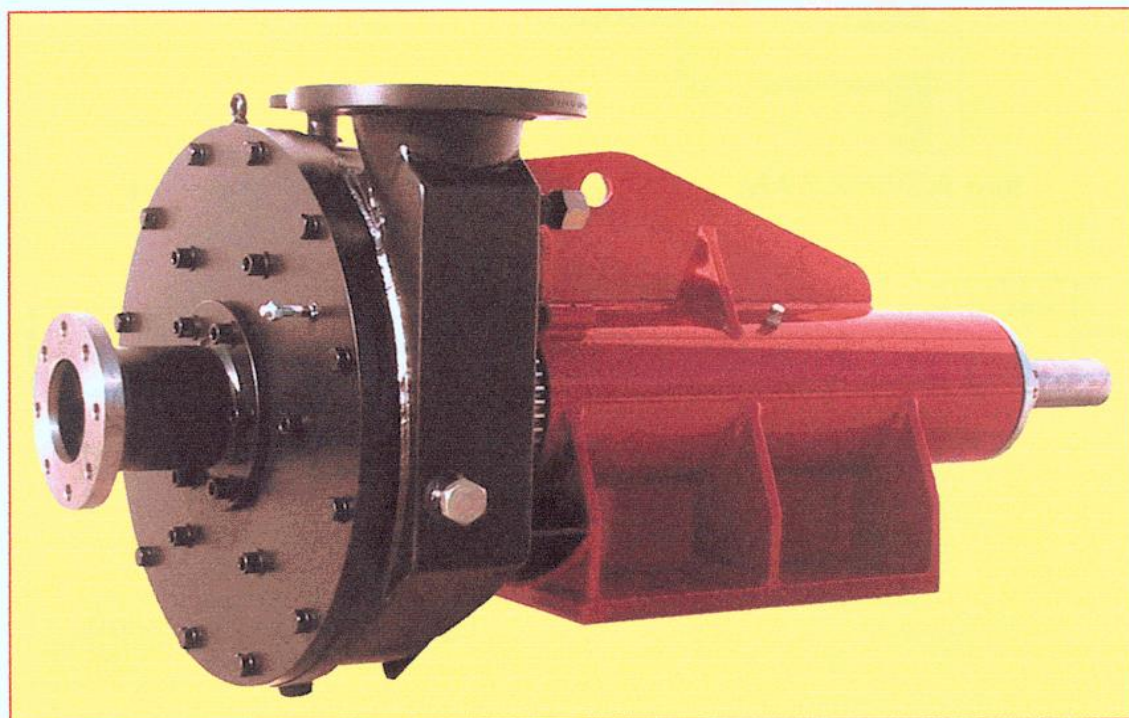
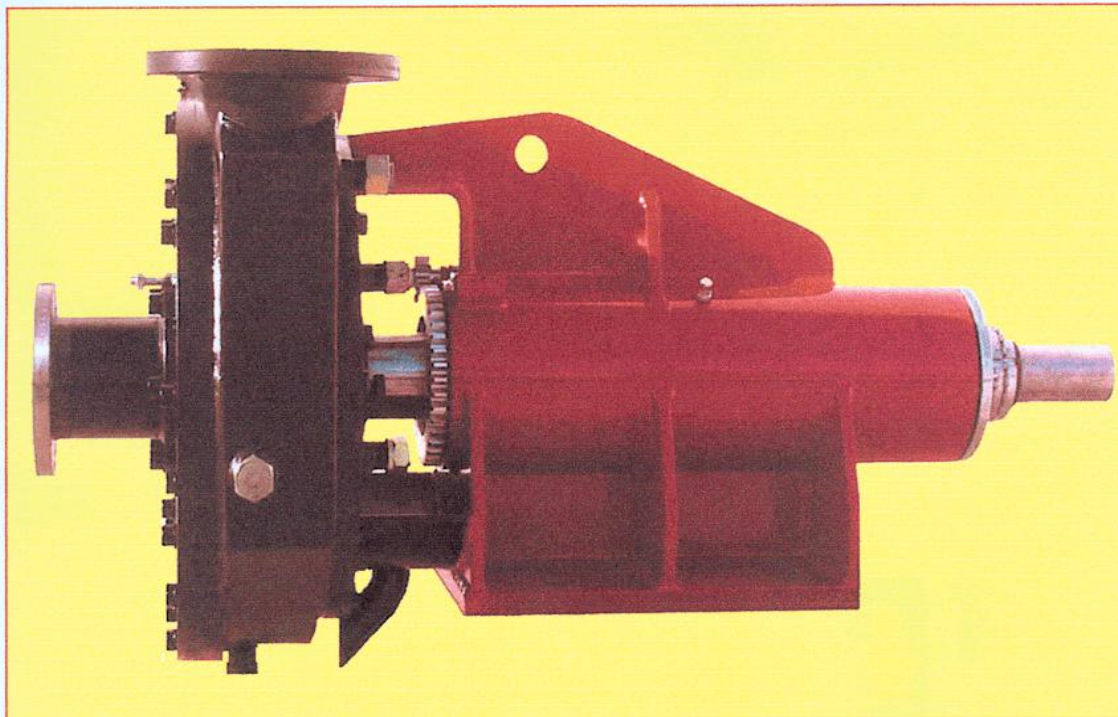


Рисунок 1. Фотографии мельницы *MASSENZA*

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
[http:// korrus.ru](http://korrus.ru)

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03

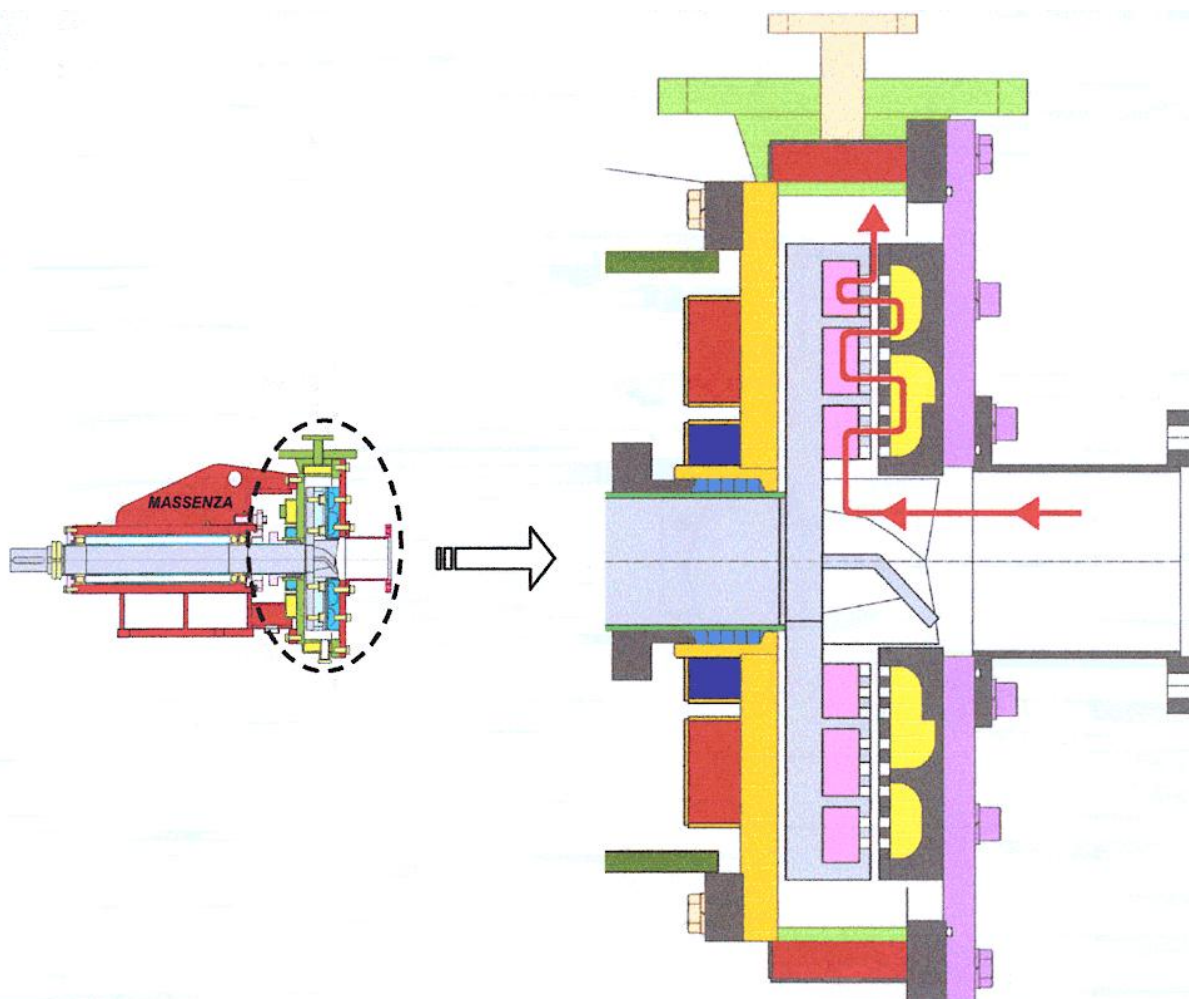


Рисунок 2. Принцип работы мельницы MASSENZA

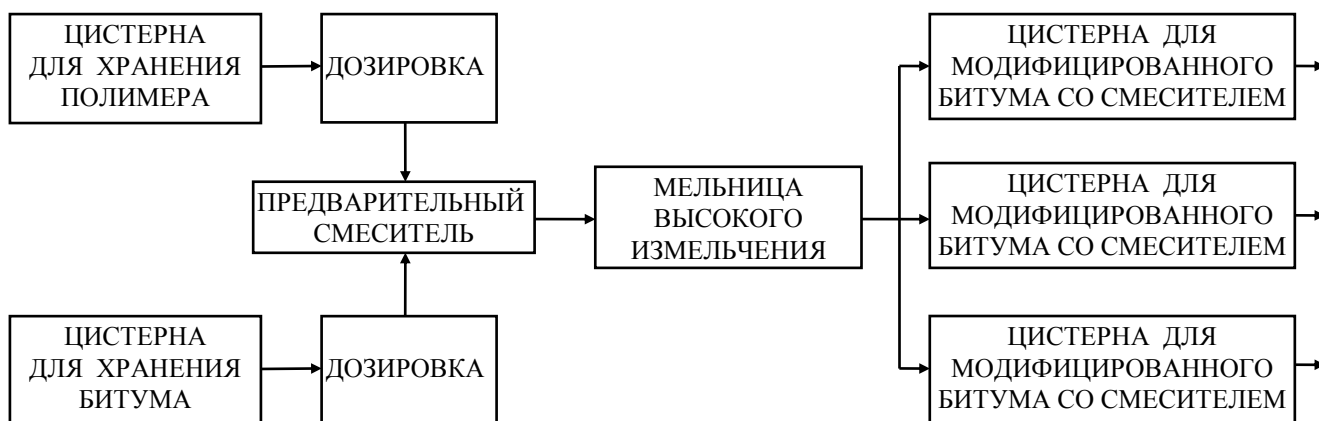


Рисунок 3. Блок-схема завода для производства ПМБ с непрерывным циклом



Пример завода приведен на рисунке 4. На рисунках 5 и 6 показан передвижной завод на салазках с непрерывным режимом работы.

*Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
[http:// korrus.ru](http://korrus.ru)*

*Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03*

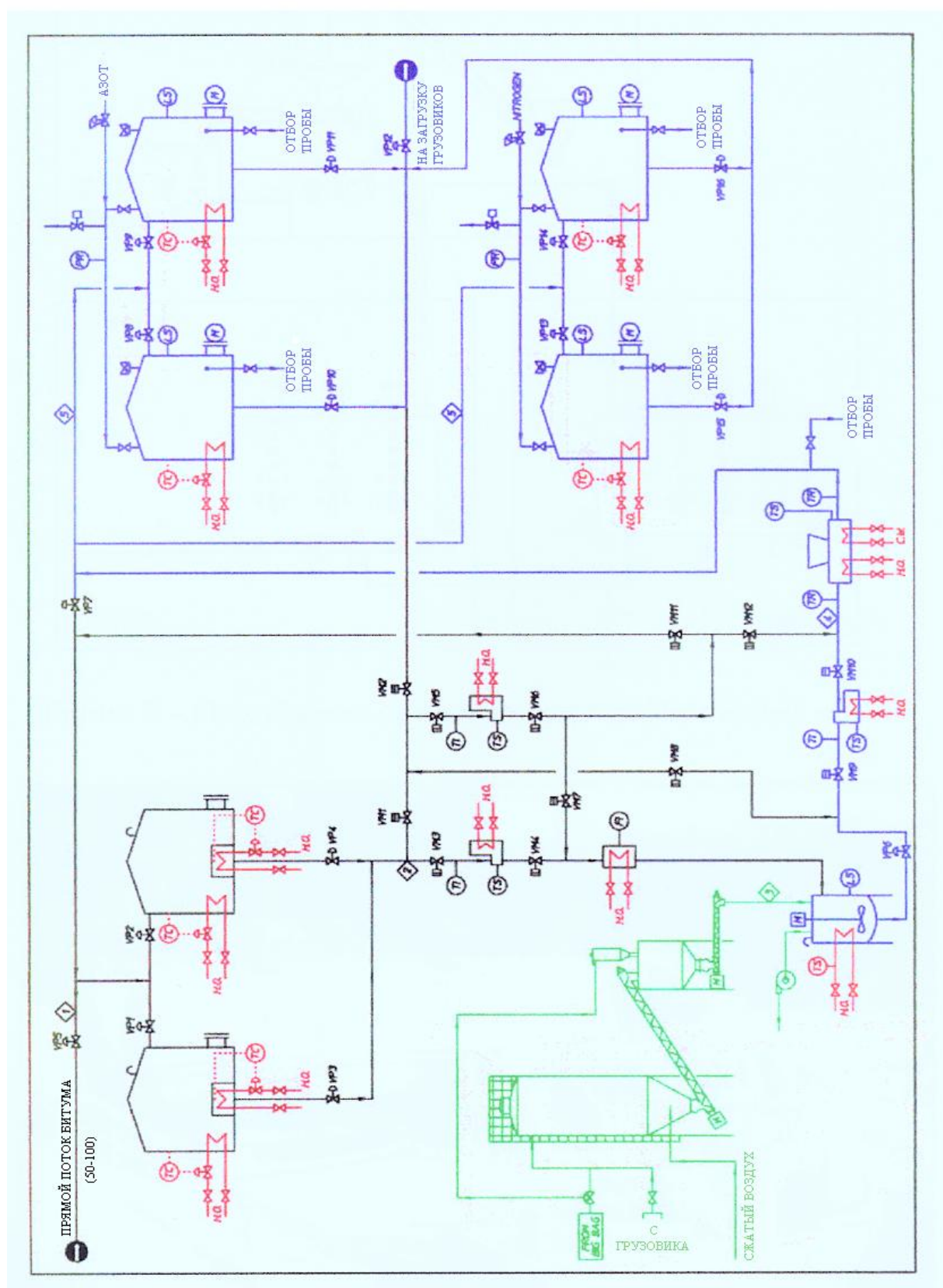


Рисунок 4. Схема завода с непрерывным циклом (Рим)

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
 Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
 E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
 Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
 Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03

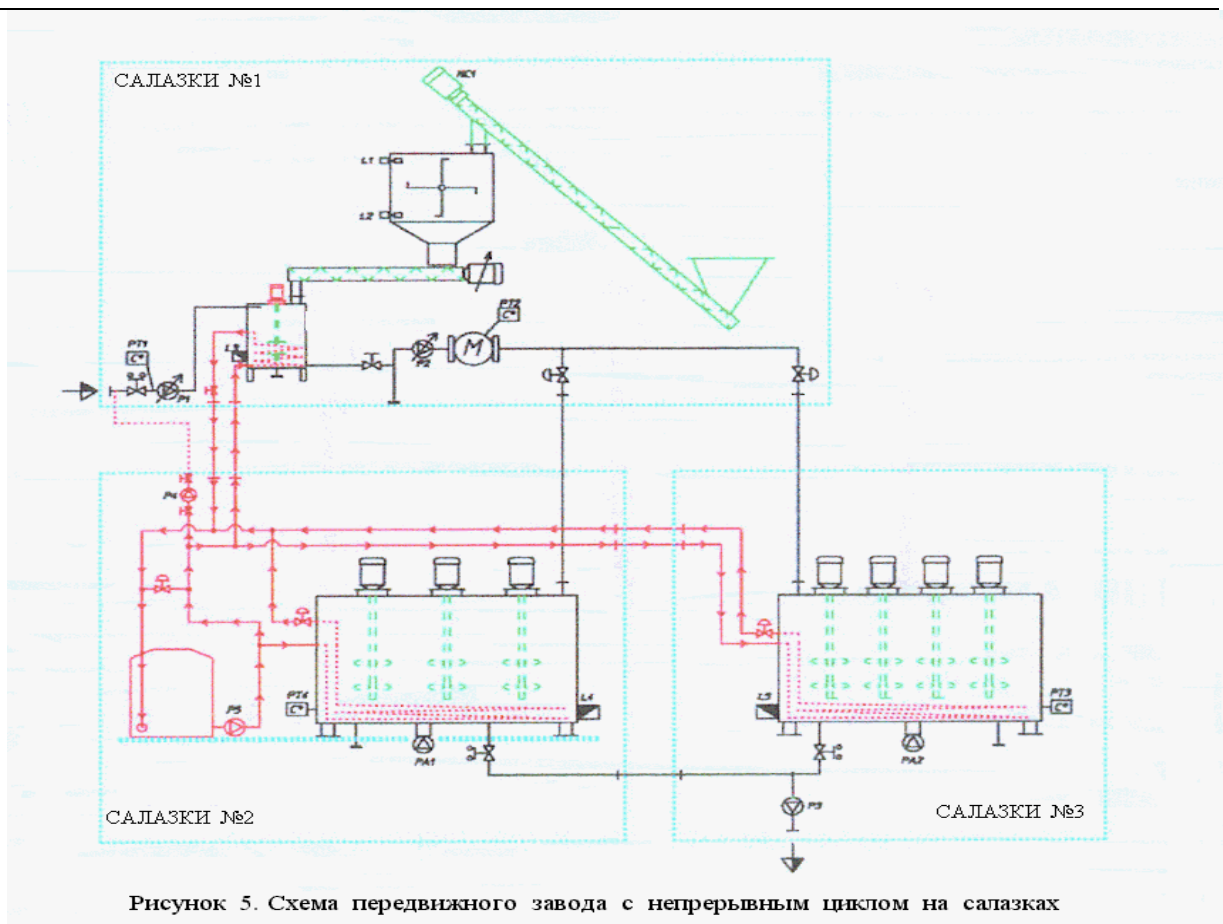


Рисунок 6. Фотография передвижного завода на салазках с непрерывным циклом

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
 Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
 E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
 Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
 Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03

Заводам с непрерывным циклом обычно требуется большая емкость для хранения битума и несколько больших емкостей со смесителями для модифицированного битума (смотри рисунки 7 и 8).

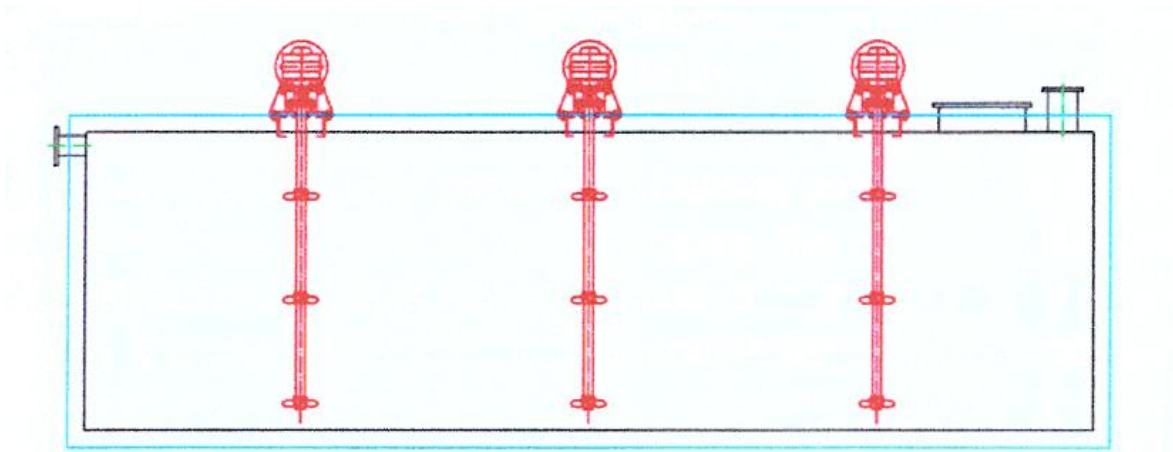


Рисунок 7. Горизонтальная цистерна для хранения ПМБ с вертикальной смесительной системой

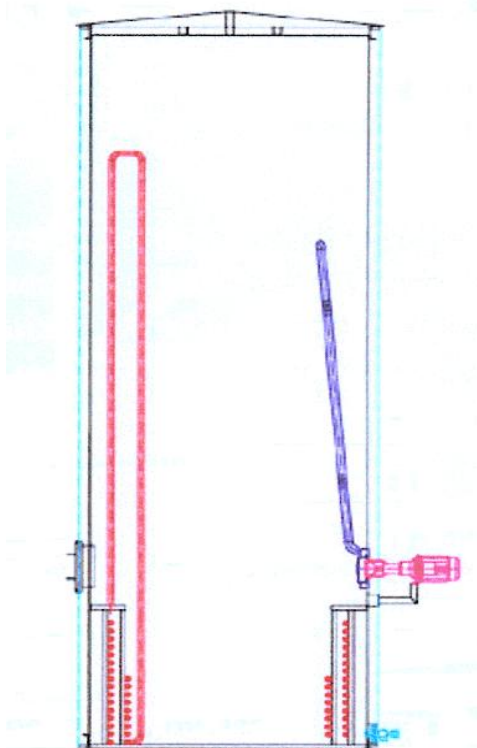


Рисунок 8. Вертикальная цистерна для хранения ПМБ с перемешивающим насосом

Битум загружается в небольшой предварительный смеситель через расходомер (litre-counter) или массовый расходомер системы Кориоли (mass flow meter, Corioli system), что более предпочтительно. Расход полимера контролируется системой измерения потерь в массе.

Иногда для повышения стабильности смеси используется встроенный в линию статический смеситель, который впрыскивает в смесь ароматические компоненты, меняя таким образом ее химическую структуру.

Насос переменной скорости отбирает битумно-полимерную смесь из предварительного смесителя и подает ее на мельницу. Изменение скорости этого насоса (главного) автоматически изменяет



скорость насоса подачи битума и системы подачи полимера (разумеется, пропорционально).

Производительностью насоса можно управлять с помощью РС или PLC со специальным программным обеспечением, изменяющим скорость вращения насоса посредством инвертора.

1.2 Производство партиями

Система **производства партиями** состоит из одного или нескольких смесителей (обычно двух), в которые загружаются в определенных количествах битум и полимеры. Затем они подвергаются предварительному смешению и направляются в мельницу высокого измельчения, через которую проходят требуемое число раз (рисунки 9, 10, 11, 12).

Для достижения хороших результатов смеситель должен иметь квадратную камеру. Это означает, что диаметр или ширина смесителя равны его высоте. Чтобы избежать сепарации, содержимое камеры смесителя должно очень интенсивно перемешиваться, при этом турбулентность будет принуждать легкий компонент (полимеры) рассеиваться в битуме перед поступлением смеси на мельницу. Для определения нужного количества проходов через мельницу необходим лабораторный тест. Когда необходимое количество проходов достигнуто, смесь готова к применению и может отправляться на асфальтовый завод, в резервуар или распылитель.

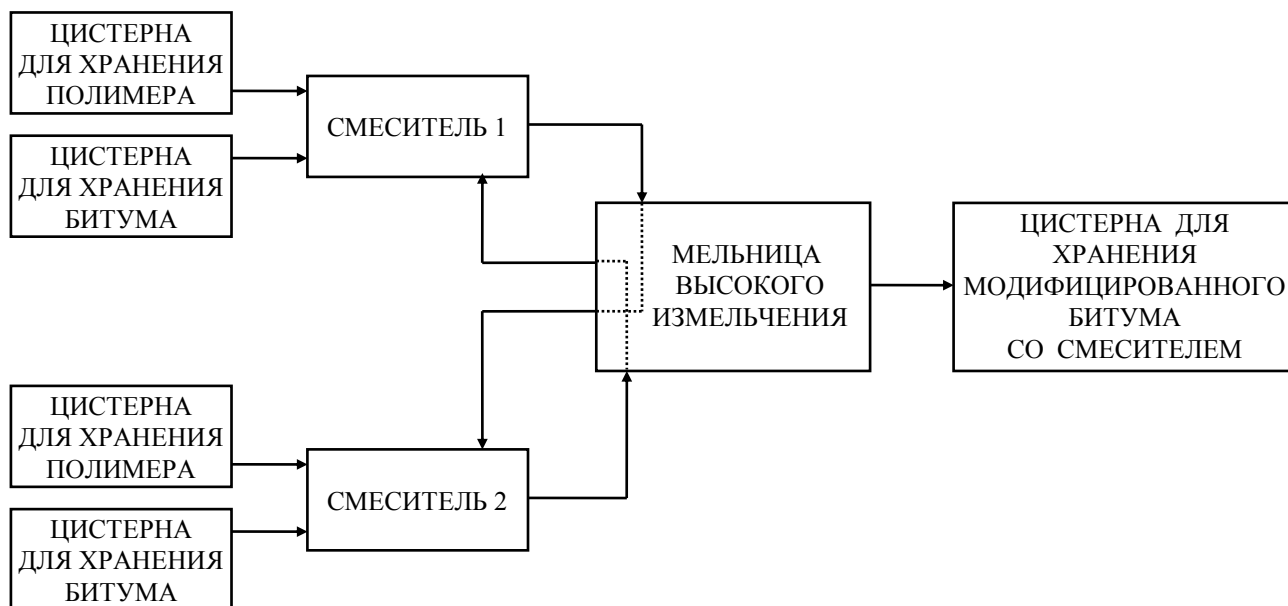


Рисунок 9. Блок-схема завода ПМБ с производством партиями

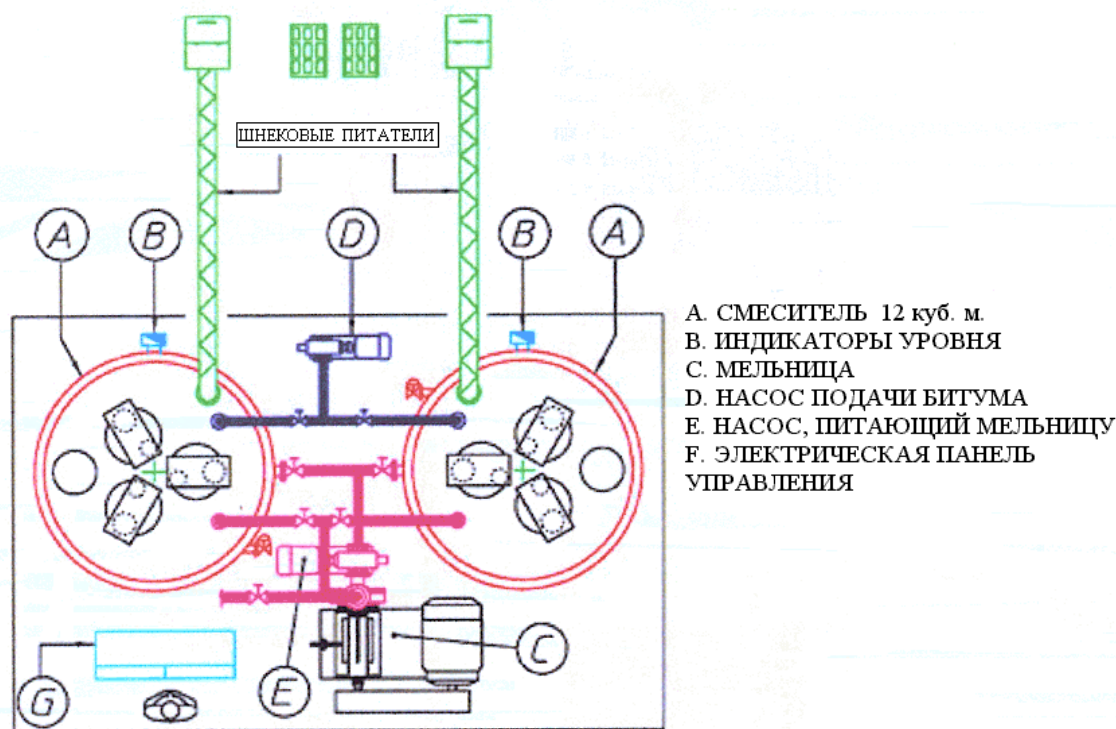


Рисунок 10. Эскиз завода ПМБ с производством партиями

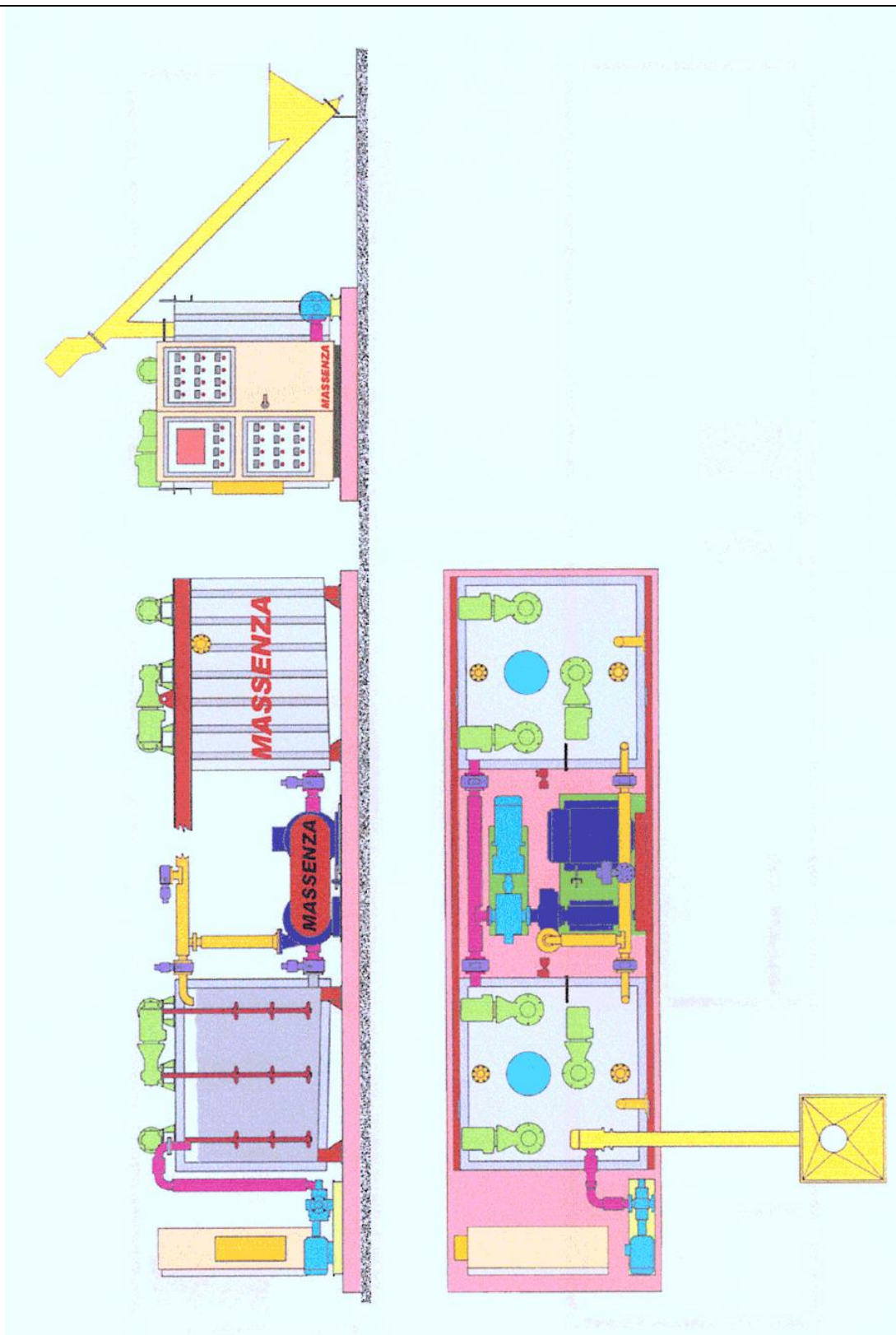


Рисунок 11. Завод MASSENZA Challenger с производством партиями

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03

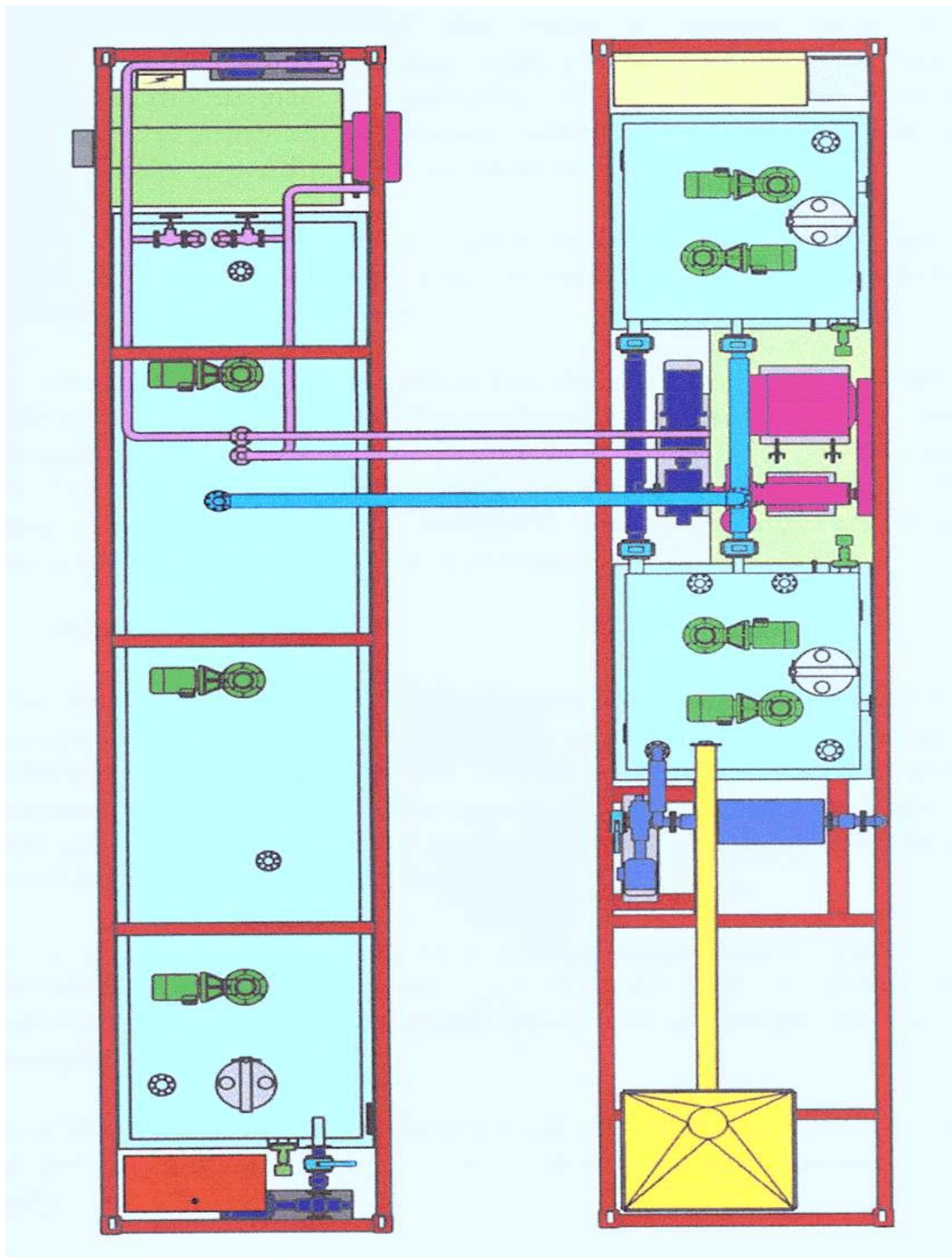


Рисунок 12. Завод MASSENZA 2xС40' с производством партиями

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03



Производительность этого завода определяется многими параметрами, в частности размерами насосов, мельницы, миксера, типом и количеством полимеров, совместимостью битума, его температурой, типом управления: автоматическим или ручным. Возможно несколько вариантов расположения оборудования в зависимости от пожеланий заказчика.

Для повышения производительности между смесителем и мельницей может быть установлен насос переменной скорости. Это позволяет мельнице постоянно работать с максимальной производительностью.

В некоторых странах битум имеет различные степени окисления из-за особенностей процесса его производства. Окисленный битум создает проблемы со стабильностью. Чтобы их избежать, требуется предварительная обработка компонентов эластомера специальными маслами и растворителями. Завод необходимо снабдить насосом и измерительным устройством для загрузки этих добавок.

1.3 Концентрированная смесь

Концентрированная смесь (master mix) — это смесь с очень высоким содержанием полимеров (обычно 12%, иногда 15%), которая затем разбавляется. Она может производиться с использованием обоих видов процессов, описанных выше. Смесь может быть разбавлена как на том же заводе, так и на месте использования.

Концентрированную смесь обычно применяют в целях снижения транспортных расходов при перевозках на дальние расстояния. Некоторые эксперты также утверждают, что в такой смеси фазовая инверсия проходит лучше, но это доказано не полностью.

Использование концентрированной смеси также рекомендуется в том случае, если готовая смесь имеет очень низкое содержание полимеров, поскольку таким образом достигается лучшее качество растворения битума в полимере.

Разбавление может происходить в одном из смесителей. При этом к концентрированной смеси добавляется чистый битум, смесь перемешивается в течение определенного времени и в последний раз пропускается через мельницу. С использованием более сложного оборудования возможно разбавление смеси в статическом смесителе при погрузке на автотранспорт.

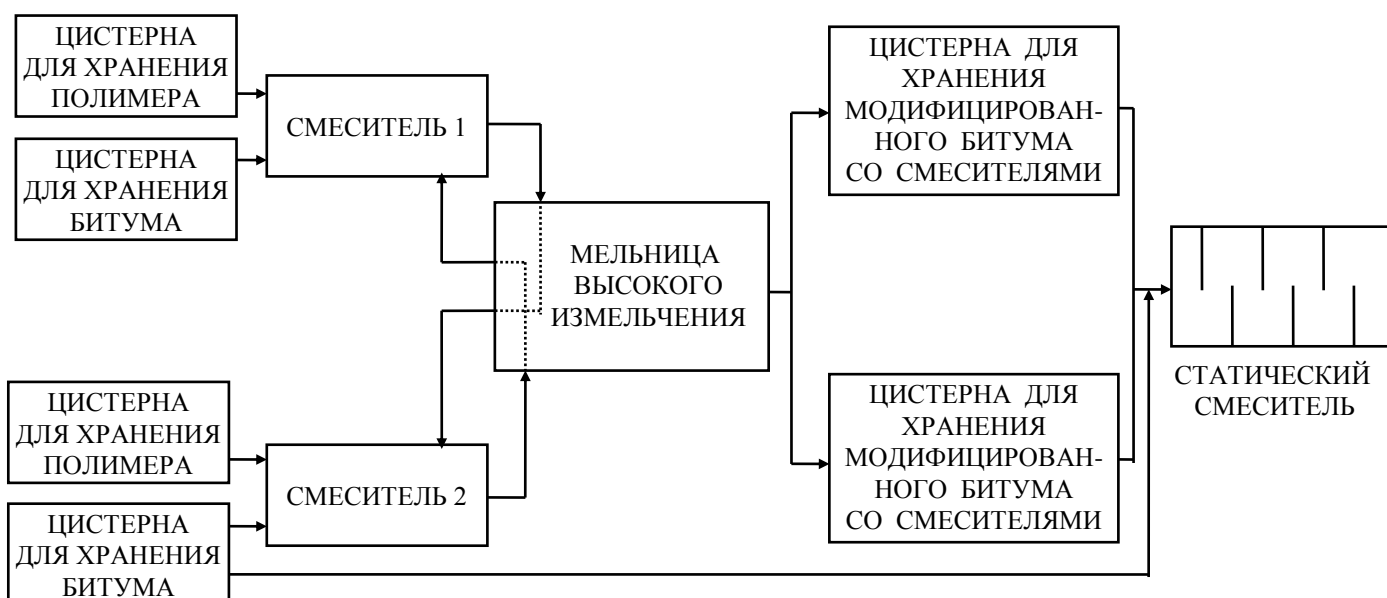


Рисунок 13. Блок-схема завода по производству концентрированного ПМБ

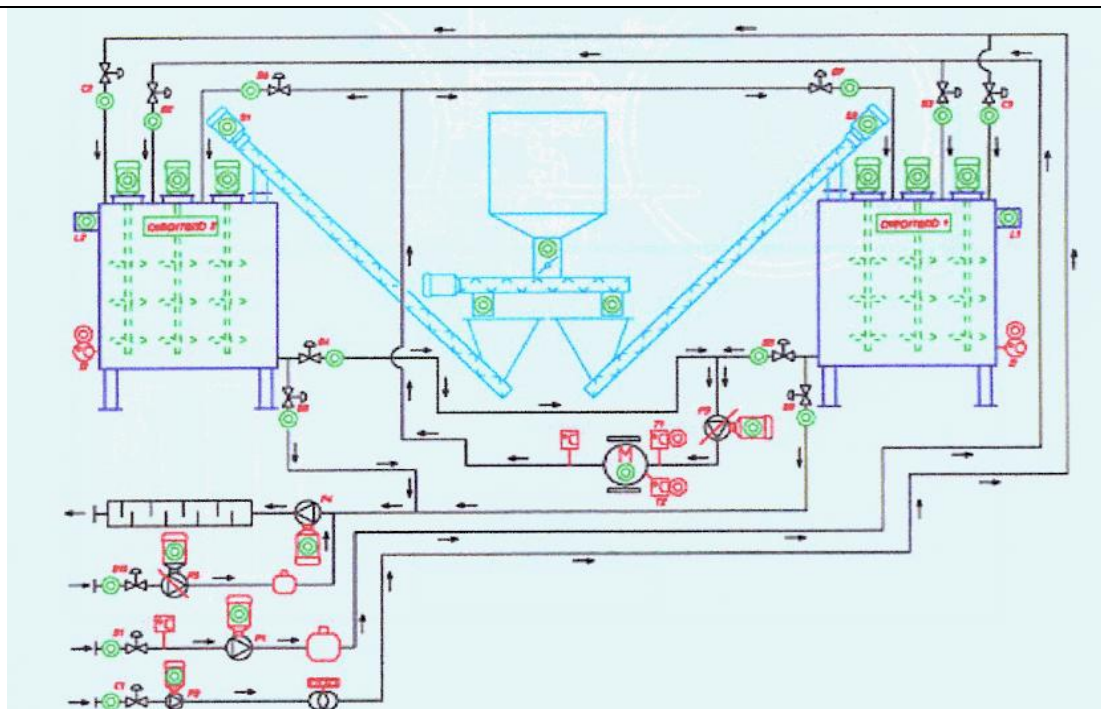


Рисунок 14. Схема завода по производству концентрированного ПМБ

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03

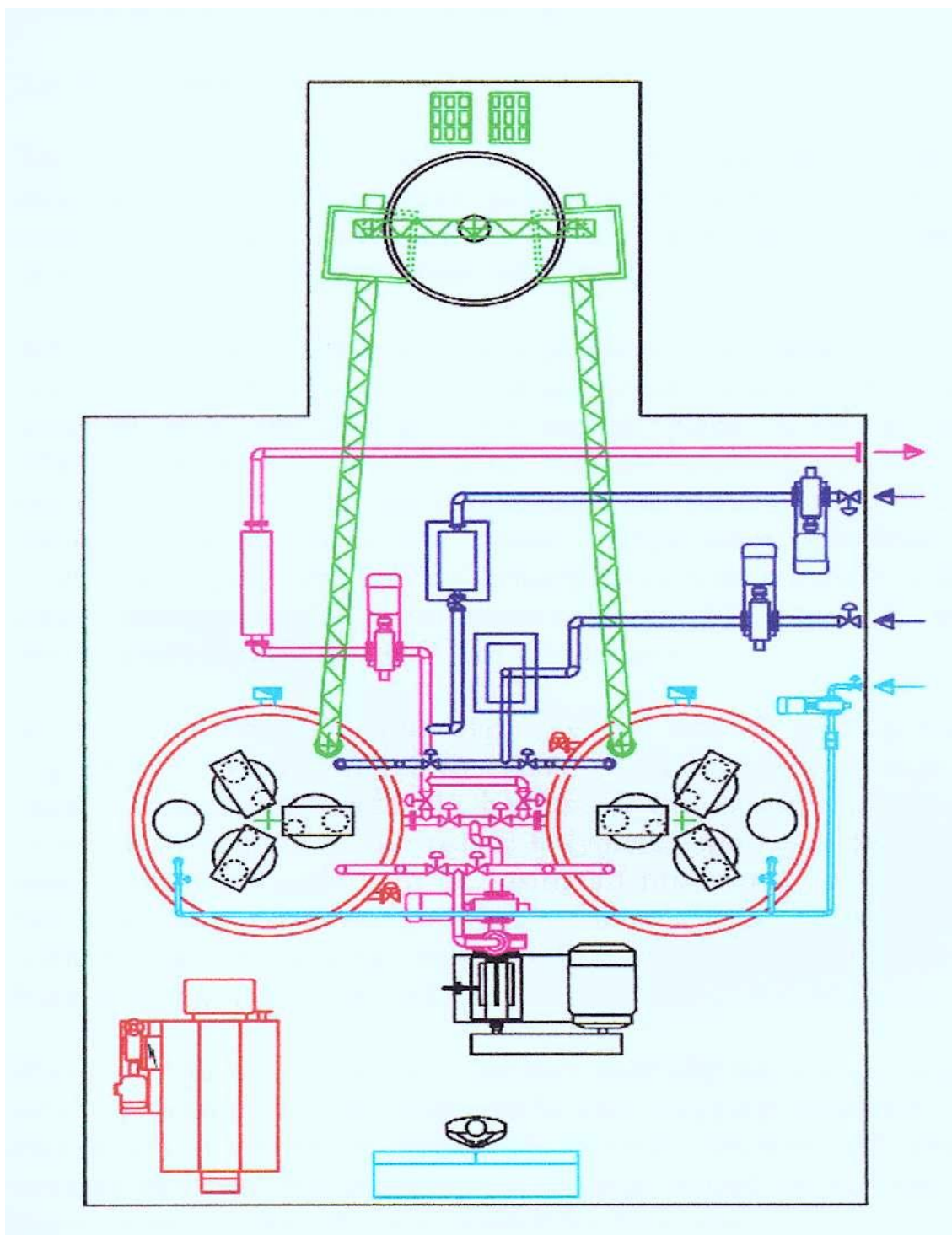


Рисунок 15. Эскиз завода по производству концентрированного ПМБ

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03



2. Обращение с битумом и полимерами

2.1 Как обращаться с битумом

Битум, используемый для производства модифицированного битума, не требует специальных методов обращения с ним. После проведения тестов необходимо избегать смешивания битумов от различных поставщиков или от одного поставщика, но произведенных из различного сырья.

При производстве модифицированного битума на месте работ должен быть выделен отдельный резервуар, поскольку необходимая температура значительно отличается от той, что используется на асфальтобетонном заводе. Требуемая температура зависит от сорта битума и составляет как минимум 175⁰С. Чтобы предотвратить окисление, необходимо избегать слишком длительного хранения при такой температуре. Кроме того, это может создать проблемы совместимости с полимерами (как уже говорилось ранее). На заводах обычно используется жидкий азот для создания инертной атмосферы в септиктанке, где температура длительное время сохраняется на уровне 190⁰С.

Для хранения смеси важно иметь систему масляного подогрева (рисунок 16). Система прямого сгорания с выпускными трубами, проходящими через резервуар, в данном случае не пригодна, поскольку полимеры могут быть повреждены высокой температурой. Полимеры, нагретые выше 195⁰, легко переходят в гелеобразное состояние, теряя способность к улучшению битума. Это создает необходимость в хорошей системе хранения с большим количеством теплообменных спиралей, что позволяет избежать высоких температур термического масла.

Насос и трубы также должны нагреваться аккуратно, поскольку вязкость продуктов значительно повышается и закупорки возникают значительно легче, чем при работе с обычным битумом. Все электроприводы насосов и мельниц должны быть по крайней мере на 30% мощнее, чем используемые при работе с обычным битумом.

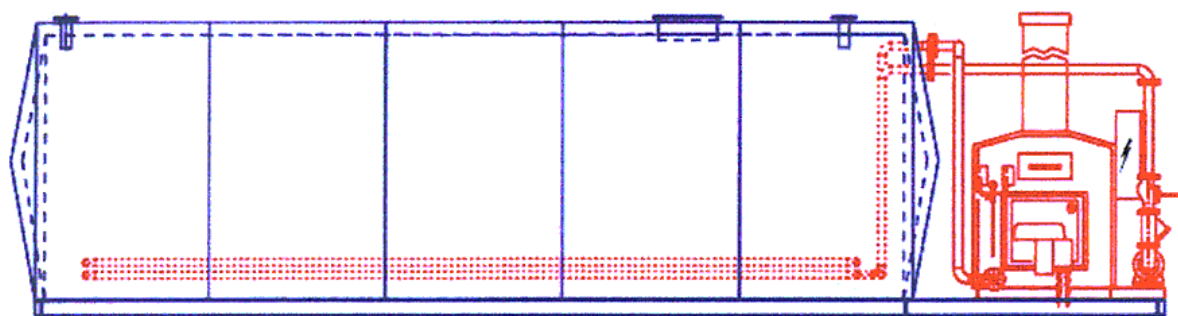


Рисунок 16. Система масляного подогрева для завода ПМБ

2.2 Как обращаться с полимерами

Производитель поставляет полимеры в различных видах: оптом на грузовиках, в упаковках big-bag, king pack, деревянных ящиках и пластиковых мешках. Система для хранения и дозирования полимеров должна выбираться в соответствии с поставщиком и ожидаемым объемом производства.

В этой области существует множество доступных решений. Асфальтобетонные заводы предпочитают большие системы хранения, пригодные в различных ситуациях и снабженные сложной системой загрузки (рисунок 17). Для производства на месте работ наиболее удобной является загрузка мельниц мешками весом около 25 кг (погрешность взвешивания не более 1%) с помощью простого шнека и небольшой воронки (рисунок 18). Дозировка осуществляется путем подсчета количества мешков, использованных для каждой партии. Следующий шаг — это воронка больше-



го размера с тензодатчиком. На стационарном заводе может использоваться большая воронка, обслуживающая два шнека, которые снабжают полимерами две мельницы (рисунок 19).

Другой возможностью является система опорожнения big-bag с помощью вакуума или шнека. В случае, если не планируются очень большие объемы производства, мы настоятельно рекомендуем не устанавливать слишком сложные системы, особенно на месте работ.

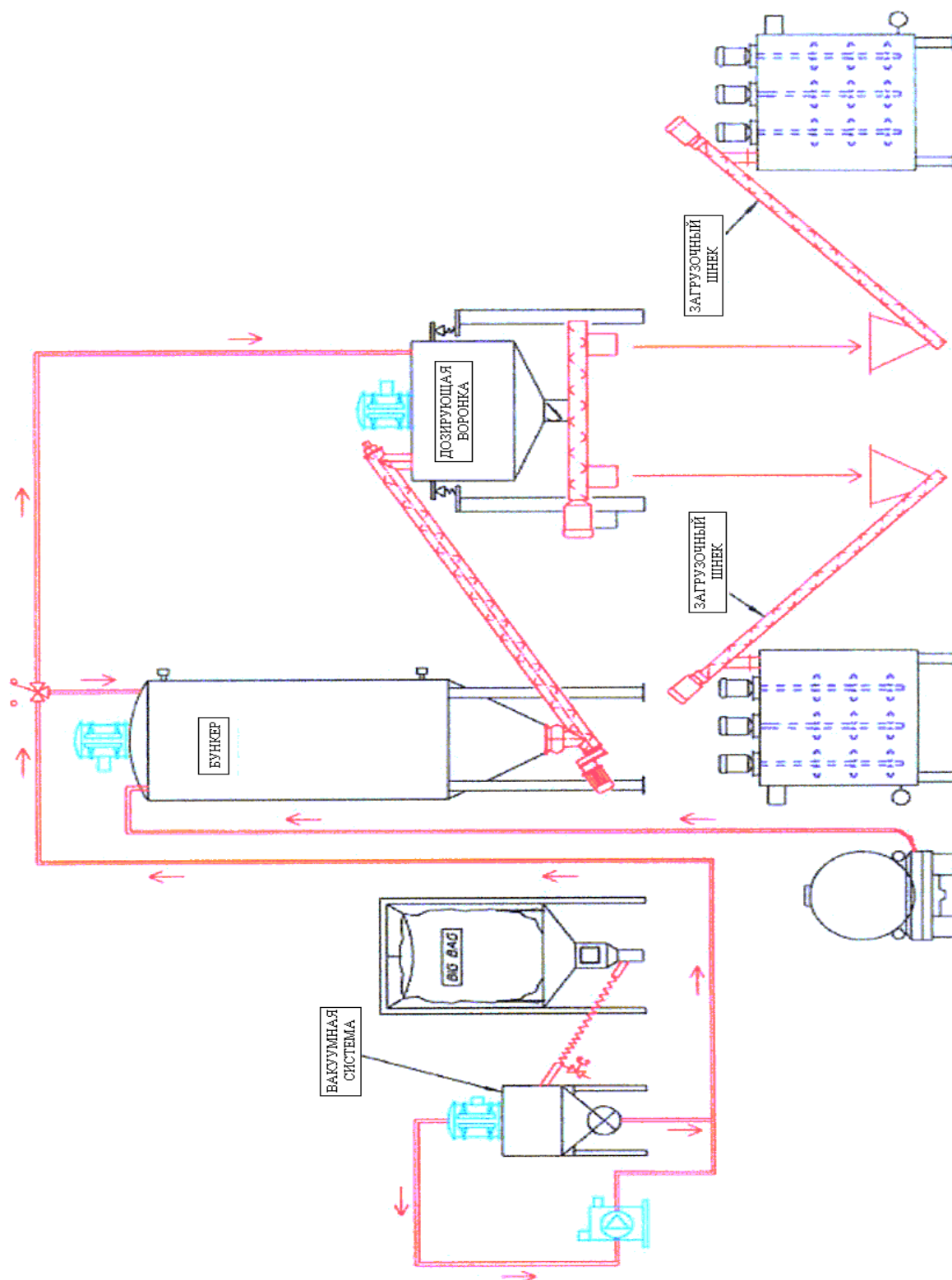


Рисунок 17. Пример системы снабжения полимером завода

Россия, 111024, Москва ш. Энтузиастов, 5
 Тел: (095) 362-96-20, 362-89-95 факс: (095) 362-01-32
 E-mail: korrus_co@mtu-net.ru
<http://korrus.ru>

Филиал в г. Санкт-Петербург: (812) 556-27-95
 Филиал в г. Нижний Новгород: (8312) 77-52-09
 Филиал в г. Казань: (8432) 72-63-03

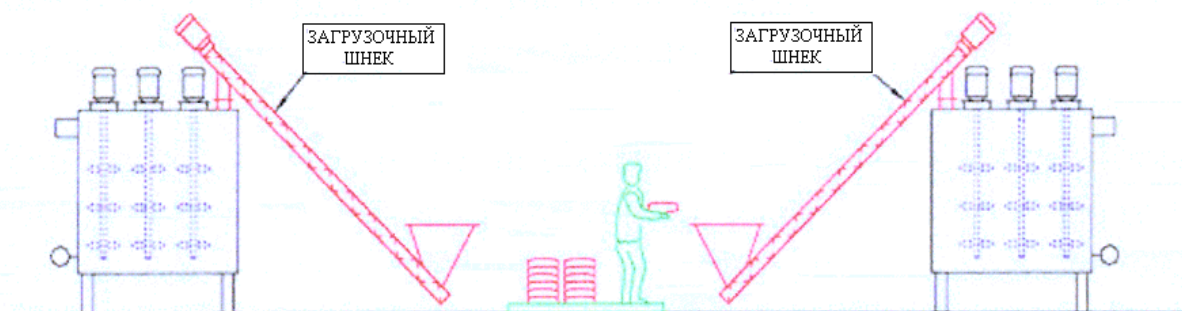


Рисунок 18. Пример системы снабжения полимером для производства на месте работ

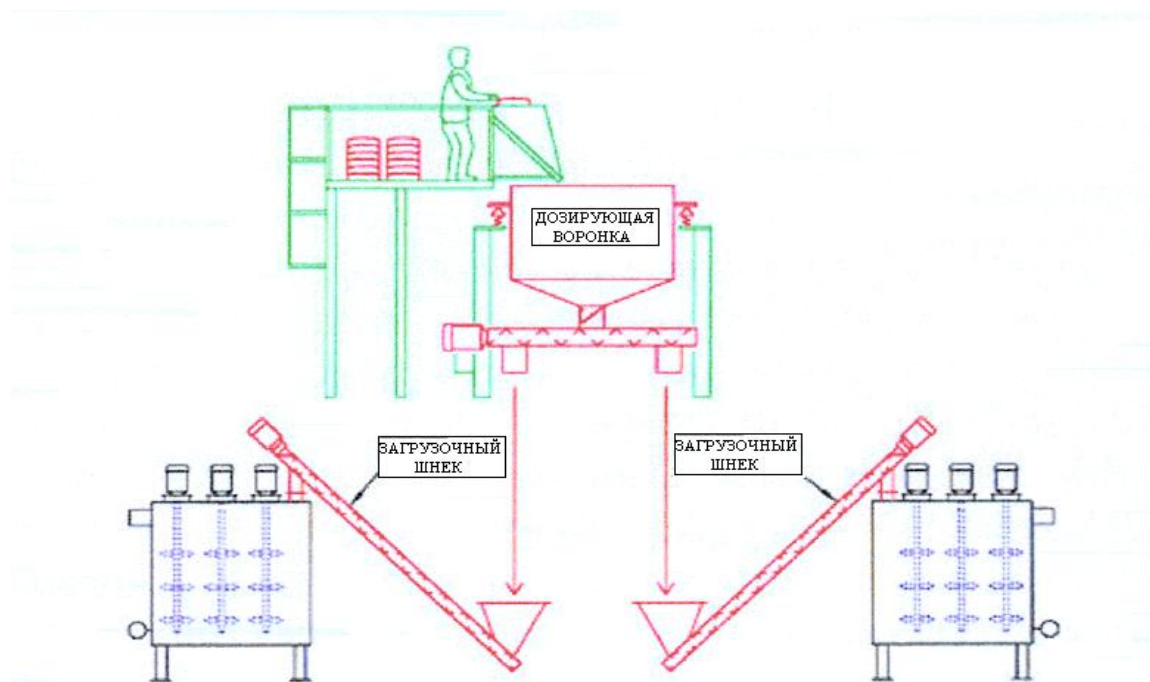


Рисунок 19. Другой пример системы снабжения полимером для производства на месте работ



Необходимо внимательно относиться к хранению полимеров перед использованием на заводе. Представьте, что произойдет, если вылить стакан воды в цистерну с битумом, нагретым до 180° С! По этой причине емкость для хранения полимера должна быть постоянно и хорошо защищена от проникновения в нее воды.

Необходимо избегать длительного воздействия солнечных лучей или источников тепла на систему хранения, поскольку это может привести к трудностям при загрузке полимера. В случае, если полимер должен храниться длительное время перед использованием, его лучше держать в закрытых помещениях.

3. Хранение и транспортировка ПМБ

3.1 Заводское производство

Как было сказано ранее, ПМБ может производиться на заводах и затем поставляться заказчикам для конкретного использования. В этом случае очень важным фактором становится стабильность продукта, которая зависит от длительности хранения, расстояния и времени перевозки. Хранение маточной смеси возможно только в цистернах с перемешиванием и рециркуляцией продукта и, желательно, с нейтральной азотной атмосферой. При загрузке цистерны может вноситься специальная добавка для повышения стабильности смеси. Автоцистерны желательно оборудовать изоляцией и смесителем (рисунок 20). Если система перемешивания отсутствует, то на месте разгрузки необходимо иметь мощный миксер для устранения возникшей сепарации.

Необходимо принимать во внимание высокую вязкость ПМБ (смотри ниже), поскольку понижение температуры смеси может создать большие проблемы при разгрузке.

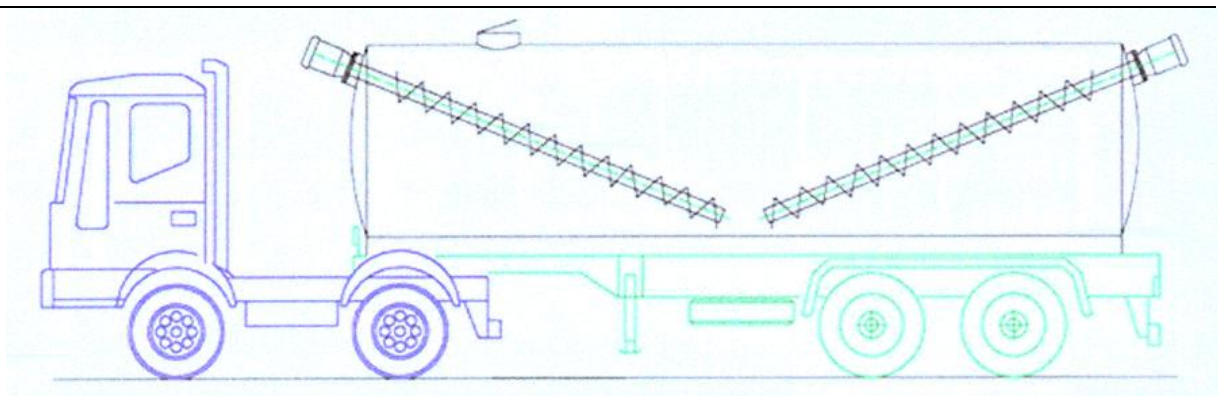


Рисунок 20. Автоцистерна со шнековыми смесителями

3.2 Производство на месте работ

Производство на месте работ является значительно более простым, особенно в случае, когда возникают проблемы со стабильностью смеси. Кроме того, очень нестабильные полимеры, например, PE, могут производиться и использоваться без проблем, если имеется необходимое оборудование. В случае, если требуются большие объемы производства, необходимо использовать промежуточную емкость для хранения; в зависимости от типа модификации и длительности хранения может потребоваться перемешивающая система (рисунок 21).

Все соединительные линии должны быть снабжены нагревательными рубашками с секционирующими клапанами, чтобы избежать постоянного нагрева не используемых в данный момент секций. Это необходимо из-за температурной чувствительности полимеров, о которой было сказано ранее.

Все заводы должны иметь систему отбора проб для обеспечения лабораторных исследований рассеяния полимера в битуме и определения необходимого числа проходов мельницы.

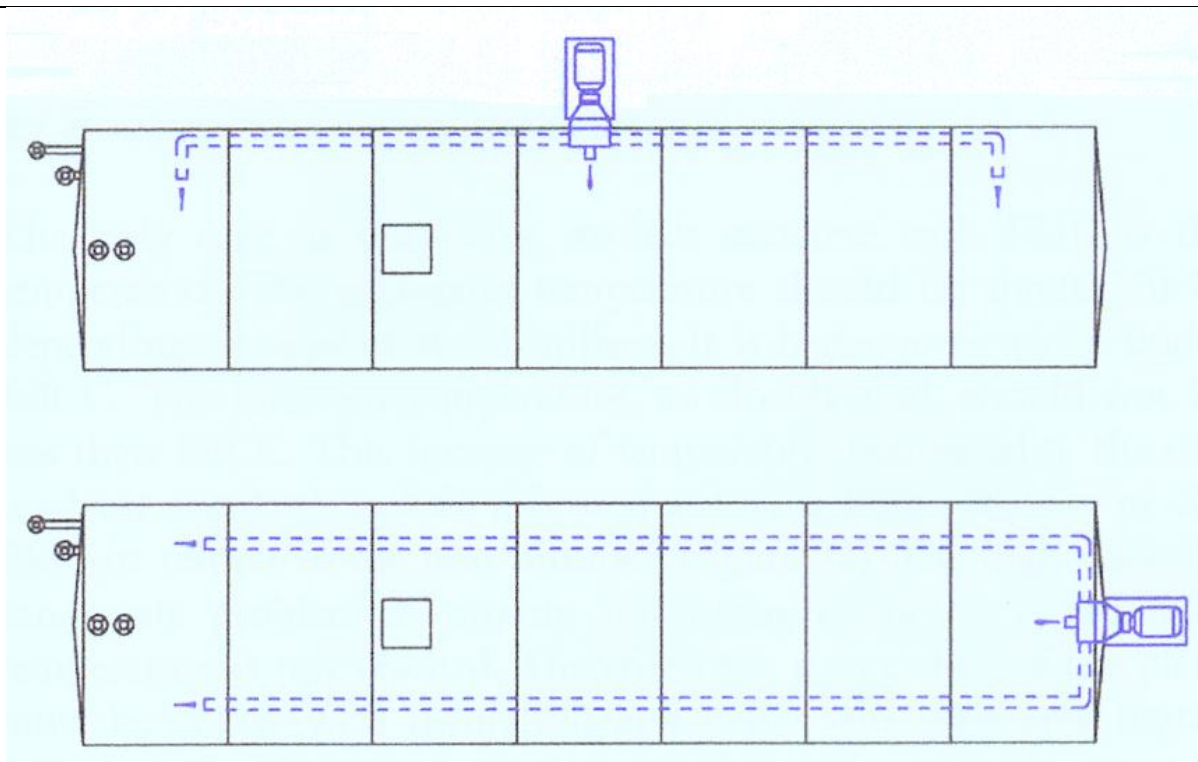


Рисунок 21. Резервуар для хранения с перемешивающим насосом

Существует множество типов заводов: стационарные, передвижные на салазках и на полуприцепах. Масляный подогрев требуется в любом случае, но только для компенсации теплопотерь в мельнице и трубах, поскольку нагрев битума должен производиться до его поступления на завод, в системе хранения.

Нужно заметить, что для завода требуется источник электропитания большой мощности — от 200 до 300 кВт.

Иногда заводы имеют два входа питания: вход генератора, используемый для работы завода, и вход распределительной сети, используемый, когда завод выключен, и для контроля в ночное время.



4. Производство асфальтобетона с ПМБ

4.1 Изменение параметров асфальтозавода

Единственная забота при производстве асфальтобетона с ПМБ — это температура. Температура наполнителей должна составлять около 170° С, в зависимости от используемого типа камня. Не рекомендуется опускать температуру ниже 160° С. Температура битума, как было уже сказано, не должна быть ниже 180° С. Это повышение температуры относительно используемой при изготовлении обычной асфальтовой смеси объясняется большей вязкостью ПМБ по сравнению с обычным битумом (рисунок 22). Большая вязкость может создать проблемы при перемешивании и укладке, если не поддерживается нужная температура. По этой причине накопительный бункер завода всегда должен иметь изоляцию и, желательно, затвор с масляным подогревом. Самосвалы должны быть прикрыты сверху во избежание тепловых потерь.

4.2 Укладка и уплотнение ПМБ

Как было сказано выше, температура — ключ к качественной укладке ПМБ. Из-за большой вязкости смеси асфальтоукладчик должен иметь хорошее сцепление колес или гусениц с дорогой. Особенное внимание надо уделять зоне разгрузки, поскольку продукт намного более липуч, чем обычный асфальт (если материал попадет на колеса или гусеницы, это может создать значительно больше проблем).

Уплотнение должно производиться гладковальцовым катком - тандемом, 10 - 12 тонн, или комбинированным. При этом необходимо следить, чтобы шины не остыли, иначе битум немедленно к ним прилипнет.



Следует заметить, что эту ошибку после финишера исправить значительно труднее, чем при работе с обычным покрытием, поэтому все технологические этапы перед укладкой должны контролироваться тщательнее, чем обычно.

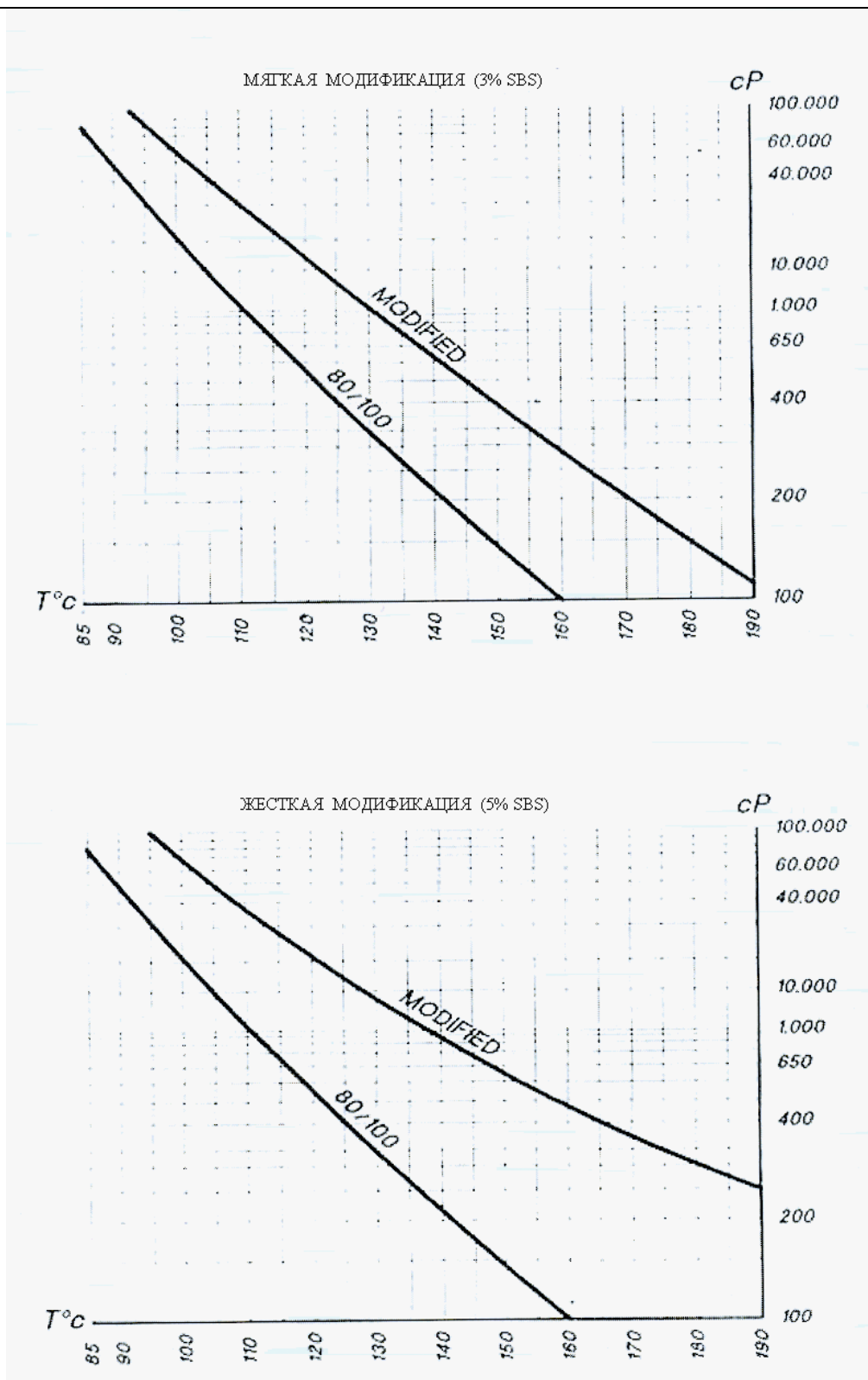


Рисунок 22. График вязкости для битума 80/100 и того же битума, модифицированного SBS



Библиография

AGIP - *Chemistry of bitumen. Proceedings volume I and II, Rome 1991*

Cavaliere M. G. and Diani E. - *Polymer modified bituminous road binders* - EniChem Elastomeri

Chevron Oil - *Il Bitume*

Cupo Pagano M. - *Advantages of modified bitumen compared with traditional ones* - Sealoflex, Rome 2001

Giannatasio P., Castagnetta V., Nievelt G. and Peroni G. - *I leganti ed i conglomerati bituminosi modificati* - SITEB

Madella A. - *Il Manuale del Bitume* - API

PIARC - *Use of modified bituminous binders, special bitumens and bitumens with additives in pavement applications* - Technical Committee Flexible Road (C8), February 1998

SHELL - *Il manuale del bitume*

SITEB - *Bitume modificato*

Valkering C.P. and Vonk W.C. - *KRATON D in bitumen for asphalt mixes: improved elastic recovery and higher performance* - Shell Chemicals