

УДК 624.012.45

Радзишевски П., Плева А.

## МЕМБРАНЫ, ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН В АСФАЛЬТОТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ

### ВВЕДЕНИЕ

Экономический прогресс государства в большой мере зависит от развития дорожного транспорта. С каждым годом увеличивается число автотранспорта и количество перевозимого груза. Развитие дорожного движения является причиной, в силу которой повышаются требования, касающиеся эксплуатационных свойств и надёжности дорожного покрытия. В соответствии с новыми требованиями необходимо выполнять мероприятия по усилению конструкции дорожного покрытия. В дорожном строительстве в последнее время наблюдается прогресс, особенно в сфере производственных процессов и материалов, применяемых при строительстве дорог. Инженеры дорожного строительства всего мира сосредотачивают внимание на внедрении в жизнь новых технологичных производств дорожных конструкций, более стойких к нагрузкам и воздействиям, вызванным временем.

Большинство дорог построенных в семидесятые и восьмидесятые годы в Польше имеют жесткое основание. Длительное время считали, что жесткое основание имеет только достоинства. Однако, после нескольких десятков лет эксплуатации, жесткие основания обнаружили и свои недостатки: появление трещин, быстрое усталостное разрушение под повышенной нагрузкой, а также более интенсивное разрушение при действии динамической нагрузки.

Чтобы увеличить долговечность дорожных конструкций необходимо применять специальные технологии, которые тормозят распространение трещин, адсорбируют избыточные напряжения, передаваемые с одного слоя дорожной конструкции на другой. Таким условиям отвечают мембраны в виде поверхностных слоев SAM (Stress Absorbing Membrane) или мембраны SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer), которые укладываются между слоями дорожного покрытия.

В настоящей статье представлена оценка технических свойств мембран SAM и SAMI с точки зрения технологии строительства дорожных покрытий в условиях Польши.

### 1. ИСТОРИЯ МЕМБРАН SAM И SAMI

Впервые мембраны SAM были применены в шестидесятых годах в США, для регенерации и уплотнения конструкций дорог. В начале это была резиново-битумная смесь в составе: 75% битума и 25% резинового порошка, получаемого при переработке использованных автомобильных шин. В начале семидесятых годов инженеры усовершенствовали процесс изготовления смеси при добавлении пластификаторов. Полученные таким способом резиново-битумные мембраны SAM были применены в США и в других странах с различными климатическими условиями. В течение 12÷15 лет их эксплуатации не наблюдали появления трещин и других видов повреждений эксплуатации.

Мембрану SAMI (резиново-битумная пленка, применяемая на покрытиях с большим количеством трещин) первый раз использовали в конце семидесятых годов. Толщина слоя SAMI составляла 8 ÷ 12 мм. Мембрана SAMI в конструкции дороги выполняла также роль дренажного слоя. Накопленный опыт применения мембран SAMI показывает, что эти мембраны характеризуются большой деформативностью и стойкостью к трещинообразованию. Время эксплуатации дорожного покрытия с применением такой мембраны, в некоторых случаях, достигало 20 лет. До настоящего времени ещё не разработано точных методов подбора состава смеси мембран SAM и SAMI. Кроме того,

однозначно не определена и технология выполнения этих мембран. Результаты применения мембран SAM и SAMI в дорожных покрытиях, не являются вполне достоверными, в связи с тем, что до настоящего времени нет достаточного количества результатов полевых испытаний участков дорог. В настоящее время выполняются научно-исследовательские работы, целью которых является разработка нормативных документов, определяющих применение мембран SAM и SAMI.

### 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕМБРАН SAM И SAMI

#### 2.1. Материалы, использованные в лабораторных исследованиях

При выполнении исследований мембран SAM валировали условия выполнения мембран (технология изготовления и тип вяжущего материала).

Мембраны SAM выполняли по технологии очень тонкого слоя асфальтобетонной смеси с зерновым составом, а также по технологии поверхностного закрепления. В мембранах SAM были применены следующие вяжущие материалы:

- Битум Д-70;
- Битум Д-70 модифицированный резиновым порошком;
- Битум Д-70 с добавлением резинового порошка к минеральному материалу;
- Вяжущий материал модифицированный эластомером стирол-бутадиен-стирол (С-Б-С) – “Эластобит” с пенетрацией 50.

Исследуемые образцы имели следующие размеры: длину – 30 см, ширину – 30 см, толщину – 6,5 см, (толщина слоя асфальтобетонной смеси мастико-щебеночной SAM - нижний слой – 5 см, толщина слоя SAM - верхний слой – 1,5 см).

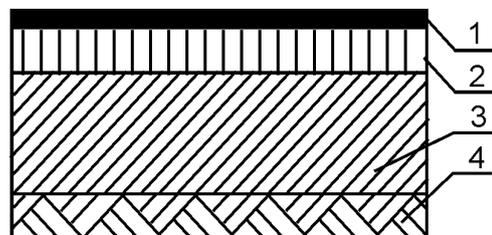


Рисунок 1. Мембрана SAM в конструкции дороги:

1. Мембрана SAM
2. Слой асфальтобетона
3. Основание
4. Грунт

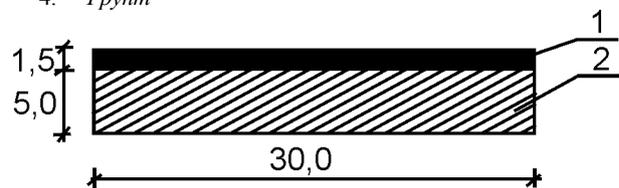


Рисунок 2. Применяемые образцы с мембраной SAM:

1. Мембрана SAM
2. Слой асфальтобетонной смеси мастико-щебеночной СМА

В исследованиях SAMI образцы мембраны выполнены в виде:

- Плёнки вяжущего материала между двумя слоями асфаль-

Радзишевски Петр. Профессор, инженер. Польша.

Плева Андрей. Инженер. Польша

тобетона (верхний - асфальтобетонная смесь мастико-щебеночная СМА, нижний – стандартный асфальтобетон). В мембранах SAMI применено следующие типы битумов:

- Битум Д-200;
- Битум Д-200 модифицированный резиновым порошком;
- Битум Д-200 с добавлением резинового порошка без термической обработки;
- Битум модифицирован эластомером С-Б-С – “Эластобит” с пенетрацией 50.

- Плёнка вяжущего материала и щебня (4/8 мм) между двумя слоями асфальтобетона (верхний слой - асфальтобетонная смесь мастико-щебеночная СМА, нижний слой – стандартный асфальтобетон). В этих мембранах применены следующие типы битумов:

- Битум Д-200;
- Битум Д-200 модифицированный резиновым порошком.

- Плёнка вяжущего материала и щебня (4/8 мм) между двумя слоями асфальтобетона (верхний слой - асфальтобетонная смесь мастико-щебеночная СМА) уплотнена методом укатывания асфальтобетонных слоев в плите при помощи катка. В этих мембранах применены следующие типы битумов:

- Битум Д-200;
- Битум Д-200 модифицированный резиновой мелочью;
- Битум Д-70 модифицированный резиновой мелочью;
- Битум модифицированный эластомером С-Б-С – “Эластобит” с пенетрацией 50.

Исследуемые образцы имели следующие размеры: диаметр – 10 см, высота – 11 см, толщина слоя асфальтобетона (нижний слой) – 5 см, толщина мембраны SAMI – 1,0 см, толщина слоя смеси мастико-щебеночной СМА (верхний слой) – 5 см.

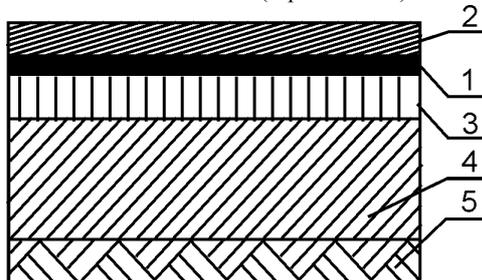


Рисунок 3. Мембрана SAMI в конструкции дороги:

1. Мембрана SAMI
2. Слой асфальтобетона
3. Слой асфальтобетона
4. Основание
5. Грунт

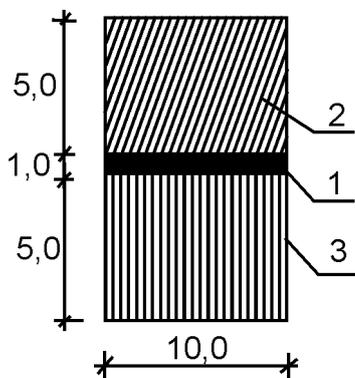


Рисунок 4. Применяемые образцы с мембраной SAMI:

1. Мембрана SAMI
2. Слой асфальтобетонной смеси мастико-щебеночной СМА
3. Слой асфальтобетона

## 2.2. Методика лабораторных исследований

Образцы с мембранами SAM и SAMI были исследованы в условиях температурно-влажностных воздействий. Процесс испытания включал:

- Выдерживание образцов в водном растворе 2% NaCl в температуре 20°C в течение 24 часов.
- Замораживание образцов в температуре -10°C в течение 24 часов.
- Затем 10 циклов оттаивания в водном растворе 2% NaCl при температуре 20°C в течение 8 часов и замораживания в температуре -18°C в течение 16 часов.

В процессе испытаний на образцах, подвергнутых попеременному замораживанию-оттаиванию, выполняли визуальную оценку состояния их поверхности и обнаружение дефектов: **выкрашивание**, появление трещин, сколов, а также других повреждений, которые можно наблюдать визуально.

Образцы с мембраной SAMI подвергали нестандартным испытаниям с целью определения предельных напряжений при растяжении, приводящих к разрушению по контакту между слоями образцов.

Образцы с мембраной SAM были подвергнуты исследованию шероховатости при использовании английского маятникового аппарата.

## 3. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕМБРАН SAM И SAMI

Результаты лабораторных исследований по определению предельных растягивающих напряжений для мембран SAMI, выполненных в виде пленки вяжущего материала, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний предельных растягивающих напряжений для мембран SAMI, выполненных в виде пленки вяжущего материала

Вяжущие материалы:	Д- 200	Д- 200 д	Д- 200 м	Эластобит
До испытаний на замораживание-оттаивание				
Усилие при разрушении [кН]	1,1	1,2	1,7	2,05
Напряжение при разрушении [МПа]	0,129	0,141	0,200	0,241
После испытаний на замораживание-оттаивание				
Усилие при разрушении [кН]	0,6	0,9	1,25	1,3
Напряжение при разрушении [МПа]	0,070	0,106	0,147	0,153
<b>Стойкость [%]</b>	<b>54</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>63</b>

д – с добавлением порошкообразной резины к битуму или минеральному материалу без термической обработки;

м – модификация битума резиновым порошком с термической обработкой.

На основе результатов, представленных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что наибольшую прочность сцепления до испытаний на попеременное замораживание-оттаивание имеет битум “Эластобит”. Наименьшей прочностью обладает битум Д-200, прочность которого в два раза меньше, чем прочность “Эластобита”. Добавление порошкообразной резины к битуму без процесса термической обработки повысила прочность битума Д-200 почти на 10%. Модификация битума Д-200 порошкообразной резиной в процессе термической обработки улучшает его прочностные свойства почти на 35%.

Наибольшую прочность на отрыв после попеременного замораживания-оттаивания имел битум "Эластобит", а наименьшую – битум Д-200. Добавление порошкообразной резины к битуму без процесса выдержки повысило прочность битума Д-200 почти на 34%. Модификация битума Д-200 порошкообразной резиной в процессе выдержки позволяет придать вяжущему материалу свойство, обеспечивающее после попеременного замораживания-оттаивания восприятие мембраной напряжений в двое больше.

Наиболее стойкими к попеременному замораживанию-оттаиванию являются мембраны, модифицированные порошкообразной резиной. Прочность этих мембран после процесса попеременного замораживания-оттаивания превышает 75%. Наиболее слабыми явились мембраны с применением битума Д-200. Прочность этих мембран после процесса попеременного замораживания-оттаивания равняется 54%. Стойкость мембран с вяжущим материалом "Эластобит" после процесса попеременного замораживания-оттаивания равняется 63%.

Результаты лабораторных испытаний по определению предельных напряжений при растяжении мембран SAMI, выполненных в виде пленки вяжущего материала и щебня, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты лабораторных испытаний по определению предельных напряжений при растяжении мембран SAMI, выполненных в виде пленки вяжущего материала и щебня**

Вяжущие материалы:	Д- 200	Д- 200 м
До попеременного замораживания-оттаивания		
Разрушающее усилие [кН]	0,6	0,85
Напряжение при разрушении [МПа]	0,070	0,100
После попеременного замораживания-оттаивания		
Разрушающее усилие [кН]	0,35	0,75
Напряжение при разрушении [МПа]	0,041	0,088
<b>Стойкость [%]</b>	<b>58</b>	<b>78</b>

м – модификация битума порошкообразной резиной с термической обработкой.

На основе результатов, представленных в таблице 2 можно сделать вывод о том, что прочность мембран SAMI с применением битума Д-200 модифицированного порошкообразной резиной, перед процессом замораживания-оттаивания является на 25% большей, чем мембран с применением этого же битума Д-200 без модификации.

Прочность мембран SAMI с применением битума Д-200 модифицированного порошкообразной резиной, после процесса замораживания-оттаивания является более, чем в два раза выше, чем мембрана с применением битума Д-200 без модификации.

Мембраны, выполненные из модифицированного битума показали прочность при растяжении после попеременного замораживания-оттаивания на 20% выше, чем мембраны с не модифицированным битумом.

Результаты лабораторных испытаний по определению напряжений при растяжении мембран SAMI, выполненных в виде пленки вяжущего материала и щебня между двумя слоями асфальтобетона, уплотненного методом укатывания катком в плите представлены в таблице 3.

На основе результатов, представленных в таблице 3 можно сделать вывод о том, что наибольшую прочность сцепления до попеременного замораживания-оттаивания имели мембраны с применением "Эластобита". Наименьшую прочность показали мембраны с применением битума Д-200. Добавление порошкообразной резины к битуму повысило его прочность почти на 38%

Таблица 3

**Результаты лабораторных испытаний по определению предельных напряжений при растяжении мембран SAMI, выполненных в виде пленки вяжущего материала и щебня между двумя слоями асфальтобетона уплотненного методом укатывания катком**

Вяжущие материалы:	Д- 200	Д- 200 м	Д- 70 м	Эластобит
До попеременного замораживания-оттаивания				
Разрушающее усилие [кН]	0,6	0,95	1,65	2,5
Напряжение при разрушении [МПа]	0,076	0,121	0,210	0,318
После попеременного замораживания-оттаивания				
Разрушающее усилие [кН]	0,3	0,85	1,35	1,45
Напряжение при разрушении [МПа]	0,039	0,108	0,172	0,184
<b>Стойкость [%]</b>	<b>51</b>	<b>89</b>	<b>82</b>	<b>52</b>

м – модификация битума порошкообразной резиной с термической обработкой.

Таблица 4

**Шероховатость мембран SAMI**

Вяжущие материалы:	Д-70	Д-70д	Д-70м	Эластобит
<b>Мембрана SAMI в виде тонкого слоя асфальтобетонной смеси</b>				
Среднее значение шероховатости	58	61	66	60
Индикатор шероховатости (RRL)	удовлетворительный	удовлетворительный	хороший	удовлетворительный
<b>Мембрана SAMI в виде поверхностного закрепления</b>				
Среднее значение шероховатости	69	69	71	70
Индикатор шероховатости (RRL)	хороший	хороший	хороший	хороший

д – с добавлением порошкообразной резины к битуму или минеральному материалу без термической обработки;

м – модификация битума порошкообразной резиной с термической обработкой.

Модификация битума порошкообразной резиной позволяет мембране после процесса попеременного замораживания-оттаивания воспринять напряжения почти в три раза больше, чем без модификации. Мембраны с битумом Д-70 модифицированные порошкообразной резиной после процесса замораживания-оттаивания показали почти такую же прочность как и мембрана с битумом "Эластобит".

Наиболее стойкими к попеременному замораживанию-оттаиванию являются мембраны, модифицированные порошкообразной резиной. Прочность этих мембран после процесса составила соответственно 89% и 82%. Наиболее слабыми явились мембраны с применением битума Д-200. Стойкость этих мембран после процесса попеременного замораживания-оттаивания равнялась 51%. Стойкость модифицированного и немодифицированного битума Д-200 отличалась в четыре раза. Устойчивость мембран с битумом „Эластобит” после испытаний на замораживание-оттаивание равнялась 58%.

**Исследование шероховатости английским маятниковым аппаратом.**

Результаты исследований шероховатости мембран SAMI представлены в таблице 4.

Наилучшие показатели шероховатости показала мембрана SAMI в виде тонкого слоя с применением битума Д-70, модифицированного порошкообразной резиной. Только это покрытие имело хорошее значение индикатора шероховатости.

Наиболее шероховатой мембраной SAM, выполненной в виде поверхностного закрепления явилось покрытие с применением битума Д-70, модифицированного порошкообразной резиной. Все покрытия можно квалифицировать как покрытия, имеющие хорошую шероховатость. Шероховатость этих покрытий отличается не существенно, т.к. в случае поверхностного закрепления степень шероховатости существенно зависит от вида минерального материала в выполненных опытах. Во всех покрытиях был использован щебень 4/8 мм.

При применении в мембранах SAM битума, модифицированного порошкообразной резиной наблюдается незначительное уменьшение шероховатости (по отношению к мембранам с немодифицированным битумом). Можно предположить, что такое состояние и будет резко меняться во время работы покрытия при действии нагрузок от автомобильного транспорта (изменение поверхностных свойств покрытий).

#### **Оценка состояния поверхности образцов после процесса попеременного замораживания-оттаивания**

На основе полученных результатов не выявлено никаких изменений в состоянии поверхности образцов подвергавшихся процессу попеременного замораживания-оттаивания.

#### **4. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕМБРАН SAM И SAMI**

Мембраны SAM должны удовлетворять следующим требованиям:

- Быть плотным слоем противостоящим проникновению влаги по глубине дорожной конструкции,
- Противостоять образованию трещин,
- Иметь хорошую шероховатость,
- Усилить конструкцию при действии кратковременных перегрузок.

Для выполнения мембран SAM предполагается применять новые нестандартные технологии, например: выполнение слоев из битумов, модифицированных добавлением полимеров, порошкообразной резины.

Мембраны SAM должны удовлетворять следующим требованиям:

УДК 624.012.45

**Кондратчик А.А., Кондратчик Н.И., Тур В.В.**

## **ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ САМОНАПРЯЖЕННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ БАЛОК**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Как показано в работах [1, 2] расчет железобетонных конструкций при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил является одной из сложных проблем теории железобетона. В связи с этим большинство норм по проектированию железобетонных конструкций [8–11, 14] за исключением Канадских [12] и Норвежских [13], предлагают отдельный расчет на действие изгибающих моментов и перерезывающих сил. Еще более серьезные проблемы возникают при расчете прочности приопорных зон сборно-монолитных конструкций, объединяющих в одном сече-

- Иметь хорошее поверхностное сцепление,
- Тонкий слой должен выполняться из мастики-щебеночной СМА, асфальтобетона истираемых слоев, а также минерально-битумных смесей с прерывным зерновым составом. Мембраны SAMI проектируются для выполнения следующих задач:

- Обеспечения плотного слоя, противостоящего прониканию влаги в глубину дорожной конструкции,
- Предупреждение появления трещин,
- Обеспечения хорошего между слойного сцепления,
- Обеспечения восприятия конструкцией кратковременных перегрузок.

На основе выше изложенного предусматривается выполнение мембран SAMI как пленок битума с рассыпанным минеральным материалом.

На основании анализа результатов, проведенных исследований можно утверждать о целесообразности применения технологий SAM и SAMI. Но необходимо отметить, что следует применять в них вяжущее в виде модифицированного битума с добавлением полимером С-Б-С или порошкообразной резины.

### **ВЫВОДЫ**

На основе проведенных лабораторных испытаний можно сделать следующие выводы:

- Применение мембран SAM и SAMI является очень важным решением в борьбе с трещинообразованием дорожного покрытия. Мембраны SAM и SAMI с применением битума, модифицированного порошкообразной резиной показывают наилучшие результаты в повышении трещиностойкости. Благодаря применению мембран SAM и SAMI повышается срок службы дорожного покрытия без дорогостоящих дополнительных ремонтных работ.
- Применение нестандартных методов исследования мембран SAM и SAMI дало возможность доказать их достоинства при применении в конструкции дорог. Результаты показывают, что наилучшими техническими характеристиками обладают мембраны SAM и SAMI в том случае, когда в виде вяжущего применяются модифицированные битумы с добавлениями полимеров С-Б-С или порошкообразной резины.

нии бетоны с различными физико-механическими характеристиками.

На сопротивление приопорных зон сборно-монолитных конструкций оказывают влияние дополнительные факторы: компоновка составного сечения, исходное напряженно-деформированное состояние, вызванное несовместной усадкой и ползучестью (для традиционных конструкций) или расширением набетонки (для самонапряженных конструкций).

Это, очевидно, объясняет то обстоятельство, что, несмотря на обширные исследования сборно-монолитных конструкций, выполнявшихся как у нас в стране, так и за рубежом, до

*Кондратчик Александр Аркадьевич. К.т.н., профессор каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.*

*Кондратчик Наталья Ивановна. Доцент каф. начертательной геометрии и инженерной графики Брестского государственного технического университета.*

*Тур Виктор Владимирович. Д.т.н., профессор, зав. каф. технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.*