

## ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ ВЯЖУЩЕГО К КАМЕННОМУ МАТЕРИАЛУ НА ОСНОВЕ ВАКУУМНО-ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Яцевич П.П.**, заведующий ЦНИИ ДСГМ филиала  
БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,

***Аннотация:** Адгезия битума – это свойство образовывать прочное сцепление между вяжущим и минеральным материалом, что позволяет создавать стойкие и долговечные соединения внутри структуры асфальтобетона. Так как асфальтобетон — это композитный материал, способность его составных элементов надежно соединяться между собой напрямую влияет на прочность всей композиции в целом. Адгезионные свойства критичны при возникновении растягивающих напряжений [1], которые присутствуют при любых видах нагружения материала [2].*

***Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, адгезия, вакуумно-температурное воздействие, модифицированный битум, термопласты, эластопласты, термоэластопласты.*

Модификация битума, в частности различными видами термопластов, обычно, хоть незначительно, но положительно сказывается на адгезионных свойствах вяжущего [4]. Особенно это проявляется при длительном воздействии высоких положительных температур [3]. Как показано в исследованиях [5], если рассматривать битум, как систему, состоящую из асфальтенов, смол, ароматических углеводородов и насыщенных углеводородов, адгезия между асфальтенами и наполнителем является самой сильной, а связь между ароматическими соединениями и наполнителем – самой слабой. При этом следует учитывать, что при модификации битума СБС и СБР полимеры наиболее активно взаимодействуют именно с асфальтеновой фракцией битума.

В настоящее время основными методами определения адгезии битума к минеральной составляющей асфальтобетонных смесей являются визуальными такими, как «Метод определения сцепления

битума с мраморным песком» и «Метод определения сцепления битума с мраморным песком на сетке», и инструментальными такими, как «Метод определения водостойкости асфальтобетона (TSR)» и «Метод определения водостойкости при длительном водонасыщении». Визуальные методы являются субъективными, так как полностью зависят от визуального восприятия лаборантом контрольных образцов. В последнее время проводятся исследования [6] для усовершенствования этих методов и исключение человеческого фактора при обработке результатов испытания. На инструментальные методы косвенно влияют прочностные свойства испытуемого асфальтобетона, что может приводить к необъективности получаемых результатов. В работе [7] наглядно продемонстрировано расхождение результатов испытаний при выполнении экспериментов по различным методикам.

Предлагается оценивать адгезию модифицированного битума к минеральному наполнителю, путем выявления такого фактора, как проникновение воды под битумную пленку в асфальтобетоне при различных температурах при остаточном давлении 2000 Па. Преимущество этого метода состоит в том, что он приближает условия проведения испытаний к реальным условиям работы асфальтобетона в покрытии. Отличием от стандартизированного метода испытаний заключается в том, что сосуд с водой из вакуумной установки помещается в теплоизолированный водонепроницаемый короб, оснащенный функцией подогрева, и термостатируется в процессе всего испытания при заданных температурах. Это позволяет получить значения количества поглощаемой образцом воды при остаточном давлении 2000 Па и заданной температуре.

Исследования проводились на трех типах асфальтобетонных смесей, которые наиболее часто используются в верхнем слое дорожного покрытия – смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С и смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б. Выбор обусловлен тем, что именно верхний слой покрытия наиболее интенсивно подвергается воздействию климатических факторов и именно для него в наибольшей степени критична адгезия битума к минеральной части. Минеральные части асфальтобетонных смесей проектировались в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Республики Беларусь.

В качестве модифицирующих добавок применялись:

- В П – MF ГУ ВУ 690610504.001-2012;
- многокомпонентная модифицирующая полимерная добавка универсального применения (ММД2П);
- смесь полиэтиленов (агломерат стрейч-пленки);
- стирол-бутадиен-стирол;
- стирол-бутадиеновый каучук.

Все модификаторы вводились в состав асфальтобетонной смеси путем предварительной модификации битума при содержании модифицирующей добавки в количестве 4% по массе в пересчете на чистый полимер.

Сравнительный анализ значений показателей водонасыщения контрольного образца и асфальтобетонов, модифицированных термопластами и термоэластопластами, наглядно показывает, что применение модифицированного битума способствует снижению поглощаемой асфальтобетоном типа С воды при высоких положительных температурах, что характеризует улучшение адгезионных свойств и стабильности материала в целом. При этом наглядно видно (рисунок 1а), что применение термопластов отдельно от эластомеров или термоэластопластов, является малоэффективным с точки зрения адгезионных свойств модифицированного битума.

Аналогичные испытания проводились для асфальтобетонов типа Б. Картина изменения значений показателя водонасыщения была почти аналогична, за исключением того, что значительный рост отмечался уже при температуре 40°C (рисунок 1б), за исключением асфальтобетона, модифицированного смесью полиэтиленов. Еще одной особенностью было то, что разница в значениях при испытаниях при 20°C и при 50°C и 60°C не была столь значительной, как на примере асфальтобетона типа С.

При этом, мы наблюдаем, что расхождение значений показателя водонасыщения контрольного образца и асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном смесью полиэтиленов, значительно выше. Это объясняется тем, что в менее каркасных смесях жесткость вяжущего может играть более ощутимую роль из-за того, что в соотношении матрица-каркас, матрица начинает преобладать. Такая же картина наблюдается и на типе Б, что подтверждает предположения.

Таблица 1 – Результаты испытаний модифицированного щебеночного мелкозернистого асфальтобетона типа С

| Вид испытани<br>я                                | Температура определения показателя водонасыщения образца, °С.  |     |     |     |     |     |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 10   | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  |
| Значение показателя водонасыщения<br>образца, %. | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С,<br>модифицированная В II – MF ТУ ВУ 690610504.001-2012 |     |     |     |     |     |
|  | 1,5  | 1,6 | 1,9 | 2,4 | 3,7 | 5,8 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С,<br>модифицированная ММД2П                              |     |     |     |     |     |
|  | 1,5  | 1,7 | 2,8 | 3,9 | 5,1 | 6,8 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С,<br>модифицированная смесью полиэтиленов                |     |     |     |     |     |
|  | 1,8  | 2   | 3,4 | 4,9 | 6,6 | 8,1 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С,<br>модифицированная СБС                                |     |     |     |     |     |
|  | 1,7  | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 3,2 | 5,0 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С,<br>модифицированная СБР                                |     |     |     |     |     |
|  | 1,6  | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 3,8 | 5,4 |

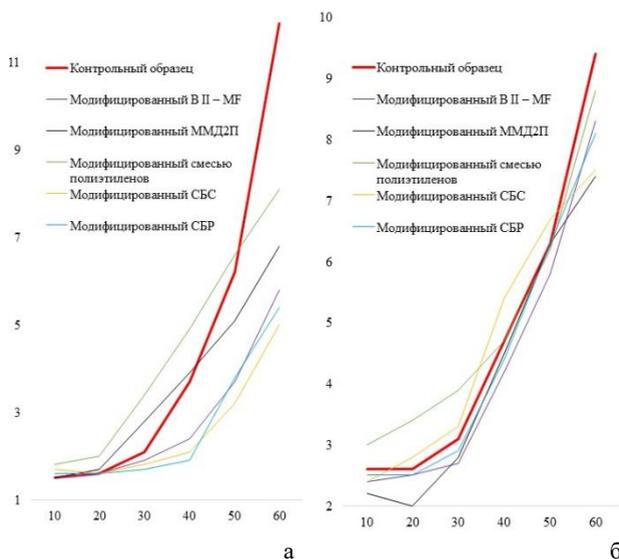


Рис. 1. Сводный график изменения значений показателя водонасыщения образцов модифицированных и контрольного асфальтобетона: а – для асфальтобетона типа С; б – для асфальтобетона типа Б

Таблица 2 – Результаты испытаний модифицированного щебеночного мелкозернистого асфальтобетона типа Б

| Вид испытания  | Температура определения показателя водонасыщения образца, °С.                                       |     |     |     |     |     |
|--|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  |
| Значение показателя водонасыщения образца, %.                        | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная В II – MF ТУ ВУ 690610504.001-2012 |     |     |     |     |     |
|  | 2,4   | 2,5 | 2,7 | 4,2 | 5,8 | 8,3 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная ММД2П                              |     |     |     |     |     |
|  | 2,2   | 2,0 | 2,8 | 4,5 | 6,3 | 7,4 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная смесью полиэтиленов                |     |     |     |     |     |
|  | 3,0   | 3,4 | 3,9 | 4,7 | 6,2 | 8,8 |
|  | Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная СБС                                |     |     |     |     |     |
|  | 2,4   | 2,8 | 3,3 | 5,4 | 6,7 | 7,5 |
| Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная СБР |   |     |     |     |     |     |
| 2,5  | 2,5   | 2,9 | 4,4 | 6,3 | 8,1 |     |

При анализе результатов измерения водонасыщения различных типов асфальтобетонных смесей видно, что с ростом температуры на бескаркасных смесях (тип А и Б) относительная разница значений, получаемых при нормальных условиях испытаний и при высоких температурах становится меньше, чем на каркасных асфальтобетонах. Это объясняется не разницей в количестве каменного материала, а толщиной битумной пленки на его поверхности. Так в работе [8] показано, что процент когезионного расслоения значительно увеличивается с ростом толщины пленки битума и может достигать 65% когезионного отслоения, рассчитанного, как отношение площадей оставшихся молекул битума к общей поверхности раздела битум-каменный материал.

Так как отрыв происходит в слое вяжущего, то можно говорить о том, что в многощебеночных асфальтобетонах, характеризующихся большим количеством мастики в своем составе и высокой степенью ее структуризации, при условии разряжения и высоких температур, вода проникает не только под битумную пленку, но и в когезионный разрыв. При этом модифицированный битум эффективнее

противостоит когезионному разрыву за счет сформированной полимерами подсистемы, что наглядно демонстрирует проведенное исследование.

В случае, когда полимер благодаря сродству с битумом химически с ним соединяется, этот эффект усиливается, что так же подтверждается исследованиями [9], направленными на определение показателей межфазной энергии, коэффициента диффузии и относительной концентрации СБС-модифицированного битума методом моделирования молекулярной динамики.

### Литература

1. Baocun Shi. Analysis of the cohesion/adhesion proportion around bitumen-mineral failure interface under tensile loading [Electronic resource] / Baocun Shi, Quan Liu, Yangming Gao, Jiantao Wu, Jingya Chen // Construction and Building Materials. - 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132555>. - Date of access: 04.08.2023.
2. Mansheng Dong. Characterisation of temperature and loading rate dependent bond strength on the Bitumen-aggregate interface using direct shear test [Electronic resource] / Mansheng Dong, Benqin Sun, Nick Thom, Linglin Li // Construction and Building Materials. - 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132284>. - Date of access: 29.08.2023.
3. Henrique M. The influence of recycled plastics added via the dry process on the properties of bitumen and asphalt mixtures [Electronic resource] / Henrique M. Borges Miranda, Daniela Domingues, Maria João Rato // Transportation Engineering. - 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100197>. - Date of access: 12.07.2023.
4. Hend Ali Omar. Investigation of the relationship between fluidity and adhesion strength of unmodified and modified bitumens using the pull-off test method / Hend Ali Omar, Nur Izzi Md. Yusoff, Halil Ceylan, Zainuddin Sajuri, Fauzan Mohd Jakarni, Amiruddin Ismail // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 122. - P. 140-148.
5. Xiaoguang Yao. Interfacial adhesive behaviors between SBS modified bitumen and aggregate using molecular dynamics simulation [Electronic resource] / Xiaoguang Yao, Chixuan Li, Tao Xu // Surfaces and Interfaces. - 2022. – Mode of access:

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102245>. - Date of access: 14.12.2022.

6. Yi Peng. Interpretation of stripping at the bitumen–aggregate interface based on fluorescence tracing method / Yi Peng, Tianhao Zhao, Qilan Zeng, Liu Deng, Lingyun Kong, Tao Ma, Yu Zhao // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2023. – Volume 25. - P. 5767-5780.
7. Miglė Paliukaitė. Evaluation of Different Test Methods for Bitumen Adhesion Properties / Miglė Paliukaitė, Viktoras Vorobjovas, Matas Bulevičius, Vitalijus Andrejevas // *Transportation Research Procedia*. – 2016. – Volume 14. - P. 724-731.
8. Modeling percentages of cohesive and adhesive debonding in bitumen-aggregate interfaces using molecular dynamics approaches [Electronic resource] / P. Chen [et. al.] // *Applied Surface Science*. - 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151318>. - Date of access: 14.12.2022.
9. Yao X. Interfacial adhesive behaviors between SBS modified bitumen and aggregate using molecular dynamics simulation [Electronic resource] / X. Yao, Ch. Li, T. Xu // *Surfaces and Interfaces*. - 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102245>. - Date of access: 07.11.2022.