

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ
«БИТУМНО-ПОЛИМЕРНОЕ ВЯЖУЩЕЕ –
ЦЕМЕНТОБЕТОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ»**

*Докт. техн. наук, проф. ЛЯХЕВИЧ Г. Д.,
аспиранты МАКСИМЕНКО А. Л., ПАСТУШКОВ В. Г.*

Белорусский национальный технический университет

Как правило, перед нанесением основного слоя гидроизоляции подготовленную цементобетонную поверхность обрабатывают битумным или битумно-полимерным лаком, который состоит из 25...30 мас. % вяжущего и 70...75 мас. % растворителя. Принципиально важны для надежной гидроизоляции выбор пластичного вяжущего, растворителя и получение эмульсии с условной вязкостью при 20 °С в течение 10...20 с. Такая эмульсия является дисперсной системой, включающей дисперсионную среду и дисперсную фазу. Размеры частиц дисперсионной среды составляют менее 1 мкм. Эти частицы обеспечивают более высокую прочность и твердость грунтовки по сравнению с крупными частицами, полученными из тех же веществ. Особенность коллоидных систем – сосредоточение всей массы и свободной энергии в межфазных поверхностных слоях. Молекулы в поверхностном слое на границе раздела фаз различаются между собой и отличаются от молекул, находящихся в объеме вещества. Чтобы битумно-полимерное вещество растворялось в растворителе, необходимо обеспечить притяжение между их молекулами, которое создается ван-дер-ваальсовыми силами и водородными связями.

Эти силы характеризуются:

- ориентационным взаимодействием жестких диполей (эффект Кизома), обладающим

в молекулах с большим дипольным моментом. Энергия взаимодействия снижается с увеличением температуры;

- взаимодействием индуцированных диполей, возникающих в неполярных молекулах под влиянием силового поля молекул с большим дипольным моментом (эффект Дебая). Величина индуцированного диполя зависит от силы поля и поляризуемости электрически нейтральной молекулы;

- квантово-механическим взаимодействием колеблющихся электронов (дисперсионный эффект Лондона). Эти силы молекулярного взаимодействия являются наиболее универсальными и проявляются при сближении любых молекул битумно-полимерного вещества и растворителя, независимо от их полярности или способности к поляризации.

Энергия U взаимодействия молекул является суммой ориентационной U_{or} , индукционной U_{ind} и дисперсионной U_{dis} . Величина U определяется из уравнения [1]

$$U = U_{or} + U_{ind} + U_{dis}. \quad (1)$$

Электростатические силы, возникающие между диполями, постоянными и индуцированными, характеризуются двумя основными параметрами – постоянным дипольным моментом μ и поляризуемостью α (способность электронных оболочек к деформации при воздейст-

вии электрического поля). Важным параметром дисперсионных сил является основная характеристика – частота дисперсионного спектра колебаний атома ν_0 .

Водородная связь реализуется атомом водорода, который может образовать связь между двумя электроотрицательными атомами, например кислорода, из которых хотя бы один имеет свободную электронную пару. Эта связь заметно влияет на физические свойства растворителей и битумно-полимерных вяжущих. Так, если растворитель (бензиновые фракции) содержит в основном неполярные углеводороды, то образование коллоидного раствора возможно преимущественно за счет дисперсионного эффекта Лондона. В случае же использования битумно-полимерного вяжущего или растворителя, содержащих полярные соединения, образование коллоидного раствора достигается благодаря эффекту Дебая. Наибольшую величину молекулярной поляризации имеют ароматические углеводороды, наименьшую – нефтяные и парафиновые. Поэтому при воздействии электрического поля полярных соединений на ароматические углеводороды они легко подвергаются поляризации и в их молекулах возникает индуцированный дипольный момент.

В ароматических углеводородах растворителя, вяжущего средняя молекулярная поляризация молекул повышается с увеличением цикличности этих углеводородов. Индуцированный дипольный момент возникает в тех из них, в которых ароматическое ядро не очень экранировано алифатическими цепями или нефтяными кольцами. Чем длиннее эти цепи или чем сложнее их конфигурация, тем более осложняется возникновение наведенного дипольного момента. С ростом числа колец в ароматических углеводородах повышается значение их средней молекулярной поляризации.

Использование полярного растворителя приводит к возникновению наведенного дипольного момента в молекулах полициклических ароматических углеводородов, слабо экранированных боковыми цепями и нефтяными кольцами. И они в первую очередь будут растворяться в полярных растворителях [1–4].

Наведенный дипольный момент, возникающий в нефтяных и парафиновых углеводородах, имеет небольшое значение вследствие ма-

лой поляризуемости этих соединений. Поэтому при определенной температуре углеводороды растворяются исключительно под влиянием дисперсионных сил.

Растворимость углеводородов битумно-полимерного вяжущего в полярных растворителях зависит от влияния полярных и в еще большей степени дисперсионных сил. Растворители, имеющие одинаковую функциональную группу, но различные по длине алкильные цепи углеводородных радикалов, будут по-разному взаимодействовать с углеводородами битумно-полимерного вяжущего, и при данной температуре растворитель, имеющий более длинный алкильный радикал, растворит в большей степени углеводородные фракции вследствие большого влияния дисперсионного эффекта. Высокий дипольный момент полярного растворителя или вяжущего возбуждает дипольный момент в молекулах углеводородов, имеющих не только высокую, но и низкую молекулярную поляризацию [1, 2].

Для создания битумно-полимерного раствора, эффективно взаимодействующего с цементобетонной поверхностью, необходимо учитывать структуру межмолекулярного взаимодействия полидисперсной системы, а точнее – вклад различных сил Ван-дер-Ваальса, водородной связи в создание надежной и долговечной грунтовки. Настоящее исследование показывает, что возможности создания более совершенных грунтовочных материалов еще далеко не исчерпаны.

При обработке цементобетонной поверхности битумно-полимерным раствором происходит адсорбция веществ из жидкой фазы на твердую поверхность. Рассматриваемый процесс достигается благодаря адсорбционным межмолекулярным силам. При этом молекулы принадлежат жидкой и твердой фазам и взаимодействие происходит в поверхностном слое. Адсорбция битумно-полимерных компонентов в большей степени определяется силовым полем цементобетона, его составом, структурой и состоянием поверхности (шероховатостью, неровностью). Свойства полидисперсной коллоидной структуры (плотность, вязкость, энтальпия, энтропия, температура кристаллизации и др.) изменяются вблизи поверхности раздела фаз жидкость – пористое тело цементобетона. Структура битумно-полимерного раствора в

границных слоях изменяется более существенно, чем в его объеме. В соответствии с правилом Ребиндера [3, 4], процесс адсорбции идет в сторону выравнивания полярности фаз. Если дисперсная фаза, прежде всего компоненты битумно-полимерного вяжущего, и дисперсионная среда – растворитель – резко отличаются по полярности и взаимодействию между ними мало, а поверхностная энергия значительна, то это обеспечивает адсорбцию битумно-полимерных компонентов, но не летучих молекул растворителя. Устойчивость полидисперсной битумно-полимерной системы – важнейшее условие надежности гидроизоляции, которая достигается неизменностью во времени дисперсности и равновесного распределения дисперсной фазы битумно-полимерного вещества в растворителе.

Основным условием быстрого и качественного нанесения и образования грунтовки на бетонной поверхности является ее хорошая смачиваемость полидисперсным битумно-полимерным раствором вяжущего. Способность к смачиванию поверхности характеризуется наличием свободной энергии и зависит от полярности наносимой жидкости. Чем меньше разность их поверхностных натяжений, тем полнее и легче происходит смачивание. С повышением температуры напряженность молекулярных сил на границе раздела фаз понижается, а взаимная растворимость увеличивается. На основании условий равновесия сил, действующих на смачиваемую поверхность цементобетона (рис. 1), можно записать уравнение

$$\cos \varphi = (\sigma_{23} - \sigma_{13}) / \sigma_{12}, \quad (2)$$

где σ_{12} , σ_{13} , σ_{23} – поверхностные натяжения на границах раздела фаз 1; 2; 3.

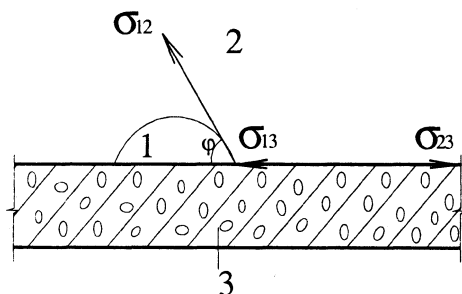


Рис. 1. Условие равновесия сил поверхностного натяжения при смачивании цементобетонной поверхности полидисперсным битумно-полимерным раствором вяжущего: 1 – полидисперсный раствор битумно-полимерного вяжущего; 2 – газозвудушная (воздушная) среда; 3 – цементобетонная поверхность

Из уравнения (2) следует, что увеличение смачиваемости цементобетонной поверхности полидисперсным битумно-полимерным раствором вяжущего может быть достигнуто, если краевой угол смачивания $\varphi < 90^\circ$, а $\cos \varphi$ – наибольшая положительная величина. Задача состоит в увеличении σ_{23} и уменьшении σ_{13} . С приближением величины краевого угла смачивания к нулю работа адгезии переходит в работу когезии W_k , равную удвоенному поверхностному натяжению:

$$W_k = 2\sigma_{12}. \quad (3)$$

Прочность удерживания (адгезия) битумно-полимерного вяжущего, нанесенного на цементобетонную поверхность, равна работе адгезионного отрыва W_A (с обратным знаком) в условиях обратимого изотермического процесса и выражается через поверхностные натяжения на границах раздела вяжущее – воздух σ_{12}

$$W_A = \sigma_{12}(1 + \cos \varphi). \quad (4)$$

Адгезия битумно-полимерного вяжущего, нанесенного на цементобетонную поверхность, объясняется образованием двойного электрического поля на поверхности раздела пленки битумно-полимерного вяжущего и бетона. Для битумов и полимерных материалов она зависит от полярности компонентов (асфальтенов, мальтенов и др.) и характеризуется электропроводностью растворов этих веществ в неполярных растворителях. При повышении молекулярной массы, например асфальтенов и мальтенов, электропроводность возрастает. Так, при молекулярной массе асфальтенов 1698 электропроводность равна $81 \cdot 10^8 \text{ Ом}^{-1}$, а при молекулярной массе 2950 – $108 \cdot 10^8 \text{ Ом}^{-1}$ [2]. С увеличением молекулярной массы асфальтенов, входящих в состав битума, адгезионные свойства улучшаются.

Учитывая априорную информацию [5–7], экспериментальные исследования адгезионного взаимодействия полидисперсной системы битумно-полимерное вяжущее – цементобетонная поверхность осуществлялись с использованием образцов цементобетона М400, а также вяжущих (не наполненных и наполненных высокодисперсными веществами) и растворителей

различной степени полярности. За меру полярности полидисперсных систем принята диэлектрическая проницаемость при 800 Гц (ϵ_{800}). Результаты исследований представлены на рис. 2–5.

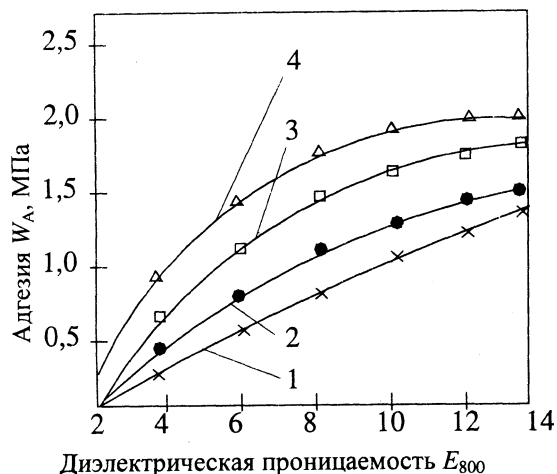


Рис. 2. Влияние полярности ненаполненных вяжущих на адгезию их к цементобетонной поверхности: 1 – 2,5; 2 – 9; 3 – 18; 4 – 27

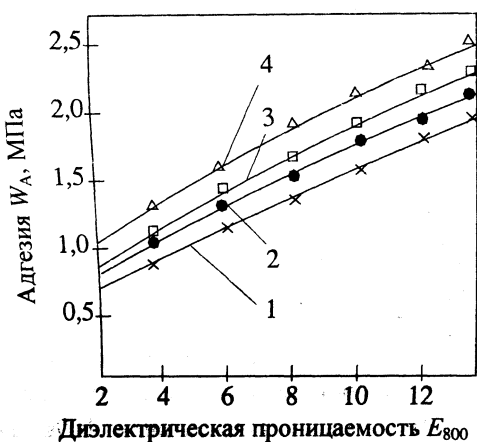


Рис. 3. Влияние полярности наполненных вяжущих на адгезию их к цементобетонной поверхности: 1 – 2,5; 2 – 9; 3 – 18; 4 – 27

Анализ данных (рис. 2, 3) показал, что с увеличением полярности как ненаполненных, так и наполненных вяжущих возрастает адгезия их к цементобетонной поверхности. Для полидисперсной системы существует оптимальная область содержания вяжущего в растворе, при котором адгезия его к бетонной поверхности имеет наибольшее значение, за пределами ко-

торой адгезия грунтовки к бетонной поверхности резко снижается.

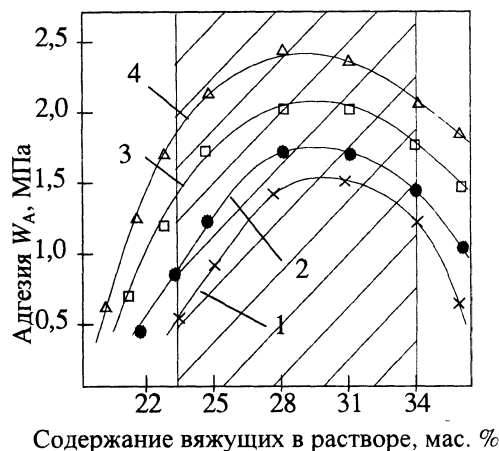


Рис. 4. Влияние количества ненаполненных вяжущих в растворе на адгезию их к цементобетонной поверхности: 1 – 2,5; 2 – 9; 3 – 18; 4 – 27

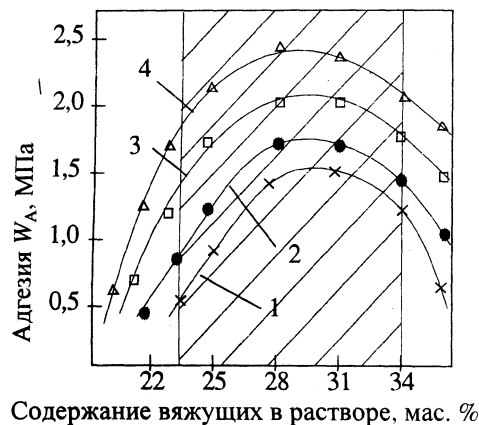


Рис. 5. Влияние количества наполненных вяжущих в растворе на адгезию их к цементобетонной поверхности: 1 – 2,5; 2 – 9; 3 – 18; 4 – 27

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова Т. В., Кудряшов И. В., Тимаев В. В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
2. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. – М.: Химия, 1973. – 432 с.
3. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
4. Щукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. – М.: МГУ, 1982. – 352 с.
5. Ляхевич Г. Д. Рентгеноскопическое, электронно-скопическое и дериватографическое исследование твер-

дой фазы вяжущих на основе полимерных материалов // Проблемы развития сети и улучшения эксплуатационных качеств автомобильных дорог местного назначения и внутрихозяйственных дорог колхозов и совхозов: Материалы респ. науч.-техн. конф. – Мн., 1984. – С. 141–145.

6. Ляхевич Г. Д., Ляхевич Л. Б. Теоретические основы создания битумно-оксиполиэтиленовой гидроизоляции для мосто- и тоннелестроения // Технические вузы –

республике: Материалы междунар. 52 науч.-техн. конф. – Мн., 1997. – Ч. 3. – С. 157.

7. Ляхевич Г. Д. Теоретический анализ структуры и надежности битумно-полимерных материалов, применяемых для гидроизоляции мостовых и тоннельных конструкций // Диагностика эксплуатационного состояния автомобильных дорог, новые технологии их ремонта и содержания: Докл. междунар. науч.-техн. конф. – Мн., 1998. – С. 73–78.

УДК 614.841.33:624.014

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНОВ КЛАССОВ В20–В100 ПРИ ПОЖАРЕ

Канд. техн. наук КАСПЕРОВ Г. И., соиск. ПОЛЕВОДА И. И., РЫСКИН М. Н.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь,
Белорусский национальный технический университет

В соответствии с положениями СНБ 5.03.01 «Железобетонные и бетонные конструкции. Нормы проектирования» расчетное сопротивление бетона на сжатие f_{cd} при нормальной температуре $\Theta < 50$ °С определяется по формуле

$$f_{cd} = f_{ck} \frac{\alpha \lambda}{\gamma_c} = f_{ck} k_S, \quad (1)$$

где f_{ck} – нормативное сопротивление бетона осевому сжатию; γ_c – частный коэффициент безопасности для бетона; α – коэффициент, учитывающий длительное действие нагрузки и неблагоприятный способ ее приложения; λ – дополнительный коэффициент для высокопрочных бетонов; k_S – коэффициент безопасности.

Экспериментальные исследования бетонных конструкций при пожаре показали, что их разрушение происходит по тем же схемам, что и в условиях нормальных температур [1]. Оценка несущей способности конструкций при пожаре в общем случае проводится по формуле [1–3]

$$\frac{E_{cd,fi}}{R_{cd,fi}} = \frac{E_{cd} \eta_{fi}}{(f_{cd}(\Theta) S_c - \sum f_{sy}(\Theta) S_{sti})} \leq 1, \quad (2)$$

где $E_{cd,fi}$ – расчетное значение нагрузки при пожаре; $R_{cd,fi}$ – предельное усилие, которое способна воспринимать конструкция; E_{cd} – расчетное значение нагрузки, принимаемое в соответствии с нормами; η_{fi} – коэффициент нагрузки при пожаре; $f_{cd}(\Theta)$, $f_{sy}(\Theta)$ – расчетные сопротивления бетона и арматуры при пожаре; S_c , S_{sti} – статические моменты площади сечения сжатой зоны бетона и i -го стержня продольной арматуры.

Для практических расчетов допускается принимать $\eta_{fi} = 0,7$ [2, 3]. Расчетное сопротивление бетона для определения предела огнестойкости вычисляется путем умножения нормативного сопротивления при начальной температуре на коэффициент условий работы бетона при пожаре $k_C(\Theta)$ [2, 3]

$$f_{cd}(\Theta) = f_{ck} k_C(\Theta). \quad (3)$$

Сравнительная оценка рассмотренных в (1, 3) коэффициентов может быть получена с