

УДК 691

**В. Н. Соков, А. Э. Бегляров, А. А. Солнцев, А. А. Журавлева, А. С. Журбин**

### **КОМПЛЕКСНЫЙ ПАРОГИДРОТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ**

Разработан наиболее оптимальный подход к созданию нового эффективного битумополистирольного материала многофункционального назначения при воздействии температуры, давления и электрического тока, который позволяет формировать плотную структуру матрицы материала, получать прочные адгезионные контакты на поверхности раздела «битум — полистирол» при самоуплотнении изделий.

**Ключевые слова:** битумополистирольный материал, матрица материала, адгезионные контакты, самоуплотнение изделий.

The authors develop the most sensible approach to the creation of a new effective multi-purpose bitumopolystyrene material on exposure of temperature, pressure and electric current. This method allows to create a dense structure of the material matrix, to receive strong adhesive contacts on the interface of bitumen / polystyrene in time of self-consolidation of goods.

**Key words:** bitumopolystyrene material, material matrix, adhesive contacts, self-consolidation of goods.

Одним из путей увеличения эффективности применения строительных конструкций, повышения их конкурентоспособности является использование строительных материалов многофункционального назначения. Немаловажную роль при этом должна играть интенсификация технологических процессов.

Существующие способы и приемы создания эффективных строительных материалов, интенсифицирующие процессы изготовления материалов и улучшающие их свойства (механоактивация компонентов, экструзия, прессование и др.), продолжительны во времени и требуют специального оборудования, которое впоследствии усложняет технологию и снижает ее надежность [1].

По нашему мнению, наиболее оптимальный подход к созданию нового эффективного материала многофункционального назначения основан на гипотезе комплексного воздействия температуры, давления и электрического тока на формуемые системы при самоуплотнении изделий [2, 3]. Особенно перспективной видится возможность получения данным методом битумополистирольных материалов улучшенной структуры. Основным преимуществом этой технологии является совмещение технологических операций формования, сушки и оплавления битума в одном переделе. Этот способ позволяет формировать плотную структуру матрицы материала, получать прочные адгезионные контакты на поверхности раздела «битум — полистирол» и, как следствие, способствовать формированию комбинированного пространственного каркаса в результате комплексного воздействия на уплотняемый объем повышенных давлений, температур и электрического поля. В это же самое время осуществляется отжатие из системы излишков формовочной влаги (вводимой при приготовлении смеси из условия ее удобоукладываемости). Отжатие влаги через жидкую фазу (в отличие от традиционного испарения) позволяет во много раз снизить расходы на тепловую обработку и улучшить структуру матрицы.

По результатам анализа различных литературных источников установлено слабая изученность влияния собственно электрического поля на процессы, протекающие при самоуплотнении. Например, подробно исследованы закономерности влияния повышенных температур на гидратацию минерального вяжущего, изменение интегрально удельного сопротивления в уплотняемом объеме и интегральных тепловыделений. В тоже время слабо изучены такие важнейшие закономерности, как влияние электрического поля на процессы, происходящие на уровне элементарных объемов вещества, в том числе и на поверхностях раздела фаз. Несомненно, эти процессы оказывают немаловажное влияние на формирование макрохарактеристик битумополистирольных смесей (БПС) при самоуплотнении и на формирование свойств битумополистирольных изделий [4].

Суть способа получения комплексного паротеплогидроизоляционного материала заключается в следующем. Подвспененный бисерный полистирол засыпают в мешалку, туда же заливается приготовленное битумное вяжущее и все это перемешивается. Полученную массу заливают в замкнутый перфорированный объем и подвергают электропрогреву до температур более 80 °С. Довспенивание гранул полистирола при таких температурах создает избыточное давление в форме, способствуя процессу уплотнения массы [3].

При анализе самоуплотнения авторы исходили из того, что одновременное воздействие давлений и температур в условиях электрического поля направлено на все элементы структуры уплотняемого объема — как на макро, так и на микроуровне, и определяет поведение их.

В изучаемой области к макроструктурам относят матрицу, состоящую из битумного вяжущего и эмульгатора, подвспененные гранулы бисерного полистирола и жидкую фазу (воду с растворенными в ней веществами и их микроагрегатами), заполняющую поры и капилляры твердой фазы. К элементам микроструктуры относят дисперсные фазы, капиллярные образования, поверхности контакта различных фаз, коллоидные растворы.

Устойчивость БПС и их реологические характеристики обусловлены, в значительной степени, взаимодействием на границах раздела фаз «твердое тело — жидкость», «жидкость — газ», «твердое тело — газ». Газообразная фаза (паровоздушная смесь) вовлекается в системы в процессе их приготовления.

Поверхностное взаимодействие на границе «твердое тело — жидкость» обуславливается силовым полем твердого тела, обладающим к тому же удельной свободной поверхностной энергией, пропорциональной дисперсности твердой фазы. Это взаимодействие выражено в физической адсорбции (включающей дипольную и дисперсионную составляющие) и хемосорбции.

На границах «газ — жидкость» и «газ — твердое тело» (в том числе и в порах частиц матрицы битумного вяжущего) значительную роль в формировании свойств системы играют капиллярные явления, обусловленные поверхностным натяжением.

В изучаемых системах возникает еще одна активная поверхность раздела, это «битум — полистирол». Мономеры полистирола, имеющие в своем составе бензольное кольцо и двойную связь (по которой и происходит полимеризация), являются поляризованными соединениями. Степень их поляризации тем выше, чем ближе их расположение к поверхности раздела и тем выше их способность притягивать поляризованные составляющие битума.

Составляющие битума малорастворимы в полярных жидкостях, в том числе и в воде. Поэтому для равномерного распределения агрегатов битума в уплотняемом объеме применяется его эмульгирование.

Получение битумных эмульсий осуществляют путем диспергации с применением органических или минеральных эмульгаторов. Механизм их действия основан на снижении поверхностного натяжения фаз «битум — вода» и образованию (по теории Банкрофта) бислойных пленок.

Тонкодисперсный гидрофильный эмульгатор (порошки глины или поверхностно-активных веществ), адсорбируясь на поверхности частиц битума и хорошо смачиваясь водой, оттягивается на границе раздела в водную фазу, формируя тем самым защитные слои на поверхности частиц битума. Таким образом формируется мицелярная структура битумной эмульсии.

Одним из проявлений адсорбции ионов (носителей электрического заряда, содержащихся в жидкой фазе БПС) на границах раздела фаз является возникновение двойных электрических слоев (ДЭС). ДЭС образуется практически всегда и позволяет учесть электрическую компоненту энергии адсорбции.

Наиболее значимым параметром ДЭС и однозначной характеристикой электрических свойств данной поверхности раздела является  $\zeta$ -потенциал, определяемый как потенциал границы скольжения фаз, например, при течении жидкости вдоль твердой поверхности.

Согласно современным представлениям, мицелла битума — это компактное, в первом приближении сферическое образование, состоящее из углеводородного ядра, покрытого слоем полярных (ионогенных) групп. Слой полярных групп (вместе с контактирующей с каждой из них  $\text{CH}_2$ -группой) выступает над поверхностью ядра и расположен в жидкой фазе. Это приводит к тому, что противоions, попавшие в зазоры между соседними заряженными группами мицеллы, связываются с ними более прочно, чем остальные ионы диффузного слоя. Внутренняя обкладка ДЭС мицеллы образована ионогенными группами, внешняя — ввязанными и диффузно расположенными противоionsами.

Подводя итог изложенным теоретическим предпосылкам, можно утверждать, что в изучаемых системах, находящихся в условиях одновременного воздействия температур, давлений и электрического тока, определенным образом должна проявляться их коллоидная природа, и в том числе электрокинетические свойства, что обуславливает расширение представлений о самоуплотнении [5].

Электропрогрев БПС можно условно разделить на два этапа: начальный, при котором происходит разогрев смеси, формирование полей температур и давлений, а также массоперенос, и конечный, при котором формируется структура изделий.

На начальном этапе определяющими являются свойства БПС как капиллярно-пористо-коллоидной системы; на конечном — реологические характеристики битума.

Интегральные характеристики уплотняемого объема, его электрическое сопротивление, распределение полей давления и влажности зависят как от начального состава БПС, так и от процессов, протекающих в ней на микроуровне, где флуктуация свойств среды оказывает значительное влияние на их электро- и массопроводность.

К подобным явлениям относят «вентильный эффект», который проявляется в каждом микрообъеме, содержащем поверхности раздела, следовательно, и ДЭС, и заключающийся в частичном выпрямлении переменного электрического тока. Это ведет к поляризации ДЭС, изменению концентраций ионов в пограничных областях и к капиллярному осмосу, механизм которого рассмотрен С. С. Лухиным и Б. В. Дерягиным.

Пространственно-неоднородное электрическое поле приводит диполи (коллоидные частицы с поляризованным ДЭС) в движение и ведет к их концентрации в областях максимума и минимума амплитуды поля.

В значительно большей степени на интегральную токопроводность системы оказывает влияние поверхностная проводимость, обусловленная превышением суммарной концентрации ионов (за счет из адсорбции) в подвижной части ДЭС по сравнению с таковой в окружающем свободном объеме. Учет поверхностной проводимости особенно важен в области тонких капилляров и малых концентраций электропроводящих ионов.

По мере разогрева уплотняемого объема растет кинетическая энергия молекул, ионов и атомов, находящихся как в твердой, так и в жидкой фазе, а также сортированных на поверхностях раздела.

Увеличение числа «горячих» молекул снижает вязкость жидкой фазы в целом и поверхностное натяжение на границах фаз. Этим можно объяснить и тот факт, что ожидаемого (в соответствии с законом Томпсона) роста капиллярного давления не происходит, как и роста сопротивляемости среды массопереносу при уменьшении диаметра массопроводящих капилляров.

Рост скорости химических реакций ведет к повышению концентрации ионов в растворной части, следовательно, и к ее проводимости: снижается удельное сопротивление жидкой фазы и увеличивается способность к диффузии через поры и капилляры.

С ростом температуры начинается постепенный рост интегрального давления в уплотняемом объеме и начинается активный массоперенос: фильтрация жидкой фазы (содержащий ионы и поляризованные агрегаты) по капиллярам.

Фильтрация и отжатие влаги через жидкую фазу по капиллярам под воздействием внешнего давления сопровождается переносом ионов обоих знаков в направлении вектора градиента давления; возникает электрический ток течения, характеризующийся потенциалом течения.

В процессе самоуплотнения объема часть воды подвергается иммобилизации. В битумном вяжущем при резком снижении влагосодержания могут происходить локальные обращения эмульсии по типу «битум в воде — вода в битуме». Это нежелательно, так как ведет к частичному защемлению жидкой фазы, а следовательно к ухудшению свойств изделий.

Токопроводящее сечение уплотняемого объема снижается, и как следствие происходит повышение интегрального удельного сопротивления системы. Активный массоперенос на этом практически завершается. Объем же продолжает находиться под воздействием повышенных давлений и температур. Наступает второй этап, характеризующийся формированием стабилизированной структуры матрицы, а следовательно, свойств битумополистирольных изделий.

На втором этапе электропрогрева решающую роль начинают играть реологические характеристики битума: его способность течь под нагрузкой и изменять вязкость под воздействием повышенных температур и градиентов скоростей деформации.

Битумное связующее, перемещаясь (в условиях сохранения температурного режима и напряженного состояния) в локальные микрообласти меньших давлений, заполняет еще оставшиеся после самоуплотнения объема пустоты. Это создает основу для формирования плотной структуры битумной матрицы материала.

По мере стабилизации процессов и начинающегося охлаждения уплотняемого объема начинается возникновение когезионных (между агрегатами битума) и адгезионных (с полистиролом) контактов, формирование структуры новообразований практически завершается.

Вынос части битумного вяжущего к наружным областям уплотняемого объема позволяет получать разноплотные изделия или использовать его в качестве клея для облицовочных материалов. Эти возможности нашли применение в технологии панелей типа «сэндвич» и фасонной изоляции, в том числе и при ее бесканальной прокладке.

Битумополистирольные изделия имеют морозостойкость не менее 25 циклов, температуру применения  $-60...+100^{\circ}\text{C}$ , водопоглощение по массе до 3 %, относятся к группе трудногораемых. Свойства изделий представлены в табл.

Битумополистирольные плиты могут использоваться при изоляции холодильных установок, панели типа «сэндвич» при тепло- и гидроизоляции перекрытий, стен жилых и промышленных зданий; фасонные изделия (а также заливочная тепло- и гидроизоляция на основе БПС) при изоляции трубопроводов, в том числе и при их бесканальной прокладке.

*Свойства битумополистирольных изделий*

Свойства	Марка по средней прочности				
	100	150	200	250	300
Плиты БПП битумополистирольные					
Прочность при изгибе, МПа	0,60	0,80	0,95	1,05	1,10
Теплопроводность, Вт/м $^{\circ}\text{C}$	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052
Скорлупы (полуцилиндры) БПС битумополистирольные					
Прочность при изгибе, МПа	—	0,85	1,00	1,10	—
Теплопроводность, Вт/м $^{\circ}\text{C}$	—	0,045	0,047	0,050	—

Экономический эффект от применения разработанных изделий складывается из снижения себестоимости, сокращения тепловых потерь при эксплуатации и увеличения срока службы изделий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Марактаев И. М., Сиденов С. А.* Эффективные теплоизоляционные материал / Тр. БНЦ СО РАН. Улан-Удэ, 1996.
2. О возможностях создания эффективных теплоизоляционных материалов методом комплексного воздействия на активные подвижные массы гидротеплосиловым полем / В. Н. Соков, А. Э. Бегляров, Д. В. Жабин, Д. Ю. Землянушнов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 9.
3. Теплосиловой монолитно-слоистый блок / В. Н. Соков, А. Э. Бегляров, Д. Ю. Землянушнов, Д. В. Жабин // Вестник МГСУ. 2011. Вып. 1. Т. 2. С. 309—312
4. Технология строительных материалов многофункционального назначения / В. Н. Соков, А. Д. Жуков, Г. Р. Чернова, С. А. Сиденов // Строительный комплекс Востока России Улан-Удэ, 1999.

5. *Мишин В. М., Соков В. Н.* Теоретические и технологические принципы создания теплоизоляционных материалов нового поколения в гидротеплосиловом поле. М. : Молодая гвардия, 2000.

1. *Maraktaev I. M., Sidenov S. A.* Effektivnyye teploizolyatsionnyye material / Tr. BNTs SO RAN. Ulan-Ude, 1996.

2. O vozmozhnostyakh sozdaniya effektivnykh teploizolyatsionnykh materialov metodom kompleksnogo vozdeystviya na aktivnyye podvizhnyye massy gidroteplosilovym polem / V. N. Sokov, A. E. Beglyarov, D. V. Zhabin, D. Yu. Zemlyanushnov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2012. № 9.

3. Teplosilovoy monolitno-sloistyy blok / V. N. Sokov, A. E. Beglyarov, D. Yu. Zemlyanushnov, D. V. Zhabin // Vestnik MGSU. 2011. Вып. 1. I. 2. S. 9—312

4. Tekhnologiya stroitel'nykh materialov mnogofunktsional'nogo naznacheniya / V. N. Sokov, A. D. Zhukov, G. R. Chernova, S. A. Sidenov // Stroitel'nyy kompleks Vostoka Rossii Ulan-Ude, 1999.

5. *Mishin V. M., Sokov V. N.* Teoreticheskie i tekhnologicheskie printsipy sozdaiya teploizolyatsionnykh materialov novogo pokoleniya v gidroteplosilovom pole. М. : Molodaya gvardiya, 2000.

© Соков В. Н., Бегляров А. Э., Солнцев А. А., Журавлева А. А., Журбин А. С., 2014

*Поступила в редакцию  
в марте 2014 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Комплексный парогидротеплоизоляционный материал / В. Н. Соков, А. Э. Бегляров, А. А. Солнцев, А. А. Журавлева, А. С. Журбин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 2(33). Ст. 1. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

*For citation:*

Sokov V. N., Beglyarov A. E., Solntsev A. A., Zhuravleva A. A., Zhurbin A. S. [Integrated steamhydroinsulating material]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 2(33), paper 1. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>