

УДК 691.162

ОБОСНОВАНИЕ ЧИСЛА СТАДИЙ ВВЕДЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА МОДИФИКАЦИИ БИТУМОВ

Сергей Николаевич Шабаев, к.т.н., доцент

Сергей Александрович Иванов, ст. преподаватель

“Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева”

Технологии модификации битумов резиновой крошкой на сегодняшний день находят все большее распространение, чему способствуют задачи повышения срока службы асфальтобетонных покрытий и поиска путей эффективной утилизации отработанных автомобильных и авиационных шин. Однако отсутствие теоретической модели, объясняющей влияние различных факторов на эффективность процесса модификации битумов резиновой крошкой, приводит к разрозненности результатов исследований и неоднозначностью рекомендуемых технологических параметров, предлагаемых различными авторами.

В мировой практике рассматриваются две основные технологии модификации битумов резиновой крошкой: технология с относительно невысокой (160...200°C) температурой технологического процесса без предъявления специальных требований к смесительному оборудованию [1-9] – метод Asphalt Rubber. и технология с повышенной (200...260°C) температурой технологического процесса с использованием специальных смесителей – метод Terminal Blended [10-12]. Предлагаются также и комбинированные методы, когда температура процесса соответствует интервалу, характерного для метода Terminal Blended, при этом использование высокоскоростных смесителей не предусматривается [13-17].

Чтобы дать объективную оценку влияния стадийности технологического процесса на эффективность модификации битумов резиновой крошкой, был поставлен соответствующий эксперимент:

1. В первом случае (базовый способ) композиционное резинобитумное вяжущее, состоящее из 73.4 % битума, 6.6 % нефтяного масла и 20 % резиновой крошки, было приготовлено в одну стадию, характеризующуюся тем, что все компоненты были загружены в один реакционный котел с выдерживанием при постоянном перемешивании при температуре $230\pm 5^\circ\text{C}$ и времени 2.5 часа.

2. По второму способу было принято решение получить композиционное резинобитумное вяжущее при использовании стадийного процесса. Суть состояла в том, что способ получения был разделен на две стадии и заключался в следующем:

- в дисперсионную среду битума в количестве 50 % и нефтяного масла в количестве 12.5 % нагретую при постоянном перемешивании до температуры $230\pm 5^\circ\text{C}$, добавляли резиновую крошку в количестве 37.5 %, имеющую комнатную температуру;

- смесь при постоянном перемешивании выдерживали при температуре $230 \pm 5^\circ\text{C}$ в течении 2.5 часов с получением концентрированной суспензии резинобитумного композита;

- отключали нагревательные элементы и в концентрированную суспензию резинобитумного композита в количестве 52.5 % добавляли битум, имеющий температуру $105 \pm 5^\circ\text{C}$, в количестве 47.5 % и смесь выдерживали в течение 0.25-0.50 часа с получением композиционного резинобитумного вяжущего.

3. Третий способ характеризовался получением композиционного резинобитумного вяжущего подобно второму варианту с тем отличием, что резиновая крошка вводилась частями. Суть метода заключалась в том, что в среду битума в количестве 50 % и нефтяного масла в количестве 12.5 %, нагретую при постоянном перемешивании до температуры $230 \pm 5^\circ\text{C}$, добавляли резиновую крошку, имеющую комнатную температуру, в количестве 12.5 %, смесь непрерывно перемешивали в течение 0.25-0.50 часа, повторно добавляли резиновую крошку в количестве 12.5 %, смесь непрерывно перемешивали в течение 0.75 часа, повторно добавляли резиновую крошку в количестве 12.5 %, смесь непрерывно перемешивали в течение 1.15-1.35 часа с образованием концентрированной суспензии резинобитумного композита. Непосредственно после получения в концентрированную суспензию резинобитумного композита в количестве 52 % добавляли битум в количестве 48 %, имеющий температуру от 100 до 110°C , отключали нагревательные элементы и смесь окончательно перемешивали в течение 0.25-0.50 часа с получением композиционного резинобитумного вяжущего.

4. По четвертому способу было принято решение увеличить концентрацию резиновой крошки в концентрированной суспензии резинобитумного композита. Так как ввести резиновую крошку в один прием в данном случае не представилось возможным, то было принято решение вводить ее в состав частями по аналогии с третьим вариантом. При этом соотношение компонентов в концентрированной суспензии резинобитумного композита было принято: резиновая крошка : масло-пластификатор : битум = 3 : 1 : 3.

5. Последний способ повторяет четвертый с той разницей, что резиновая крошка вводилась в состав в пять стадий равными частями с интервалом 0.50 часа.

Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 1.

Таблица 1 - Матрица планирования эксперимента при оценке влияния стадийности технологического процесса на эффективность модификации битумов резиновой крошкой

# способа получения	Значение параметра оптимизации
Способ #1	Opt ₁
Способ #2	Opt ₂
Способ #3	Opt ₃
Способ #4	Opt ₄
Способ #5	Opt ₅

Примечание: под параметром оптимизации понимаются физико-химические свойства композиционных резинобитумных вяжущих.

Результаты определения физико-химических свойств композиционных резинобитумных вяжущих в зависимости от стадийности технологического процесса приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Результаты эксперимента по оценке влияния стадийности на эффективность технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой

# способа получения	Физико-химические свойства композиционных резинобитумных вяжущих										
	P25	P0	R25	R0	W25	W0	KIS	HR	ΔKIS	ΔM	Tvsp
Способ #1	44	19	13.0	7.5	86	80	58	-24.5	8	0.57	230
Способ #2	57	25	10.3	8.0	85	78	68	-25.0	-1	0.59	230
Способ #3	47	20	12.1	7.1	91	83	64	-25.0	2	0.62	230
Способ #4	40	26	10.1	7.4	91	78	67	-24.5	-1	0.56	230
Способ #5	43	22	11.0	6.3	88	86	64	-21.0	2	0.55	230

Анализ полученных данных позволяет сделать несколько важных выводов:

1. Если получать композиционное резинобитумное вяжущее в одну стадию (путем одновременного смешения всех компонентов), то времени технологического воздействия, составляющего 2.5 часа, необходимого для набухания и частичного растворения резиновой крошки, явно недостаточно. Это характеризуют такие показатели как глубина проникания иглы и изменение температуры размягчения после прогрева (фактические значения сопоставимы с численными значениями, характерными для композиционных резинобитумных вяжущих, полученных по второму способу при времени технологического воздействия 1.5-2.0 часа). Обусловлено это, скорее всего, тем, что резиновые частицы набухают и растворяются. прежде всего, за счет легких углеводов, преимущественно ароматической группы, количество которых на единицу объема при приготовлении по первому способу значительно меньше, чем при других представленных способах. Это ведет к необходимости более длительного технологического воздействия на резиновую крошку по первому способу, по сравнению с другими, что, безусловно, негативно скажется на производительности промышленных установок по получению композиционных резинобитумных вяжущих. Кроме того. Известно, что чем более длительное высокотемпературное воздействие на битум оказывается, тем больше он окисляется, а, значит, материалы, полученные на основе него, потенциально будут иметь более низкий срок службы, чем материалы, полученные на основе исходного битума.

2. Если получать композиционное резинобитумное вяжущее в две стадии с предварительным получением концентрированной суспензии резинобитумного композита (второй способ), то при заданном режиме технологического воздействия вяжущее обладает наилучшими физико-химическими свойствами. Увеличение числа стадий введения резиновой крошки в процессе получения концентрированной суспензии резинобитумного композита (способ 3 относительно способа 2 или способ 5 относительно способа 4) ведет к ухудшению

свойств конечного продукта (падают значения глубины проникания иглы, температуры размягчения по кольцу и шару, возрастает показатель изменения температуры размягчения после прогрева). Обусловлено это, вероятно, тем, что часть резиновой крошки, которая была введена в первую очередь, достаточно хорошо набухает и растворяется, в то время как пластификация и растворение резиновой крошки, введенной позже, проходит в меньшем объеме. Важно отметить, что все способы, кроме первого, подразумевают длительное высокотемпературное воздействие лишь на 20-30 % битума от всего его объема, содержащегося в композиционном резинобитумном вяжущем. То есть с точки зрения негативного процесса окисления вяжущего двухстадийный способ является более “щадящим”, чем одностадийный.

3. Увеличение объема резиновой крошки в концентрированной суспензии резинобитумного композита (способы 4 и 5 относительно способов 2 и 3) в целом не ведет к изменению физико-химических свойств композиционных резинобитумных вяжущих (за исключением глубины проникания иглы при температуре 25°C), однако с технологической точки зрения менее предпочтительно, так как резиновые частицы плохо смачиваются, особенно на первых этапах, и слипаются.

Список литературы

1. Abdulwarith B., Norhidayah H., Hanif M., Jahangir M. Effects of mixture design variables on rubber-bitumen interaction: properties of dry mixed rubberized asphalt mixture // *Materials and Structures*. – 2016. – P. 97-103.

2. Mull M. A., Stuart K., Yehia A. Fracture resistance characterization of chemically modified crumb rubber asphalt pavement // *Journal of Materials Science*. – 2002. – Vol. 37. – P. 557-566.

3. Kim H., Lee S., Amirkhanian S., Rheology investigation of crumb rubber modified asphalt binders // *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2010. – Vol. 14. – P. 839-843.

4. Morrison G. R., Hesp S. A. M. A new look at rubber-modified asphalt binders // *Journal of Materials Science*. – 1995. Vol. 30. – P. 2584-2590.

5. Chuan X., Tianqing L., Yanjun Q., Optimization of technical measures for improving high-temperature performance of asphalt-rubber mixture // *Journal of Modern Transportation*. – 2013. Vol. 21. – P. 273-280.

6. Shakir S., Jorge P., Manuel M., Asphalt Rubber Interlayer Benefits in Minimizing Reflective Cracking of Overlays over Rigid Pavements // *7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements*. – 2012. Vol. 4. – P. 1157-1167.

7. Tao M., Yongli Z., Xiaoming H., Yao Z., Characteristics of desulfurized rubber asphalt and mixture // *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2016. Vol. 20. – P. 1347-1355.

8. Hicks R.G., Cheng D., Duffy T., Evaluation of Terminal Blend Rubberized Asphalt in Paving Applications // *Clifornia Pavement Preservation Center*. – 2010. – P. 115-117

9. Zhu H., Liu C., Tom K., Norasit T., Crumb rubber blends in noise absorption study // *Materials and Structures*. – 2008. Vol. 41. – P. 383-390.
10. Juan G., Ana A., Felice G., Black curves and creep behaviour of crumb rubber modified binders containing warm mix asphalt additives // *Mechanics of Time-Dependent Materials*. – 2016. Vol. 20. – P. 389-403.
11. Г. И. Горшенина, Н. В. Михайлов. Полимер-битумные изоляционные материалы. – Москва: НЕДРА. 1967. – 235 с.
12. И. М. Руденская, А. В. Руденский. Органические вяжущие для дорожного строительства. – Москва: Транспорт. 1984. – 226 с.
13. Патент РФ # 2006145263/04. 19.12.2006. Мастика резинобитумная // Патент России # 2323231 С1. кл. C08L19/00. Бюл. # 12. / Корнейчук Г. К., Дзюбанов С. П., Реутов В. А., Стибло Г. К.
14. Афиногенов. О. П. Оценка свойств модифицированных вяжущих и асфальтобетонов на из основе / О. П. Афиногенов, Д. З. Молодых. // *Техника и технологии дорожного хозяйства*. – 2015. – 2. – С. 1-27.
15. Шилакадзе. Т. А. Резино-асфальтобетон в Грузии / Т. А. Шилакадзе. Е. А, Суренян. // *Автомобильные дороги*. – 1965. – # 9. – С. 12-14.
16. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Filippov S. E., Zarovnyaev B. N., Davydova M. L. Rubber-modified bitumen materials for open-pit enterprises // *International Polymer Science and Technology*. 2015. Vol. 42. Issue 9. Pp. 27-29.
17. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Zarovnyaev B. N., Akishev A. N. Prospects for modified bitumen in construction of semi-steep pit roads // *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)* – 2016. – Issue 3. – Pp. 47-49.