

УДК 625.855

**МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ВСПЕНЕННЫХ БИТУМОВ***канд. техн. наук, доцент А.А. ЕРМАК, В.Л. ЧЕРНЯК*

*Рассмотрено применение вспененных битумов при получении асфальтобетонных смесей. Приведена классификация способов вспенивания битумов. Проанализированы основные свойства битумной пены – устойчивость, кратность, дисперсность, паросодержание, плотность, индекс вспенивания, вязкость, адгезия к минеральным материалам.*

Одним из методов повышения показателей качества и снижения затрат при производстве битумно-минеральных композиций является применение технологии получения материалов с использованием вспененных битумов. Данный метод известен с 30-х годов XX века. Однако в течение длительного времени процесс вспенивания битума при его нагреве до температур выше 100 °С рассматривался как негативный в производстве асфальтобетонных смесей, поскольку приводил к аварийным пожароопасным ситуациям, нарушениям норм и правил охраны труда, сопровождался дополнительными энергетическими затратами и перерасходом вяжущего.

С начала 90-х годов начали проводиться широкие экспериментальные и теоретические исследования по обоснованию рациональных путей и способов использования битумов во вспененном состоянии в процессе приготовления асфальтобетонных смесей. По существу, стала создаваться новая технология – технология приготовления асфальтобетонных смесей с использованием вспененных битумов, обеспечивающая сбережение энергии, материалов и уменьшение нагрузки на окружающую среду. По сравнению с традиционной технологией, это достигается в результате снижения температуры смешивания компонентов и термического разложения вяжущего.

Под вспененным битумом «битумной пеной» понимается ячеечно-плёночная полидисперсная система, в которой дисперсной фазой является газ (воздух, пар), а дисперсионной средой – битум. В такой системе общий объём дисперсной фазы превышает 50 %, а объём битума при его насыщении газом увеличивается в 2 и более раз по сравнению с первоначальным. Вспененные битумы характеризуются малой вязкостью, большой поверхностной энергией, высокой активностью к взаимодействию с поверхностью минеральных материалов, благодаря чему существенно облегчается процесс перемешивания смеси. Происходит более равномерное и полное распределение вяжущего в её объёме. За счёт протекания этих процессов, а также в результате перераспределения групповых соединений в объёме битума при его вспенивании, возможно снижение расхода вяжущего, существенное повышение производительности смесительного оборудования, снижение максимальной температуры нагрева исходных компонентов, что даёт основание рассматривать данную технологию как энерго- и материалосберегающую.

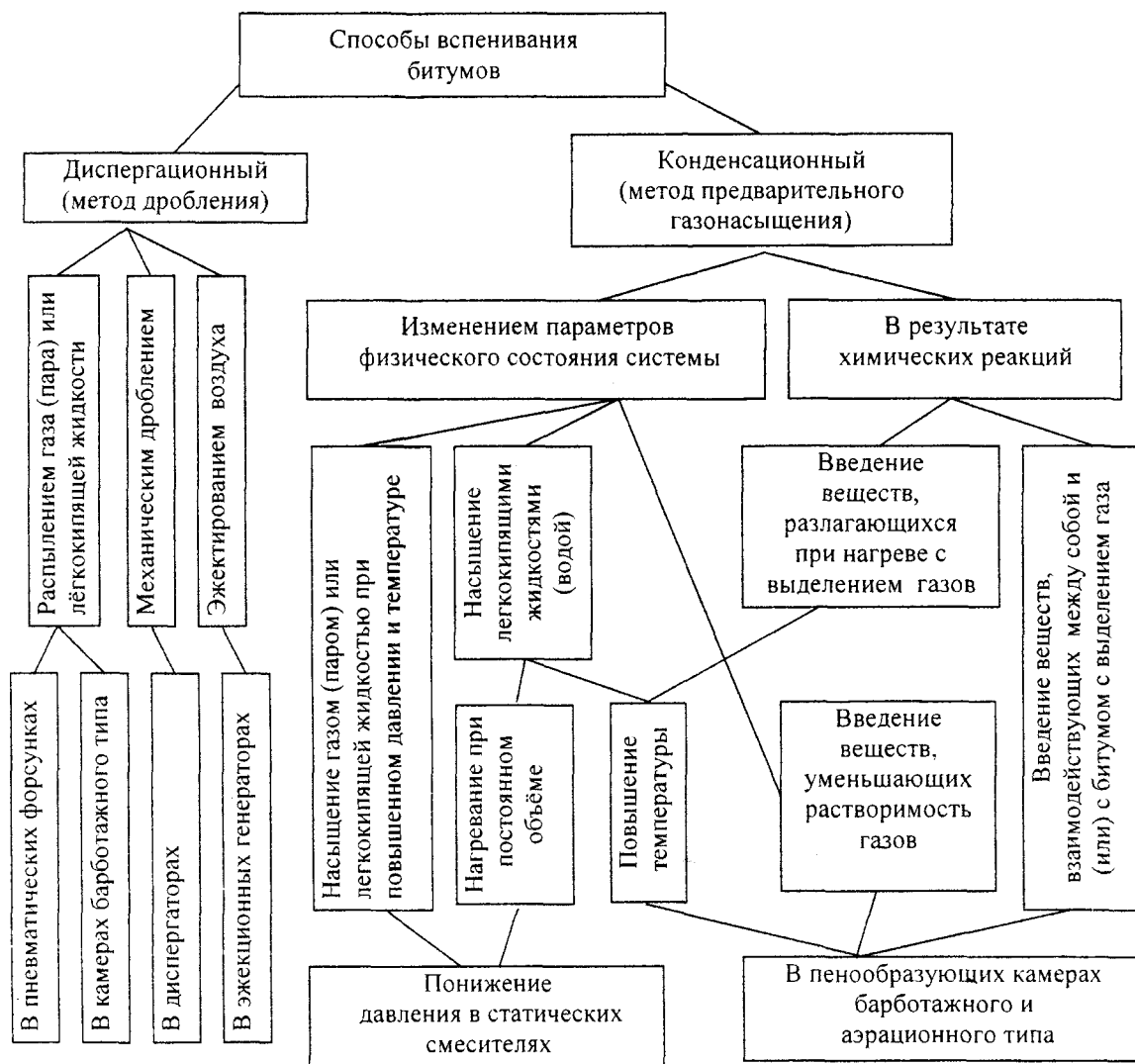
Образованию тонких битумных плёнок на минеральной поверхности предшествует ее смачивание битумом, величина которого определяется главным образом природой минерального материала и молекулярно-поверхностными свойствами битума – его поверхностным натяжением. Появлению тонких плёнок битума при традиционной технологии приготовления асфальтобетонных смесей способствует повышение температуры, введение пластификаторов, увеличение длительности перемешивания смеси, что ведёт к повышению энергозатрат, снижению производительности и, в ряде случаев, ухудшению физико-механических характеристик получаемого материала. При этом наиболее эффективным является способ, предусматривающий снижение поверхностного натяжения битума, что легко можно обеспечить переводом битума во вспененное состояние.

Процесс образования битумной пены можно разделить на три основные стадии:

1. Равномерное распределение зародышей полярной фазы (воды, насыщенного водяного пара и пр.) в объёме битума.
2. Рост газовых включений полярной фазы (увеличение их объёма).
3. Диффузия молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ) из глубины битума к межфазной поверхности и образование на ней адсорбционного слоя.

Поверхностно-активные вещества в битуме представлены, главным образом, асфальтенами, асфальтогеновыми и карбоновыми кислотами и их ангидридами. Данные вещества относятся к анионно-активным ПАВ. В соответствии с правилом Траубе [1], адсорбция ПАВ на границе раздела фаз будет тем выше, чем больше их молярная масса. Следовательно, на поверхности пенных плёнок будут преобладать асфальтены, как наиболее высокомолекулярные соединения битума.

Вспенивание битумов может осуществляться диспергационными, конденсационными методами, а также при помощи различных вспенивающих добавок. На рисунке приведена классификация способов вспенивания битумов, в основу которой положены различия условий взаимодействия битума с газом (воздухом, паром) и причины их вызывающие.



Классификация способов вспенивания битумов

Диспергационный способ основан на совместном добавлении и распределении (диспергировании) воздуха (газа) и пенообразующих добавок в жидком горячем битуме. Технологически этот способ может быть реализован путём распыления битума газом (паром) или легкокипящей жидкостью (водой), механическим дроблением битума с помощью устройств, движущихся в атмосфере газа, или эжектированием воздуха движущейся струей битума в специальных устройствах.

Конденсационный способ предполагает предварительное насыщение битума газом с последующим почти мгновенным его вспениванием за счёт объединения очень мелких газовых пузырьков в более крупные в результате изменения параметров физического состояния системы или химических реакций. Изменить параметры физического состояния смеси битума с газом можно путём снижения давления, повышения температуры или введением веществ, уменьшающих растворимость газов [2].

В качестве вспенивающих добавок могут применяться: вода [3], обводнённые нефтешламы [4], соли, выделяющие при нагревании газы, например, карбонат или гидрокарбонат аммония или натрия, или их растворы [5] и пр.

Рассмотренные способы характеризуются разнообразием и зависимостью от пенопроизводящих устройств. Как правило, применение какого-либо конкретного устройства или метода требует создания новой технологии вспенивания битумов.

Пены характеризуются следующими основными свойствами: устойчивостью – временем самопроизвольного уменьшения столба  $h$  (или объема  $V$ ) пены в два раза  $t_{1/2} = h/2$ , см/с; кратностью; дисперсностью и пр.

Дисперсность пены определяется степенью раздробленности частиц дисперсной фазы (газовых включений). Количественной характеристикой дисперсности битумной пены является степень дисперсности пузырей:

$$\delta = C_n / (2R),$$

где  $R$  – радиус пузыря дисперсной фазы;

$C_n$  – паросодержание в пене.

Степень дисперсности битумной пены равна числу паровых пузырей, которые можно уложить в ряд на участке длиной 1 метр [2]. По этому показателю пены относятся к грубодисперсным системам с размерами частиц дисперсной фазы  $10^{-2} - 10^{-4}$  м и величиной  $\delta = 10^2 - 10^4$  м<sup>-1</sup>. Битумные пены относятся к полидисперсным системам. Поэтому для оценки дисперсности битумных пен можно применять только среднестатистический диаметр (размер) пузырей дисперсной фазы.

Дисперсность битумных пен в значительной степени зависит от температуры, насыщенности пара водой, содержания ПАВ в битуме и, в меньшей степени, – от его вязкости. С уменьшением концентрации ПАВ диаметр паровых пузырей увеличивается. Это связано с увеличением поверхностного натяжения битума на границе с паром. Адсорбируясь на межфазной поверхности, молекулы ПАВ снижают избыточную свободную поверхностную энергию формирующейся дисперсной системы, позволяют получать устойчивую пену.

В результате вспенивания растёт площадь суммарной поверхности раздела фаз «битум-пар» и снижается плотность вязущего. Плотность битумной пены ( $\rho_n$ ) зависит от соотношения объёмов битума и пара и может колебаться от значений близких к нулю до  $0,5\rho_0$  ( $\rho_0$  – плотность битума), т.е. до 500 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность пены связана с её паросодержанием и кратностью. Под кратностью понимается отношение объёма пены ( $V_n$ ) к объёму битума ( $V_0$ ), использующегося для её образования:  $K = (V_n + V_0) / V_0 = \rho_0 / \rho_n$ . Кратность пены связана с содержанием в ней пара следующим образом:  $K = 1 / (1 - C_n)$ .

Кратность битумных пен зависит от температуры исходного битума и содержания в нём воды. С увеличением расхода воды и/или с повышением температуры битума кратность пены возрастает. В работе [6] установлено, что минимальная кратность пены, при которой вспененные битумы эффективно смешиваются с минеральным компонентом, должна быть не менее 4.

На кратность пены оказывает влияние групповой состав битумов. Зависимость кратности битумной пены от содержания асфальтенов в исходном битуме представляет собой параболу. При температуре 150 °С и расходе воды 2,5 % масс.  $K = 8,71 + 0,233 \cdot A - 0,000781 \cdot A^2 = 10 \div 18$ , где  $A$  – содержание асфальтенов (9 – 50) % масс. [2].

В качестве показателя, характеризующего «вспениваемость» битума, используется «Индекс вспенивания» (Foam Index или FI), определяемый расчётным методом по формуле [6]:

$$FI = \frac{-\tau_{1/2}}{\ln 2} \left( 4 - K - 4 \ln \left( \frac{4}{K} \right) \right) + \left( \frac{1+c}{2c} \right) \cdot K \cdot t_s.$$

Согласно рекомендациям фирм, использующих вспененные битумы в дорожном строительстве [6], индекс вспенивания должен быть не менее 94,5. При этом максимальная кратность ( $K$ ) образующейся пены не менее 10 ед., а время полураспада ( $\tau_{1/2}$ ) не менее 12 с. Индекс вспенивания содержит коэффициент  $c = K/K_a$ , учитывающий распад пены в течение распыления воды или пара ( $t_s$ , с), где  $K_a$  – действительная кратность пены. Отношение действительной ( $K_a$ ) и измеренной ( $K$ ) кратности пены в зависимости от продолжительности распыления воды или пара представлено в таблице.

Отношение действительной ( $K_a$ ) и измеренной ( $K$ ) кратности пены [6]

Время распыления $t_s$ , с	$K$	$K_a$				
		$\tau_{1/2} = 2$ , с	$\tau_{1/2} = 5$ , с	$\tau_{1/2} = 15$ , с	$\tau_{1/2} = 30$ , с	$\tau_{1/2} = 60$ , с
1	5	6,02	5,39	5,13	5,06	5,03
	15	18,05	16,17	15,38	15,19	15,10
	25	30,05	26,95	25,64	25,32	25,15
5	5	11,50	7,20	5,66	5,30	5,20
	15	34,40	21,48	16,98	16,00	15,50
	25	57,20	35,80	28,30	26,60	25,80
10	5	21,34	9,88	6,38	5,66	5,33
	15	63,98	29,64	19,14	16,98	15,97
	25	106,63	49,39	31,89	28,30	16,61

От кратности битумных пен зависит их вязкость. Вязкость пены обусловлена её сопротивлением перемещению в ней паровых пузырей относительно друг друга. С увеличением кратности вязкость пены при постоянной температуре возрастает. Зависимость вязкости от кратности при 150 °С имеет следующий вид:  $\eta = 0,061 + 0,01495K - 0,0004306K^2$ . Вязкость битумных пен при  $K = 8 - 16$  ед. равна  $\eta = 0,15 - 0,19$  Па·с [2].

Измерить вязкость битумных пен путём прямых испытаний чрезвычайно сложно ввиду их высокой температуры, кратности, непрозрачности и относительно короткого времени существования. Вязкость пен чаще всего определяют косвенным методом с помощью измерения усилия, необходимого для извлечения из пены шара известной массы и размеров за конкретный отрезок времени и последующего сравнения полученных данных с результатами аналогичных испытаний жидкого битума или масла, вязкость которого известна заранее. Сопротивление шару будут оказывать тангенциальные силы, вызывающие сдвиг слоёв битума, распределённого в плёнках между пузырями, т.е. силы обуславливающие вязкость битумной пены.

Сцепление вспененных битумов с минеральной поверхностью рассчитывается методом адсорбции красителя – метиленового голубого или метиленового синего [1]. Перед испытанием битумно-минеральные смеси подвергают кипячению и/или длительному выдерживанию в воде при комнатной температуре. Площадь поверхности минеральных материалов, покрытая битумом, после воздействия на них воды, находят по уравнению:

$$S = 1 - q_2/q_1,$$

где  $q_1$  и  $q_2$  – адсорбция красителя поверхностью соответственно исходного минерального материала и материала, обработанного вспененным битумом.

При этом величину адсорбции рассчитывают по формуле:

$$q = (C_1 - C_2) \cdot V/m,$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – исходная и равновесная, установившаяся по калориметру, концентрация красителя, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объём раствора красителя, м<sup>3</sup>;

$m$  – масса навески испытуемого материала, кг.

Во вспененном битуме адсорбционный слой на границе раздела фаз «битум – пар», в соответствии с правилом Траубе, насыщен асфальтенами, как наиболее высокомолекулярными соединениями, содержащимися в битуме. Благодаря концентрации асфальтенов на поверхности битумных пленок адгезия вспененного битума с минеральной поверхностью при прочих равных условиях всегда будет выше адгезии того же битума, не подвергнутого предварительному вспениванию.

Применение вспененного битума обеспечивает более качественную обработку минеральной смеси и более прочное закрепление вяжущего на поверхности минеральных материалов. По-видимому, усилия, возникающие в пене при контакте с минеральной поверхностью и последующем распаде, значительно раньше, чем в случае использования обычного битума становятся соизмеримыми и начинают превышать силы адгезии мелкодисперсных частиц к поверхности крупного заполнителя. При этом битум, выделяющийся при распаде ближайшего слоя пены, смачивает поверхность минеральных зерен тонким слоем [2], что способствует улучшению физико-механических показателей асфальтобетона, приготовленного на вспененном битуме, по сравнению с асфальтобетоном, приготовленным на вязком битуме и с использованием катионоактивных ПАВ.

Таким образом, вспенивание битума можно рассматривать как способ повышения его активности к взаимодействию с поверхностью минерального материала, направленного использования поверхностно-активных веществ, которые имеются в битуме. Этот способ может обеспечить более высокую адгезию битума с минеральной поверхностью при меньшей длительности перемешивания смеси и более низкой температуре. Все вышеперечисленное позволяет рассматривать технологию вспенивания битума, как наиболее экономичный и ресурсосберегающий способ производства битумо-минеральных смесей для строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М., 1973. – 264 с.
2. Баринев Е.Н. Основы теории и технологии применения асфальтобетонов на вспененных битумах. – Л.: ЛГУ, 1990. – 175 с.
3. Патент 5827360, US, МПК C09D195/00; B05B007/24, Method and equipment for producing foam bitumen.
4. Патент 96119615, RU, МПК C04B26/26. Способ приготовления асфальтобетонной смеси.
5. Патент 2083643, RU, МПК C10L5/22, C04B26/26. Способ приготовления смеси измельченного минерального материала с битумным вяжущим.
6. K.J. Jenkins, M.F.C. van de Ven, JLA de Groot. Characterization of foamed bitumen. 7<sup>th</sup> Conference on asphalt pavements for Southern Africa, 1999. – P. 18.