

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВСПЕНИВАЮЩЕГО ЭФФЕКТА БИТУМА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

## TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION OF APPLICATION OF FOAMING EFFECT FROM BITUMEN IN PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE MIX

**Е. М. Жуковский,**  
преподаватель-стажер  
кафедры «Автомобильные  
дороги» Белорусского  
национального технического  
университета,  
г. Минск, Беларусь

**Д. Г. Игошкин,**  
начальник лаборатории  
республиканского дочернего  
унитарного предприятия  
«Белорусский дорожный  
научно-исследовательский  
институт «БелдорНИИ»,  
г. Минск, Беларусь

**С. Е. Кравченко,**  
кандидат технических наук,  
доцент, декан факультета  
транспортных коммуникаций  
Белорусского национального  
технического университета,  
г. Минск, Беларусь

*В статье отмечается, что приготовление асфальтобетонной смеси для строительства и ремонта автомобильных дорог является наиболее энергоемким процессом и, соответственно, определяющим фактором стоимости производства указанных дорожно-строительных работ в целом. При этом самая энергозатратная технологическая операция – технологическая обработка в сушильном барабане минерального материала, заключающаяся в удалении влаги с его поверхности и последующем нагреве до температур выше 200 °С. Снижению стоимости асфальтобетонной смеси может способствовать учет и использование физических эффектов, проявляющихся на различных этапах ее приготовления. Так, при технологической обработке минерального материала в сушильном барабане проявляются пиро-, пьезо- и трибозффекты, учет которых позволит повысить качественные характеристики выходящего минерального материала.*

*Наиболее широко рассмотрена возможность применения вспенивающего эффекта битума при производстве асфальтобетонной смеси, а также свойства вспененных битумов. Проанализированы энергозатраты при производстве асфальтобетонных смесей по традиционной технологии и технологии с применением вспенивающего эффекта битума. Представлены результаты испытаний асфальтобетонов, приготовленных по традиционной технологии и по технологии с использованием вспенивающего эффекта битума.*

*Показано, что асфальтобетон на вспененном битуме обладает несколько лучшими прочностными свойствами, чем обычный асфальтобетон. Причем наибольшая прочность смеси достигается при содержании битума 6,0 % от массы минеральных материалов при приготовлении по традиционной технологии, и 5,4 % – при использовании вспенивающего эффекта. Это позволяет сделать вывод, что технология приготовления асфальтобетонной смеси с использованием вспенивающего эффекта битума позволяет получить асфальтобетонные смеси с улучшенными свойствами по сравнению с традиционной технологией даже при более низком содержании вяжущего.*

*Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, энергозатраты, вспенивающий эффект битума, минеральный материал, прочностные свойства.*

*The article notes that preparation of asphalt concrete mix for construction and repair of motor roads is the most energy-consuming process and, respectively, the determining factor for the cost of implementation of these road construction works as a whole. Here, the most energy-consuming technological operation is "the technological treatment of mineral material in a drum dryer that includes moisture removal from the material surface followed by heating up to temperatures over 200 °C. Reduction of cost of asphalt concrete mix can be facilitated by consideration and making use of physical effects emerging at various stages of mix preparation. For example, during the technological treatment of mineral material in a drum dryer, pyro-, piezo- and triboeffects arise, and taking these effects into consideration will make it possible to improve qualitative characteristics of mineral product output.*

*The most extensive consideration is given to the opportunity to use the foaming effect of bitumen in production of asphalt concrete mix and the properties of foamed bitumens. The energy expenditures in production of asphalt concrete mixes are analyzed for the standard technology and for the technology using the foaming effect of bitumen. The results of tests are given for asphalt concretes made according to the standard technology and for the technology using the foaming effect of bitumen.*

*It is demonstrated that foamed-bitumen asphalt concrete has marginally better strength properties than standard asphalt concrete. Here, the highest mix strength is reached with the bitumen content 6.0 % of the weight of mineral materials if the standard technology is used for mix preparation, and 5.4 %, if the foaming effect is used. So, the conclusion can be made that the technology of asphalt concrete mix preparation using the foaming effect of bitumen makes it possible to produce asphalt concrete mixes with improved characteristics as compared with the standard technology, even with lower binder content.*

*Keywords: asphalt concrete mix, energy expenditures, foaming effect of bitumen, mineral material, strength properties.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Приготовление асфальтобетонной смеси для строительства и ремонта автомобильных дорог является наиболее энергоемким процессом и, соответственно, определяющим фактором стоимости производства указанных дорожно-строительных работ в целом. При этом самая энергозатратная технологическая операция – технологическая обработка в сушильном барабане минерального материала, заключающаяся в удалении влаги с его поверхности и после-

дующем нагреве до температур выше 200 °С. Снижению стоимости асфальтобетонной смеси может способствовать учет и использование физических эффектов, проявляющихся на различных этапах ее приготовления. Так, при технологической обработке минерального материала в сушильном барабане проявляются пиро-, пьезо- и трибоэффекты, учет которых позволит повысить качественные характеристики выходящего минерального материала.

Заслуживает особого внимания такая технологическая операция как перемешивание компонентов асфальтобетонной смеси в смесителе, в процессе которой возможна реализация эффекта вспенивания части битума при его контакте с влажной поверхностью части минерального материала. Реализация указанного эффекта позволит как улучшить качественные показатели асфальтобетонной смеси, так и снизить стоимость ее приготовления за счет снижения количества применяемого битума.

## **СПОСОБЫ ВСПЕНИВАНИЯ БИТУМОВ**

Вспененные битумы представляют собой дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются воздух и водяной пар. Вспенивание битума происходит при взаимодействии горячего битума с водой или водяным паром, что сопровождается увеличением суммарной величины поверхности раздела «битум – газ», что приводит к росту свободной энергии системы и, соответственно, к повышению смачивающей и адгезионной способности вспененного битума.

Вспененный битум характеризуется следующими свойствами:

- степень (кратность) вспенивания – отношение объема битума во вспененном состоянии к первоначальному;
- дисперсность – определяется средним диаметром преобладающей массы пузырьков и содержанием пузырьков различных размеров;
- стабильность – способность вяжущего сохранять свой объем во времени;
- вязкость – характеризует консистенцию вяжущего;
- смачивающая и адгезионная способность.

Одним из важных свойств вспененного битума является подвижность, которая определяется степенью вспенивания и дисперсностью, которые в свою очередь определяют условную вязкость битума. Смачивающая и адгезионная способность зависит от всех вышеуказанных свойств [1].

Основной целью вспенивания битума является создание высокоподвижной асфальтобетонной смеси с хорошо развитой поверхностью контакта между вяжущим и минеральным материалом.

Таким образом, вспенивание битума во многом схоже с тонким распылением вяжущего.

Так как любая дисперсная система может быть получена методами диспергирования или конденсации, то и вспененный битум можно получить этими методами при насыщении вяжущего воздухом, водяным паром и другими газами горячим или холодным способом.

При диспергационном способе вспенивание достигается путем продувания газа через битум в жидком состоянии. Вспенивание возможно также путем непосредственного обогащения битума газом при интенсивном перемешивании, взбивании, эжективировании. В настоящее время наибольшее распространение получил способ распыления битума паром в специальных форсунках.

При конденсационном методе в битум вводятся вещества, которые при изменении давления, температуры или химической среды способны обеспечить интенсивное газовыделение. Для реализации этого способа в вяжущее заблаговременно может вводиться расчетное количество воды под давлением.

В сравнении с рассмотренными способами вспенивания битума предлагаемый способ значительно эффективнее за счет меньшей энергозатратности: не требуется специальное оборудование.

#### АНАЛИЗ ЭНЕГОЗАТРАТ ПРИ ТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

При традиционной технологии для получения готовой асфальтобетонной смеси необходимо нагреть и высушить холодный влажный песок и щебень до рабочей температуры, равной 160 С – 175 С [2]. Это осуществляется в сушильных барабанах за счет сжигания топлива. При этом только 40 % от энергии сжигаемого топлива идет на нагрев минеральных материалов, а 30 % на удаление влаги.

Количество теплоты, для случая открытого объема, требующееся для нагревания минеральных материалов до рабочей температуры складывается из суммы количества теплоты, необходимого на нагрев каменного материала ( $Q_1$ ), на нагрев воды до температуры кипения ( $Q_2$ ), и количества теплоты, необходимого для испарения воды ( $Q_3$ ).

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (1)$$

$$Q_1 = c_1 m_1 \Delta t_1, \quad (2)$$

где  $c_1$  – удельная теплоемкость каменного материала;  
 $m_1$  – масса каменного материала;  
 $\Delta t_1$  – температура, до которой нагревается каменный материал.

$$Q_2 = c_2 m_2 \Delta t_2, \quad (3)$$

где  $c_2$  – удельная теплоемкость воды;  
 $m_2$  – масса воды;  
 $\Delta t_2$  – температура, до которой нагревается вода.

$$Q_3 = m_2 r, \quad (4)$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования.

Если принять начальную температуру минерального материала 20 С с влажностью 4 %, то количество теплоты, необходимое для нагрева одной тонны, будет равно

$$Q = 1000 \cdot 0,765 \cdot 10^3 \cdot 155 + 4187 \cdot 40 \cdot 80 + 40 \cdot 2,28 \cdot 10^6 = 223 \text{ МДж.}$$

Также большое количество энергии затрачивается на нагрев, обезвоживание и поддержание рабочей температуры вяжущего, равной 130 С–150 С. Так согласно [3], для нагрева 1 т битума до данной температуры, необходимо затратить порядка 100–110 МДж энергии.

Таким образом, при содержании в данной смеси 6 % битума энергозатраты на его нагрев и обезвоживание составят порядка 6 МДж.

Тогда суммарные энергозатраты на производство 1 т смеси будут 229 МДж.

Учитывая, что КПД газового оборудования не превышает 0,9, сушильного барабана 0,8, а объемная теплота сгорания природного газа в среднем составляет 31–38 МДж/м<sup>3</sup>, получим, что для нагрева и сушки минерального материала требуемое количество природного газа составит

$$V = 223 / (0,9 \cdot 0,8 \cdot 35) = 8,8 \text{ м}^3.$$

#### АНАЛИЗ ЗАТРАТ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВСПЕНИВАЮЩЕГО ЭФФЕКТА БИТУМА

Для реализации вспенивающего эффекта битума предлагается использовать воду, содержащуюся в песке при естественной влажности. В этом случае нагреву в сушильном барабане подвергается щебень и часть песка. Тогда при смешении горячего и холодного минерального материала в смеси теплота испаряющаяся с поверхности последнего, вызовет вспенивание некоторой части битума.

Однако при этом минеральные материалы необходимо нагреть до большей температуры, чем при традиционной технологии. Ориентировочно температуру нагрева можно определить из уравнения теплового баланса (1).

Очевидно, что температура нагрева смеси, состоящей из крупного заполнителя и части песка, подвергаемых сушке, зависит от влажности исходных компонентов и их соотношения в смеси. Контроль температуры нагрева смеси [4], является

существенным фактором, поскольку из-за температурных напряжений, возникающих в результате нагрева, в частности, щебень теряет свою прочность, что проявляется в увеличении его дробимости (рис. 1).

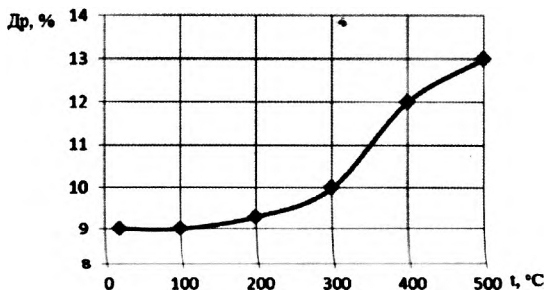


Рисунок 1 – Зависимость дробимости ( $D_p$ ) гранитного щебня от температуры нагрева ( $t$ )

Проанализируем энергозатраты, необходимые для приготовления 1 т смеси. Запроектирована смесь, которая состоит из 55 % щебня, 34 % песка, 11 % минерального порошка и содержит 5,4 % битума от массы минерального материала. Нагреву подвергнем весь щебень и песок, который остался на сите 2,5. Это составляет 60 % от веса минерального материала и равно 0,6 т. Таким образом, согласно (1), температура нагрева каменных материалов должна составлять около 295 °C. Согласно рисунку 1, при данной температуре марка щебня по дробимости составляет 1400, что позволяет использовать данный щебень для приготовления смеси типа Б по СТБ 1033 [4].

Таким образом, согласно (1), количество теплоты, необходимое на нагрев и сушку материала по данной технологии составляет:

$$Q = 600 \cdot 0,765 \cdot 10^3 \cdot 275 + 4187 \cdot 24 \cdot 80 + 24 \cdot 2,28 \cdot 10^6 = 189 \text{ МДж.}$$

Также необходимо затратить порядка 5 МДж на нагрев и обезвоживание битума, и тогда суммарные затраты составят 194 МДж.

На нагрев минерального материала для приготовления данной смеси необходимо затратить природного газа в количестве:

$$V = 189 / (0,9 \cdot 0,8 \cdot 35) = 7,5 \text{ м}^3.$$

Таким образом, анализ энергозатрат показывает, что для подготовки материалов по данной технологии необходимо затратить около 189 МДж энергии, что в 1,2 раза меньше, чем в предыдущем случае. Также для подготовки минеральных материалов, необходимых для приготовления 1 т смеси при использовании вспенивающего эффекта би-

тума, сокращается расход природного газа на 1 м<sup>3</sup> на 1 тонну смеси.

Использование данной технологии позволяет снизить энергозатраты при производстве асфальтобетонной смеси и повысить ее качество за счет повышения смачивающей и адгезионной способности вспененного битума.

### ИСПЫТАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ ПО ТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ПО ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСПЕНИВАЮЩЕГО ЭФФЕКТА БИТУМА

Была запроектирована асфальтобетонная смесь типа Б по СТБ 1033 [4] следующего состава: щебень фр. 10–20 мм – 15 %, щебень фр. 5–10 мм – 40 %, песок – 34 %, минеральный порошок – 11 %.

По традиционной технологии были изготовлены три смеси с содержанием битума от 5,5 % до 6,5 %, с шагом 0,5 %, от массы минеральной части.

При приготовлении смеси с использованием вспенивающего эффекта битума его содержание было уменьшено на 11 %. Таким образом, были изготовлены смеси с битумом в количестве 4,9 %, 5,4 % и 5,8 %.

Из полученных смесей были сформованы образцы и испытаны на сжатие при 20 °C и 50 °C, на растяжение при расколе при 0 °C, а также на водонасыщение. Результаты испытаний представлены на рисунке 2.

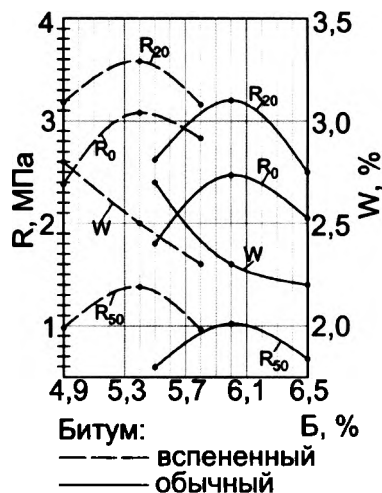


Рисунок 2 – Зависимость показателей физико-механических свойств асфальтобетона от содержания битума

По данным графикам можно видеть, что асфальтобетон на вспененном битуме (рис. 3) обладает несколькими лучшими прочностными свойствами, чем обычный асфальтобетон (рис. 4). Причем наиболь-

шая прочность достигается при содержании битума в количестве 6,0 % от массы минеральных материалов при традиционной технологии, и 5,4 % – при использовании вспенивающего эффекта битума.

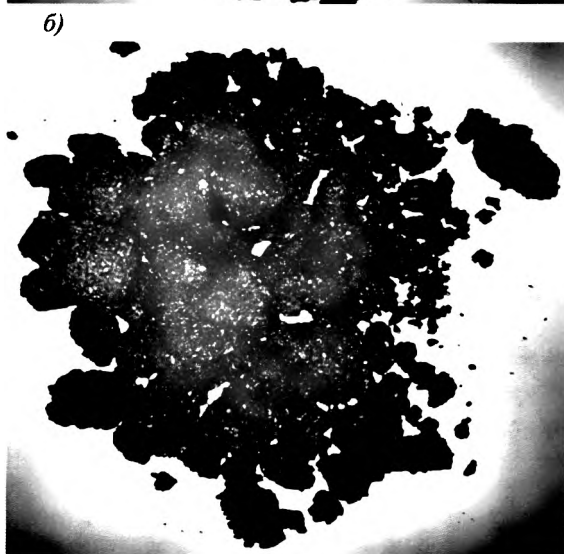
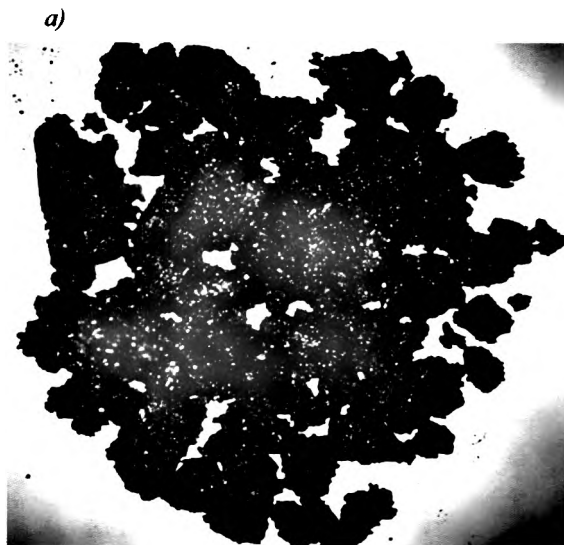


**Рисунок 3 – Асфальтобетонный образец, приготовленный по технологии с использованием вспенивающего эффекта битума (содержание битума 5,4 %)**



**Рисунок 4 – Асфальтобетонный образец, приготовленный по традиционной технологии (содержание битума 6,0 %)**

Асфальтобетонная смесь с оптимальным содержанием битума, приготовленная с использованием вспенивающего эффекта битума, кроме испытаний на прочность и водонасыщение, была подвергнута испытанию на сцепление минеральной части с битумом. Данная смесь прошла испытание на сцепление (рис. 5).



**Рисунок 5 – Определение сцепления вяжущего с минеральной частью:  
а – контрольная смесь (до кипячения);  
б – смесь после кипячения**

Таким образом, технология приготовления асфальтобетонной смеси с использованием вспенивающего эффекта битума позволяет получить асфальтобетонные смеси с улучшенными свойствами по сравнению с традиционной технологией даже при меньшем содержании вяжущего.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложенный способ использования вспенивающего эффекта битума при приготовления асфальтобетонной смеси не требует специального оборудования. Кроме того, он позволяет снизить содержание вяжущего на 8 %–10 % и при этом получать асфальтобетонные смеси с улучшенными физико-механическими свойствами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Першин, М. Н. Вспененные битумы в дорожном строительстве / М. Н. Першин, Е. Н. Баринов, Г. В. Корневский. – М. : Транспорт, 1989. – 80 с.
2. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2013. – Введ. 31.10.2013. – Минск : Госстандарт, 2013.
3. Руденский, А. В. Анализ энергозатрат – объективный критерий технической эффективности решений по строительству и ремонту дорожных асфальтобетонных покрытий / А. В. Руденский // Дороги России XXI века. – 2005. – № 4. – С. 52–61.
4. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2016. – Введ. 27.01.2016. – Минск : Госстандарт, 2016.

## SPISOK ISPOL'ZOVANNOJ LITERATURY

1. Pershin, M. N. Vspenenny'e bitumy' v dorozhnom stroitel'stve / M. N. Pershin, E. N. Barinov, G. V. Korenevskij. – M. : Transport, 1989. – 80 s.
2. Smesi asfal'tobetonny'e dorozhny'e, ae'rodromny'e i asfal'tobeton. Metody' ispytanij : STB 1115-2013. – Vved. 31.10.2013. – Minsk : Gosstandart, 2013.
3. Rudenskij, A. V. Analiz e'nergozatrata – ob'yektivny'j kriterij texniceskoj e'ffektivnosti reshenij po stroitel'stvu i remontu dorozhny'x asfal'tobetonny'x pokrytij / A. V. Rudenskij // Dorogi Rossii XXI veka. – 2005. – № 4. – S. 52–61.
4. Smesi asfal'tobetonny'e dorozhny'e, ae'rodromny'e i asfal'tobeton. Texniceskie usloviya : STB 1033-2016. – Vved. 27.01.2016. – Minsk : Gosstandart, 2016.

*Статья поступила в редакцию 20.06.2019.*