

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-106-114

Савичев А.О., Шаранов Р.Р., \*Агарков А.М.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

\*E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСПЕНИВАНИЯ БИТУМА В СМЕСИТЕЛЕ

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные способы экономии материальных, трудовых, финансовых ресурсов при производстве асфальтобетонных смесей. Показано, что перспективным способом экономии энергии и снижения вредного воздействия на окружающую природную среду является снижение температуры битума. Предложена конструкция пеногенератора, позволяющая эффективно перемешивать битум с образовавшимся паром. Для описания реологии в статье используется модель степенной жидкости Оствальда де Вейля. Получено выражение для функции тока, дает возможность найти характеристики течения несущей фазы в смесителе, учитывающие геометрические параметры смесителя, такие как диаметр и длина трубы, радиус шнека, параметры потока на входе в смеситель. Показано, что при одних и тех же условиях течения для получения одинакового расхода в случае псевдопластической жидкости необходимо приложить больший градиент давления по сравнению с Ньютоновской жидкостью. На разработанной лабораторной установке проведены экспериментальные исследования, которые позволяют определить рациональную конструкцию и технические параметры установки вспененного битума, параметры которой в процессе эксперимента изменялись. Получено уравнение регрессии в кодированном виде, выражающее зависимость качества сцепления вспененного битума с инертным материалом в зависимости от конструктивно-технологических параметров разработанного устройства вспенивания битума.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, вспененный битум, пеногенератор, смеситель, качество сцепления.

**Введение.** На современном этапе дорожного строительства значительную практическую ценность представляют технологии производства асфальтобетонных смесей при температурах, вызывающих значительную экономию материальных, трудовых, финансовых ресурсов. При этом также желательно обеспечить минимальное отрицательное воздействие на человека и окружающую среду. Основной задачей при производстве асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве является обеспечение надежности и качества готового продукта с использованием относительно недорогих ресурсов, минимальных затратах и высокой эффективности производства.

Основным вяжущим материалом при производстве асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве является битум. Одним из перспективных направлений экономии битума является применение технологии производства теплых асфальтобетонных смесей. Введение битума с пониженной температурой в процесс смешивания асфальтобетонной смеси позволит понизить температуру асфальта и повысить сцепление с поверхностью щебня. Это позволяет существенно снизить расход энергии и уменьшить вредное влияние на окружающую природную среду.

В настоящее время, когда Российскую Федерацию накрывают волны санкций недружественных государств, в целях импортозамещения идет

активное развитие отечественных технологий и оборудования. При этом необходимо совершенствовать технологию производства теплых асфальтобетонных смесей за счет разработки оборудования для вспенивания битума на российских комплектующих.

Снижение эксплуатационных и энергетических расходов на приготовление асфальтобетонных смесей и снижение нагрузки на экологию в ряду прочих является одной из важнейших задач при дорожном строительстве. Эти факторы вынуждают исследователей искать новые пути решения данных проблем. Их решение возможно за счет совершенствования процесса приготовления асфальтобетонной смеси путем, в частности, механического перемешивания горячего битума с водой в статическом смесителе, что позволит снизить температуру процесса. В связи с чем, весьма актуальной научной проблемой является разработка такого смесителя, обеспечивающего получение качественной смеси.

Основная задача при производстве асфальтобетонных смесей (АБС) – обеспечение надежности и качества готового продукта с использованием недорогих ресурсов, минимальных затратах и высокой эффективности производства [1–4].

Наибольшую практическую ценность представляют технологии производства АБС при тем-

пературах, вызывающих значительную экономию материальных, трудовых, финансовых ресурсов с минимальным отрицательным воздействием на окружающую среду, человека и позволяющую получить высокое качество готового продукта [5, 6].

**Материалы и методы.** В настоящее время укладка горячей асфальтобетонной смеси ведется при температуре не ниже 120 °С.

Несоблюдение температурного режима может привести к температурной сегрегации АБС и впоследствии к недостаточному её уплотнению.

Однако существуют способы уменьшить расход энергии, снизить уровень выброса летучих органических соединений при подготовке АБС, не повлияв на качество ее уплотнения [7].

Сегодня более 50 % энергии, необходимой для производства АБС, расходуется на нагрев и сушку каменных материалов, поддержание требуемой температуры битума. Снижение температуры исходных материалов для производства АБС позволяет получить значительную экономию энергоносителей и существенно сократить выбросы CO<sub>2</sub> (рис. 1).

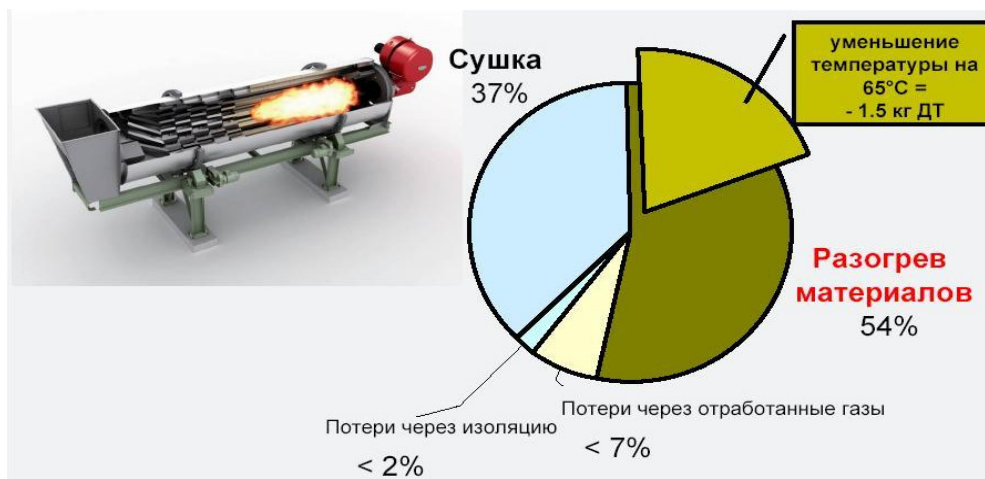


Рис. 1. Круговая диаграмма экономии энергоносителей при снижении температуры разогрева минеральных материалов

Ежегодно в мире производится сотни миллионов тонн тёплой асфальтобетонной смеси. Вспенивание битума водой лежит в основе 60 % всех объемов производства тёплой асфальтобетонной смеси [8–12]. В основу существующего оборудования вспенивания битума непосредственно в асфальтосмесительных установках (АСМУ) ведущих мировых производителей лежит способ подачи в пеногенератор, в поток с дозой горячего битума расчетного количества воды под давлением [13]. При этом вода мгновенно доводится до точки кипения и частично испаряется, в результате чего образуется смесь из водяного пара и битума. Полученная смесь подается в мешалку АСМУ. Мелкие паровые пузырьки, которые исчезают при уплотнении смеси, создают значительную подвижность смеси при её перевозке на большие расстояния.

Вспененный битум образуется при смешивании 2...3 % воды с битумом, нагретым примерно до 180 °С (рис. 2). Вода мгновенно доводится до точки кипения, испаряется и битум охватывает пузырьки водяного пара. Во время вспенивания битум теряет примерно 2 °С на процент распыляемой воды. Полученная смесь подается в смеситель. Образуется пена – то есть вспененный битум. Благодаря вспениванию, вязкость битума будет снижена настолько, что поверхности заполнителя (щебень, песок и минеральный порошок) будут равномерно обволакиваться битумной пленкой заданной толщины, также и при низких температурах. Таким способом можно производить низкотемпературный асфальт, без ухудшения физико-механических свойств теплой асфальтобетонной смеси.

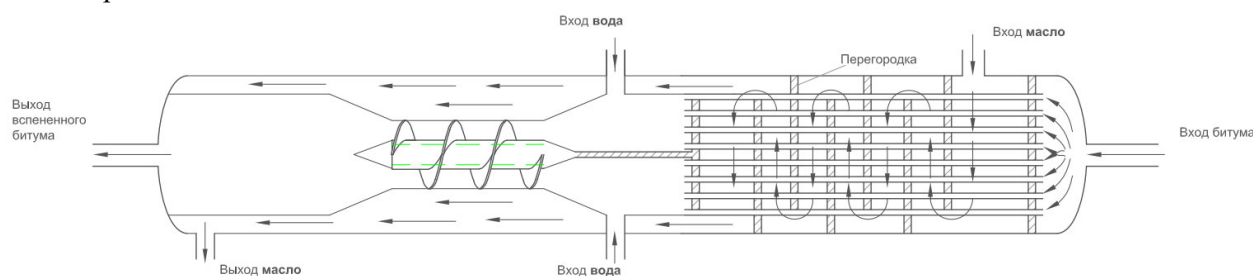


Рис. 2. Конструктивная схема узла вспенивания битума

Установки вспененного битума позволяют производить вспененный битум с различным процентным соотношением битумно-водяной смеси, в зависимости от особенностей асфальтовых материалов и объемов партии согласно рецептуре, и процесс контролируется автоматически. Система управления и контроля за всеми параметрами производственного процесса позволяет оператору быстро реагировать на изменяющиеся условия работы. В случае внештатной ситуации работа всех узлов установки блокируется. Возможна работа в ручном и полуавтоматическом режиме, когда система автоматически отслеживает соотношение битума, воды и различных добавок, позволяя получать асфальтобетоны с регулируемыми свойствами.

**Основная часть.** В работе предлагается исследовать изменение площади поперечного сечения потока трубопровода битума в зоне смешивания с водой, а также исследовать влияние установки специального винтового элемента для образования завихрения и эффективного перемешивания битума с водой. Такие конструктивные изменения оказывают влияние на работу смесительной установки в целом. Для исследования

$$\psi(r, z) = \frac{1}{2}Ur^2 + r\left(\sum_{n=-\infty}^{+\infty}[\sin\left(\frac{\pi n}{L}z\right)(C_n J_1(Kr) + D_n Y_1(Kr)) - \frac{5\Omega^2}{3k^4}G_{3,1}(kr)]\right). \quad (2)$$

Частицы жидкости движутся вдоль линии тока по поверхности, образованной вращением кривой относительно оси симметрии течения. Выражение для функции тока (2) дает возможность найти характеристики течения несущей фазы в смесителе. При этом учитываются геометрические параметры смесителя, такие как диаметр и длина трубы, радиус шнека, параметры потока на входе в смеситель.

Для решения задач транспортировки битума при нестационарной работе перекачивающих насосов требуется эффективный инструментарий для расчета интегральных характеристик при течении битумного вяжущего по трубам.

Будем рассматривать нестационарное движение вязкой несжимаемой жидкости по трубе, сечение которой меняется с расстоянием и временем. Это даст нам возможность применить рассуждения к рассмотрению активного транспорта битума в деформируемых трубах.

Связь между перепадом давления  $\delta p_L$  при  $z = L$  и расходом  $Q$ :

$$\delta p_L = \frac{(3n+1)}{n} \frac{1}{Re} \frac{L}{\pi R^4} Q. \quad (3)$$

На рисунке 3 представлено влияние на параметр  $\delta p_L$  различных значений параметров течения  $n$ , полученных по выражению (3). В данном выражении отмечено, что при  $n = 1$  уравнение

$$\varepsilon = 53 - 13,4X_1 - 3,1X_1^2 + 11,5X_2 + 1,8X_2^2 + 3,1X_3 + 1,1X_3^2 + 2,1X_4 + 2,4X_4^2 + 1,3X_1X_2 + 2,4X_1X_3 + 1,2X_3X_4. \quad (4)$$

этого влияния, а также для разработки алгоритма управления такой установкой нами разработана математическая модель процесса перемещения битума в предложенном смесителе.

В рассматриваемом процессе жидкое битумное вяжущее является гетерогенной (многофазной) смесью, в частности – жидкостью с пузырьками газа. Это дисперсная среда, состоящей из двух фаз: несущая фаза – битум, дисперсная фаза – взвешенные пузырьки пара, образованные из вводимой воды.

В реологическом смысле битум является псевдопластической жидкостью, для описания которой используется модель степенной жидкости Оствальда де Вейля (1):

$$\sigma = \gamma(\varepsilon)^n, \quad (1)$$

при  $n < 1$ . Уравнение (1) является эмпирическим, имеющим два параметра: константу  $\gamma$ , зависящую от природы материала и геометрических размеров измерительной аппаратуры, и константу  $n$ , являющуюся индексом течения [14].

(3) совпадает с формулой, описывающей течение Пуазейля по трубе кругового сечения [15] (рис. 3).

Анализ графических зависимостей показывает, что при одних и тех же условиях течения для получения одинакового расхода в случае псевдопластической жидкости нужно приложить больший градиент давления по сравнению с Ньютонской жидкостью.

Экспериментальные исследования позволяют определить рациональную конструкцию и технические параметры установки вспененного битума, параметры которой в процессе эксперимента можно изменять. Это позволяет определить такой технологический режим ее работы, который позволит достичь максимального качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью инертного материала при однородном взаимодействии жидких сред с различными физико-химическими свойствами (битум – вода).

Уравнение регрессии, выражающее зависимость качества сцепления  $\varepsilon$  вспененного битума с инертным материалом устройства вспененного битума от процента подачи воды  $V$ , % ( $X_1$ ), давления подачи воды  $p$  ( $X_2$ ) в рабочую зону, количество трубок  $n$  ( $X_3$ ) и длины трубок  $L$  ( $X_4$ ) устройства вспененного битума в кодированном виде имеет вид:

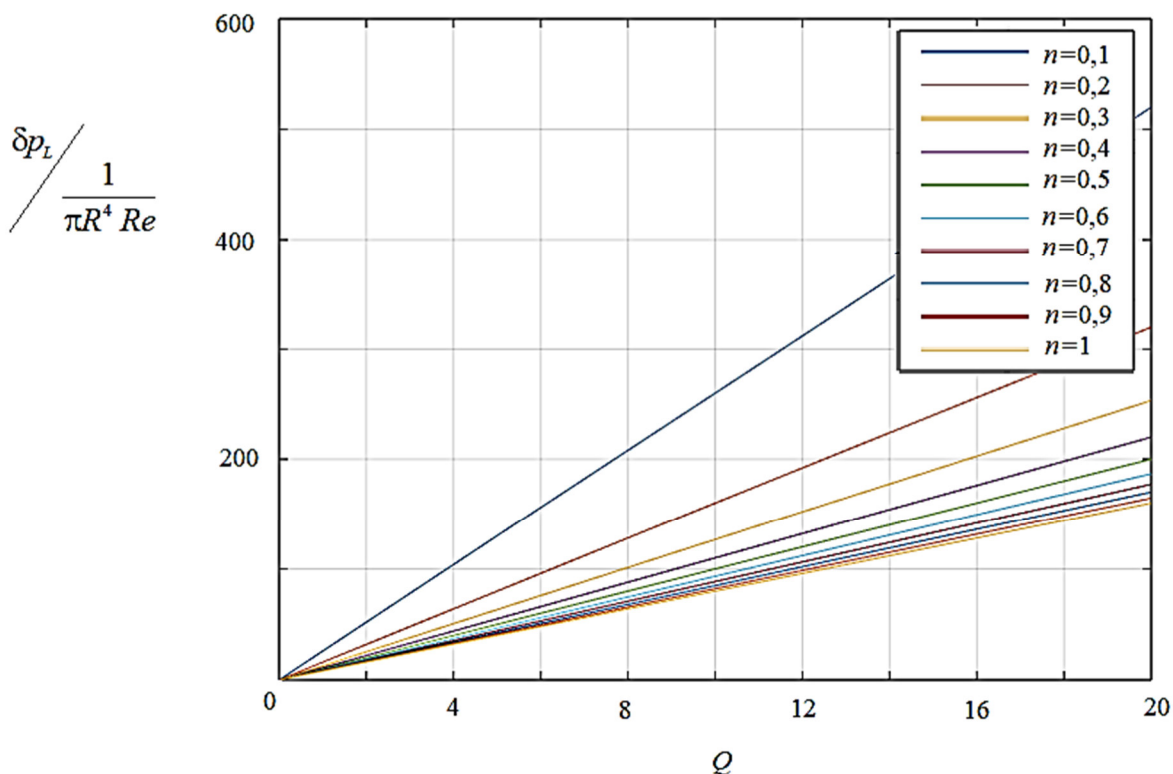


Рис. 3. Влияние на параметр  $\delta p_L$  различных значений параметров течения  $n$

На рисунке 4 представлена зависимость влияния объема  $V$  подачи воды на качество сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  при различных значениях количества  $n$  трубок, постоянном давлении подачи воды  $p = 22$  Бар и длине трубок  $L=200$  мм.

Здесь видно, что все представленные зависимости имеют убывающий характер, то есть с увеличением количества подачи воды при различных значениях количества  $n$  трубок уменьшается качество сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$ .

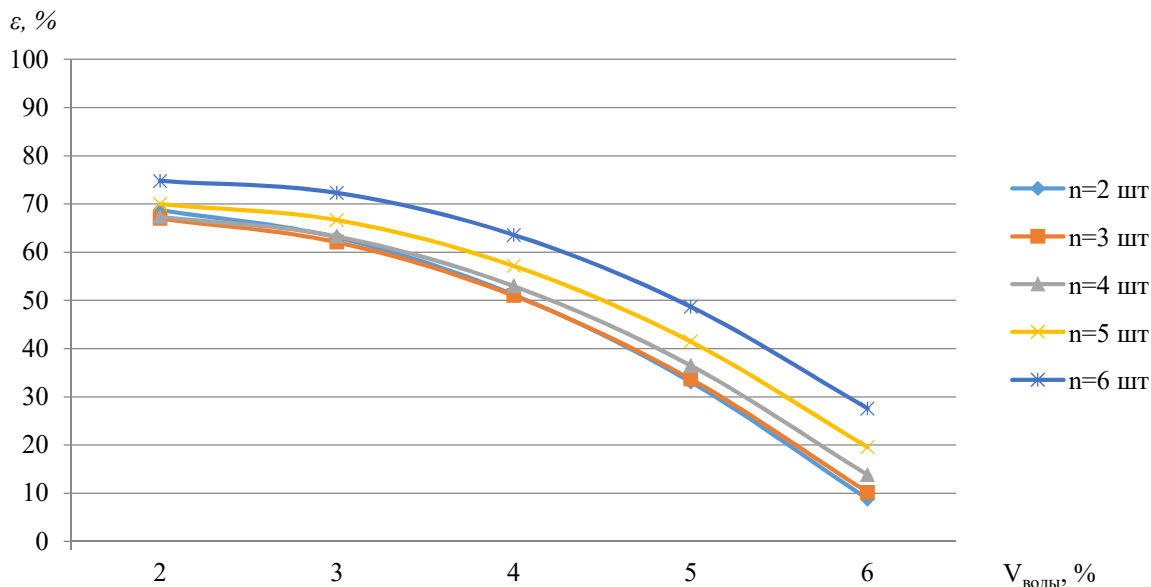


Рис. 4. Зависимость качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  от объема  $V$  подачи воды при различных значениях количества  $n$  трубок, постоянном давлении подачи воды  $p = 22$  Бар и длине трубок  $L = 200$  мм

Например, при максимальном значении объема  $V$  подачи воды  $V = 6$  % (рис. 4, линия  $n = 6$

шт.) параметр  $\varepsilon$  составляет 27,6 %. Дальнейшее уменьшение объема  $V$  подачи воды до значений

$V = 5\%$  и  $V = 4\%$  приводит к увеличению значений качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  и составляет соответственно 48,7 и 63,6 %. При уменьшении объема  $V$  подачи воды до значения равного 3 %, качество сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  составит 72,3 %. Максимальное значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом установки вспенивания битума  $\varepsilon$  достигается при объеме  $V$  подачи воды  $V = 2\%$  и составляет 74,8 %. Изменение объема  $V$  подачи воды позволяет варьировать значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом в пределах 27,6–74,8 %.

Дальнейшее уменьшение  $V$  подачи воды увеличивает параметр  $\varepsilon$  о чем говорят кривые, характеризующие качество сцепления вспененного битума с инертным материалом. Например, при максимальном значении объема  $V$  подачи воды  $V = 6\%$  (рис. 4, линия  $n=3$  шт.) параметр  $\varepsilon$  составляет 10,2 %. При дальнейшем уменьшении объема  $V$  подачи воды до значений  $V = 5\%$  и  $V = 4\%$  наблюдается увеличение значений качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$ , которое составляет соответственно 33,7 и 51 %. При уменьшении объема  $V$  подачи воды до значений  $V = 3\%$  качество сцепления вспененного битума с инертным материалом увеличивается и составляет 62,1 %. Максимальное значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  достигается при объеме  $V$  подачи воды равного  $V = 2\%$ , и составляет 67 %. Изменение объема  $V$  подачи воды позволяет варьировать значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом в пределах 10,2–67 %.

Анализируя зависимость при количестве трубок  $n = 4$  шт. (рис. 4), приходим к выводу, что при максимальном значении объема  $V$  подачи воды  $V = 6\%$  параметр  $\varepsilon$  составляет 13,8 %. С уменьшением объема  $V$  подачи воды до значений 5 % и 4 % качество сцепления вспененного битума с инертным материалом возрастает и составляет 36,5 и 53 %. Дальнейшее уменьшение объема  $V$  подачи воды до значений  $V = 3\%$  приводит к увеличению значения качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  и составляет 63,3 %. Максимальное значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом достигается при объеме  $V$  подачи воды  $V = 2\%$  и составляет 67,4 %. Изменение объема  $V$  подачи воды позволяет варьировать значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом в пределах 13,8–67,4 %.

Анализируя уравнение регрессии (4) при количестве трубок  $n = 5$  шт. (рис. 4), получаем, что

при максимальном значении объема  $V$  подачи воды  $V = 6\%$  параметр  $\varepsilon$  составляет 19,6 %. Уменьшение объема  $V$  подачи воды до значений равных 5 % и 4 %, приводит к увеличению значений качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  и составляет соответственно 41,5 и 57,2 %. Дальнейшее уменьшение объема  $V$  подачи воды до значений  $V = 3\%$  приводит к увеличению значения качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  и составляет 66,7 %. Максимальное значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом достигается при объеме  $V$  подачи воды  $V = 2\%$  и составляет 70 %. Изменение объема  $V$  подачи воды позволяет варьировать значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом в пределах 19,6–70 %.

Минимальные значения качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  наблюдаются при минимальном количестве трубок  $n = 2$  шт. (рис. 4). При максимальном значении объема  $V$  подачи воды, равного 6 %, параметр  $\varepsilon$  составляет 8,8 %. Уменьшение объема  $V$  подачи воды до значений 5 % и 4 % приводит к увеличению значений качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  и составляет соответственно 33,1 и 51,2 %. Дальнейшее уменьшение объема  $V$  подачи воды до значений  $V = 3\%$  приводит к увеличению значения качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  и составляет 63,1 %. Максимальное значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом достигается при объеме  $V$  подачи воды  $V = 2\%$  и составляет 68,8 %. Изменение объема  $V$  подачи воды позволяет варьировать значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом в пределах 8,8–68,8 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4, можно сделать вывод, что максимальное значение качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  достигается при объеме  $V$  подачи воды  $V = 2\%$ , количестве трубок  $n = 6$  шт. и составляет  $\varepsilon = 74,8\%$ .

На рисунке 5 представлена зависимость влияния давления подачи воды на качество сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  при различных значениях объема  $V$  подачи воды, постоянном количестве трубок  $n = 4$  шт. и длины трубок  $L = 200$  мм.

На рисунке 5 видно, что все представленные зависимости имеют возрастающий характер, то есть с увеличением давления подачи  $P$  воды при различных значениях объема  $V$  подачи воды, увеличивается качество сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$ .

При анализе графиков, изображенных на рисунке 5, можно сделать вывод, что максимальное значение параметра  $\varepsilon$  достигается при давлении

подачи воды  $P = 40$  Бар, подачи воды  $V = 2\%$  и составляет  $\varepsilon = 90,4\%$ .

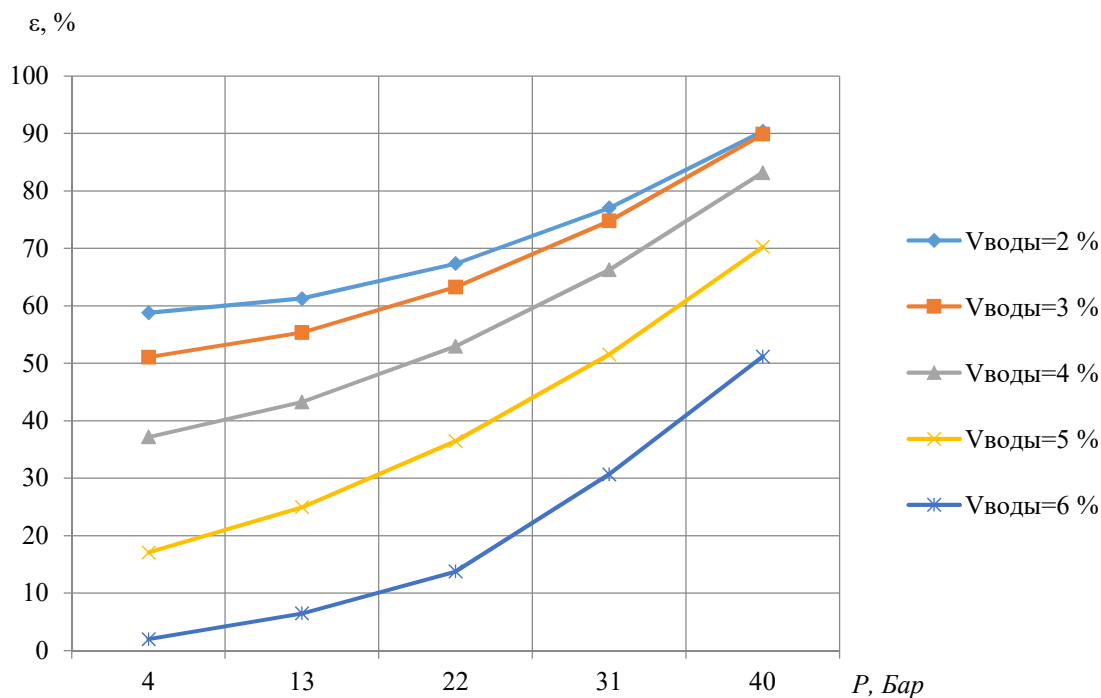


Рис. 5. Зависимость качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon$  от давления подачи воды при различных значениях объема  $V$  подачи воды, постоянном количестве трубок  $n = 4$  шт. и длины трубок  $L = 200$  мм

#### Выводы.

1. Рассмотрена новая конструкция смесителя вспененного битума для выпуска тёплого асфальтобетона.

2. С учетом конструктивно-технологических особенностей рассмотренной конструкции смесителя предложена аналитическая связь между перепадом давления в трубе смесителя и расходом битума.

3. При проведении поисковых экспериментов выявлены параметры, влияющие на режим и технологические показатели установки вспенивания битума и уровни варьирования факторов, при которых достигается наилучшее качество сцепления вспененного битума с инертным материалом.

4. Полученное уравнение регрессии позволило осуществить выбор рациональных конструктивных параметров и технологический режим установки вспенивания битума.

5. По результатам экспериментов, выявлено, что максимальное значение параметра качества сцепления вспененного битума с инертным материалом  $\varepsilon = 95,8\%$  достигается при следующих значениях: давление подачи воды  $P = 40$  Бар, длины трубок  $L = 300$  мм, объём  $V = 4\%$  подачи воды, количество трубок  $n = 4$  шт.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарапов Р.Р., Бойчук И.П., Савичев А.О. К вопросу расчета стационарного и не стационарного течения битумного вяжущего в технологии производства теплых асфальтобетонных смесей // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 18 С. 80–85.
2. Шарапов Р.Р., Савичев А.О. Установка для технологии производства теплых асфальтобетонных смесей // Журнал «Технологии бетонов». 2022. №3 (182). С. 61–63
3. Лупанов А.П., Силкин В.В. Основные направления совершенствования производства асфальтобетонных смесей // Транспортное строительство. 2022. №1. С. 2–5.
4. Лупанов А.П., Силкин А.В., Гуляев К.М., Силкин В.В. Совершенствование технологии и оборудования для вспенивания битума на АБЗ // Автомобильные дороги. 2021. №7 (1076). С. 145–149.
5. Савичев А.О. Совершенствование технологии производства асфальтобетонной смеси с использованием вспененного битума // Дни студенческой науки. Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-иссле-

довательских работ студентов Института инженерно-экологического строительства и механизации НИУ МГСУ. Москва. 2021. С. 193–197.

6. Лупанов А.П., Силкин В.В., Суханов А.С., Гладышев Н.В. Эффективность производства асфальтобетонных смесей на вспененном битуме // Автомобильные дороги. 2017. С. 89–91.

7. Васильев В.В., Ивкин А.С., Саламатова Е.В., Майданова Н.В. Совершенствование методов определения сцепления битума с минеральными материалами // Известия СПбГТИ (ТУ). 2018. № 42 (68). С. 58–61.

8. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Дяров И.Н. Оценка адгезии битума к минеральному материалу в асфальтобетоне на основе его смачивающих свойств // Вестник Казанского технологического университета. 2009. Т. 4. С. 256–259.

9. Emelyanycheva E., Abdullin A. The modification of road petroleum bitumen with petrochemical wastes and polymers // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2021. Т. 56. № 6. Pp. 1249–1255.

10. Abdullin A.I., Emelyanycheva E.A. Water-bitumen emulsions based on surfactants of various types // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2020. Т. 55. № 1. Pp. 73–80.

11. Ивкин А. С. Оценка сцепления битума с минеральными материалами // Проблемы недр-

пользования: Сб. науч. тр. международного форума-конкурса молодых ученых. СПб: РИЦ Горного университета. 2016. С. 212–213.

12. Vasil'ev V.V., Ivkin A.S., Salamatova E.V., Kondrasheva N.K., Givirovskiy G.S. The patterns of bitumen distribution onto surfaces of different mineral materials // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects - 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018. 11th. 2019. Pp. 353–358.

13. Lupanov A.P., Fotiadi A.A., Silkin V.V., Gnezdilova S.A., Gulyaev K.M. Influence of asphalt granulate on asphalt concrete properties // AIP Conference Proceedings. 2023. Pp. 80–85.

14. Матвиенко О.В., Базаев В.П., Черкасов И.С., Литвинова А.Е. Исследование течения битумного вяжущего, описываемого моделью Оствальда – де Вейля, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. С. 171–192.

15. Perelygin D.N., Boichuk I.P., Grinek A.V., Kozlov V.K. Theoretical study of the flow of cement raw material sludge through pipes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 552(1). 012037. DOI:10.1088/1757-899X/552/1/012037.

*Информация об авторах*

**Савичев Александр Олегович**, аспирант кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства. E-mail: alex.savichev@inbox.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Шарапов Рашид Ризаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства. E-mail: ptdm\_zavkaf@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Агарков Александр Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства. E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

*Поступила 25.10.2023 г.*

© Савичев А.О., Шарапов Р.Р., Агарков А.М., 2023

**Savichev A.O., Sharapov R.R., \*Agarkov A.M.**

*National Research Moscow State University of Civil Engineering*

*\*E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru*

## STUDY OF THE FOAMING PROCESS OF BITUMEN IN THE MIXER

**Abstract.** *The article discusses the main ways to save material, labor and financial resources in the production of asphalt concrete mixtures. It has been shown that a promising way to save energy and reduce harmful effects on the environment is to reduce the temperature of the bitumen. A foam generator design has been proposed that allows efficient mixing of bitumen with the generated steam. To describe rheology, the article uses the Ostwald-de Waele power-law fluid model. An expression for the current function is obtained, which allows to find the characteristics of the flow of the carrier phase in the mixer, taking into account the geometric parameters of the mixer, such as the diameter and length of the pipe, the radius of the screw, and the flow parameters at the inlet to the mixer. It is shown that under the same flow conditions, in order to obtain the same flow rate in the case of a pseudoplastic fluid, it is necessary to apply a greater pressure gradient*

compared to a Newtonian fluid. Experimental studies are carried out on the developed laboratory installation, which make it possible to determine the rational design and technical parameters of the foamed bitumen installation, the parameters of which are changed during the experiment. A regression equation is obtained in coded form, expressing the dependence of the quality of adhesion of foamed bitumen to inert material depending on the design and technological parameters of the developed bitumen foaming device.

**Keywords:** asphalt concrete mixture, foamed bitumen, foam generator, mixer, grip quality.

## REFERENCES

1. Sharapov R.R., Boychuk I.P., Savichev A.O. The calculating steady and unsteady the flow of bitumen binder for the production technology of warm asphalt concrete mixtures [K voprosu rascheta stacionarnogo i ne stacionarnogo techeniya bitumnogo vyazhushhego v texnologii proizvodstva teply`x asfal`tobetonny`x smesey]. Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023. No. 18. Pp. 80–85. (rus)
2. Sharapov R.R., Savichev A.O. Installation for the production technology of warm asphalt concrete mixtures [Ustanovka dlya texnologii proizvodstva teply`x asfal`tobetonny`x smesey]. Journal of Concrete Technologies. 2022. No. 3 (182). Pp. 61–63. (rus)
3. Lupanov A.P., Silkin V.V. Main directions for improving the production of asphalt concrete mixtures [Osnovny`e napravleniya sovershenstvovaniya proizvodstva asfal`tobetonny`x smesey]. Transport construction. 2022. No. 1. Pp. 2–5. (rus)
4. Lupanov A.P., Silkin A.V., Gulyaev K.M., Silkin V.V. Improving technology and equipment for foaming bitumen at asphalt plants [Sovershenstvovanie texnologii i oborudovaniya dlya vspenivaniya bituma na ABZ]. Automobile roads. 2021. No. 7 (1076). Pp. 145–149. (rus)
5. Savichev A.O. Improving the technology for producing asphalt concrete mixtures using foamed bitumen [Sovershenstvovanie texnologii proizvodstva asfal`tobetonnoj smesi s ispol`zovaniem vspenennogo bituma]. Days of Student Science. Collection of reports of a scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Engineering and Environmental Construction and Mechanization of the National Research University MGSU. Moscow, 2021. Pp. 193–197. (rus)
6. Lupanov A.P., Silkin V.V., Sukhanov A.S., Gladyshev N.V. Efficiency of production of asphalt concrete mixtures using foamed bitumen [E`ffektivnost` proizvodstva asfal`tobetonny`x smesey na vspenennom bitume]. Automobile roads. 2017. Pp. 89–91. (rus)
7. Vasiliev V.V., Ivkin A.S., Salamatova E.V., Maydanova N.V. Improving methods for determining the adhesion of bitumen to mineral materials [Sovershenstvovanie metodov opredeleniya scepneniya bituma s mineral`ny`mi materialami]. News of St. Petersburg State Technical University (TU). 2018. No. 42 (68). Pp. 58–61. (rus)
8. Abdullin A.I., Emelyanycheva E.A., Diyarov I.N. Evaluation of the adhesion of bitumen to mineral material in asphalt concrete based on its wetting properties [Ocenka adgezii bituma k mineral`nomu materialu v asfal`tobetone na osnove ego smachivayushhix svoystv]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2009. T. 4. Pp. 256–259. (rus)
9. Emelyanycheva E., Abdullin A. The modification of road petroleum bitumen with petrochemical wastes and polymers. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2021. Vol. 56. No. 6. Pp. 1249–1255.
10. Abdullin A.I., Emelyanycheva E.A. Water-bitumen emulsions based on surfactants of various types. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2020. Vol. 55. No 1. Pp. 73–80.
11. Ivkin A.S. Assessment of the adhesion of bitumen to mineral materials [Ocenka scepneniya bituma s mineral`ny`mi materialami]. Problems of subsoil use: Sat. scientific tr. international forum-competition of young scientists. St. Petersburg: RIC of Mining University. 2016. Pp. 212–213. (rus)
12. Vasil'ev V.V., Ivkin A.S., Salamatova E.V., Kondrasheva N.K., Givirovskiy G.S. The patterns of bitumen distribution onto surfaces of different mineral materials. Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects - 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018. 11th. 2019. Pp. 353–358.
13. Lupanov A.P., Fotiadi A.A., Silkin V.V., Gnezdilova S.A., Gulyaev K.M. Influence of asphalt granulate on asphalt concrete properties. AIP Conference Proceedings. 2023. Pp. 80–85.
14. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Cherkasov I.S., Litvinova A.E. Study of the flow of bitumen binder, described by the Ostwald-de Weil model, in a cylindrical pipe [Issledovanie techeniya bitumnogo vyazhushhego, opisy`vaemogo model`yu Ostval`da – de Vejlya, v cilindricheskoj trube]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. Pp. 171–192. (rus)
15. Perelygin D.N., Boichuk I.P., Grinek A.V., Kozlov V.K. Theoretical study of the flow of cement raw material sludge through pipes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No 552(1). 012037. DOI:10.1088/1757-899X/552/1/012037



**Savichev, Alexander O.** Postgraduate student. E-mail: alex.savichev@inbox.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

**Sharapov, Rashid R.** DSc, Professor. E-mail: ptm\_zavkaf@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

**Agarkov, Alexander M.** PhD. E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

---

*Received 25.10.2023*

**Для цитирования:**

Савичев А.О., Шаратов Р.Р., Агарков А.М. Исследование процесса вспенивания битума в смесителе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №12. С. 106–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-106-114

**For citation:**

Savichev A.O., Sharapov R.R., Agarkov A.M. Study of the foaming process of bitumen in the mixer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 12. Pp. 106–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-106-114