

М.В. Шардин, В.П. Шардин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ВИБРОУПЛОТНЕНИЕ ПРИКРОМОЧНЫХ ВОДООТВОДНЫХ ЛОТКОВ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОНА ЗА ОДИН РАБОЧИЙ ПРОХОД

Приводится методика расчетного прогнозирования параметров виброформирующего и виброуплотняющего оборудования, предназначенного для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона, с применением эталонных образцов асфальтобетонной смеси, полученных прессованием согласно ГОСТ 12801–98. Даются рекомендации по расчету и его конкретным этапам. Также представлен ряд справочных материалов по расчету параметров процесса уплотнения для некоторых типов асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: виброформирующее и виброуплотняющее оборудование, прогнозирование, асфальтобетонная смесь, процесс уплотнения, рекомендации.

Прикромочный водоотводной лоток – это неглубокая канавка, выполненная по кромке дорожной одежды автомобильной дороги. Основной функцией прикромочного водоотводного лотка является отвод дождевой и другой воды с дорожного полотна, ее сбор и перенос в заранее запланированное место. Обычно прикромочные водоотводные лотки выполняются на наклонных участках дороги.

В настоящее время прикромочные водоотводные лотки изготавливаются из сборного или монолитного цементобетона, а в некоторых случаях и из асфальтобетона, но при изготовлении и тех и других лотков имеет место ручной труд.

Серьезным недостатком монолитных цементобетонных прикромочных лотков является нестабильность качества их изготовления и достаточно быстрое разрушение за счет действия кислых водных сред, образующихся при эксплуатации дороги. В связи с изложенным возникает вопрос о более широком применении прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона. Пример конструкции одного из вариантов прикромочного лотка из асфальтобетона приведен на рис. 1.



Рис. 1. Пример конструкции лотка из асфальтобетона

К положительным сторонам прикромочных лотков из асфальтобетона можно отнести относительно небольшие трудозатраты и возможность их изготовления вместе с асфальтобетонным покрытием дороги. Недостатком является почти полное отсутствие специализированных средств механизации, обеспечивающих укладку асфальтобетона на обочину дороги и его уплотнение.

Для механизации работ по изготовлению прикромочного водоотводного лотка из асфальтобетона предложено применить специальное сменное виброформирующее оборудование [1, 2], разработанное на кафедре АТМ ПНИПУ.

Одним из возможных средств механизации изготовления асфальтобетонного лотка вместе с полотном автомобильной дороги является агрегат (рис. 2), состоящий из гусеничного или колесного асфальтоукладчика, шнекового подавателя асфальтобетонной смеси, выгружающего асфальтобетонную смесь из бункера асфальтоукладчика в направлении, перпендикулярном его движению, и устройства, непосредственно изготовляющего лоток, – виброформователя лотка.

Виброформователь лотка, перемещающийся вместе с базовой машиной, структурно состоит из двух параллельно расположенных ограничительных стенок (опалубка формователя), опирающихся на специальные лыжи, внутри которых расположен плужок, осуществляющий профилирование асфальтобетонной смеси, и виброплита, уплотняющая асфальтобетонную смесь.

Днище виброплиты спрофилировано таким образом, что после ее прохода по асфальтобетонной смеси получается канавка, размеры которой полностью соответствуют проектным размерам прикромочного лотка.

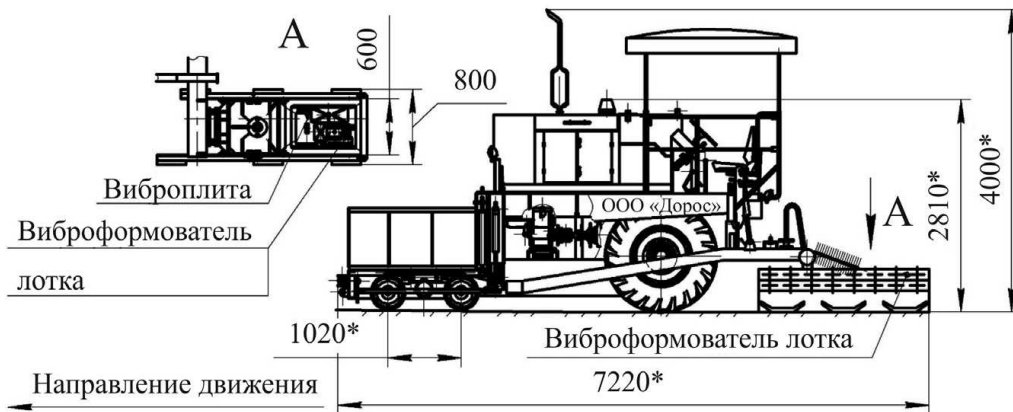


Рис. 2. Конструктивная схема агрегата изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона

Агрегат изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона (рис. 3) произведен ООО «Дорос» (г. Чернушка, Пермский край) по проекту кафедры АТМ ПНИПУ и прошел пробные испытания, результаты которых показали работоспособность установки.



Рис. 3. Испытание агрегата для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона

Главной целью любого процесса уплотнения асфальтобетонной смеси является достижение максимальной плотности уплотненного слоя или объема асфальтобетонной смеси и ее соответствие нормативным требованиям. Нормативная плотность асфальтобетонной смеси, из которой сформирован прикромочный лоток, должна составлять 96–100 % значения плотности, определенной лабораторным способом по мето-

дике, предусмотренной ГОСТ 12801–98. Нормативная плотность асфальтобетонной смеси может быть достигнута как за один проход уплотняющего виброоборудования, так и за несколько проходов. Практический интерес представляет возможность достижения нормативной плотности за один проход виброформирующего или виброуплотняющего оборудования. Поэтому с целью реализации этой возможности разработаны расчетные рекомендации, позволяющие прогнозировать рабочие параметры виброформирующего и виброуплотняющего оборудования (такие как скорость перемещения, частота и амплитуда колебаний, контактные давления и др.) по результатам экспериментов с образцами соответствующей асфальтобетонной смеси.

Нижеизложенные расчетные рекомендации разработаны исходя из предположения, что асфальтобетонные смеси, доведенные до нормативной плотности, полученной с помощью различных способов уплотнения, тождественны в основных своих показателях. Руководствуясь вышеизложенным, можно получить качественную и количественную характеристики процесса статического уплотнения образцов асфальтобетонной смеси конкретной марки на лабораторном прессе в соответствии с ГОСТ 12801–98. Далее, используя прессованные образцы как эталонные, можно рассчитать такие оптимальные параметры и режимы работы виброуплотняющего оборудования, при которых оно при уплотнении асфальтобетонной смеси, идентичной по марке исследованной с помощью статического уплотнения, будет обеспечивать нормативную плотность уплотняемой асфальтобетонной смеси.

Оптимальные параметры и режимы работы виброформирующего и виброуплотняющего оборудования, называемого в дальнейшем общим термином «вибрационная плита», рассчитываются в виде удельных показателей и затем проверяются способом формования пробных образцов асфальтобетонной смеси с помощью лабораторной виброформирующей установки.

Скорость перемещения вибрационной плиты, предназначенной для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона и являющейся навесным дополнительным оборудованием к асфальтоукладчику, определяется в первую очередь скоростью рабочего движения асфальтоукладчика как базовой машины.

Рекомендуемая рабочая скорость движения асфальтоукладчика составляет 1,2–2,5 м/мин, или 20–42 мм/с [3, 4]. Редко скорость движения достигает 3 м/мин (50 мм/с). Поскольку виброплита агрегируется с асфальтоукладчиком и должна уплотнять асфальтобетонную смесь до нормативной плотности за один проход, в качестве расчетной рабочей скорости принимается скорость движения виброплиты 31 мм/с, или 111,6 м/ч. Предполагается, что скорость движения виброплиты является равномерной и при конструктивной длине виброплиты равной, например, 1000 мм. Весь процесс уплотнения виброплитой асфальтобетонной смеси должен, согласно отношению $1000/31$, длиться 32,2 с – за это время асфальтобетонная смесь должна приобрести нормативную плотность.

Следовательно, в качестве расчетного времени уплотнения, с некоторым запасом, можно принять время $t_{\text{упл}} \leq 30$ с. Данное время является предельно возможным временем, в течение которого может длиться процесс виброуплотнения асфальтобетонной смеси, и это время определяет интервал временного анализа графиков $\Delta h = f(\tau_{\text{форм}})$, где Δh – абсолютная деформация пробного цилиндрического образца асфальтобетонной смеси; $\tau_{\text{форм}}$ – время виброформования образца. В качестве графиков $\Delta h = f(\tau_{\text{форм}})$ принимаются графики экспериментальных зависимостей, полученных с помощью протоколов лабораторных экспериментов по виброформованию пробных цилиндрических образцов асфальтобетонной смеси, имеющих разные размеры и объем.

Протоколы лабораторных экспериментов по виброформованию пробных образцов асфальтобетонной смеси получены с помощью системы измерений и контроля лабораторного стенда, основой которого является цифровая регистрация аналоговых параметров с помощью компьютера, имеющего соответствующий интерфейс. Типичный протокол виброформования пробного образца горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси МЗС (тип Г, марка 1 по ГОСТ 9128–97) представлен на рис. 4.

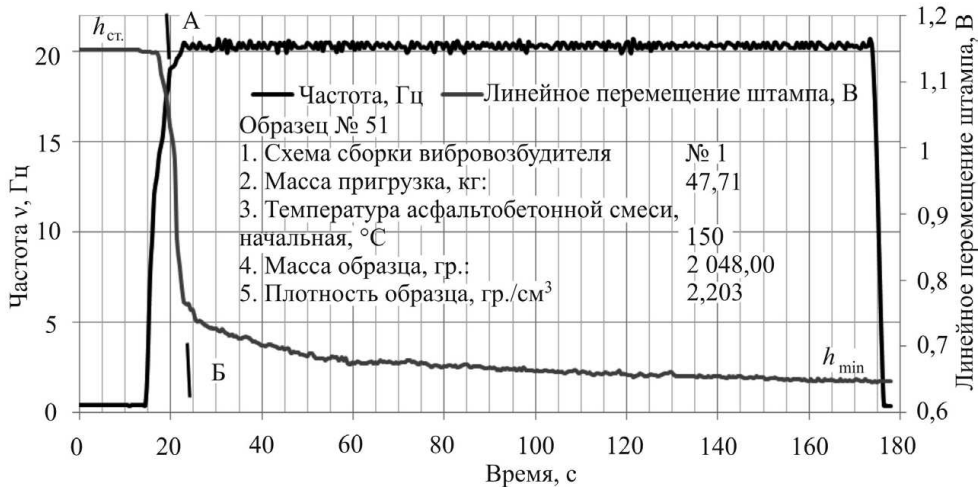


Рис. 4. Типичный протокол виброформования пробного образца из горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси МЗС (тип Г марка I)

Схема контейнерного узла лабораторного виброформователя, разработанного авторами, приведена на рис. 5. Особенностью конструкции данного виброформователя является возможность аппаратурной регистрации текущих значений абсолютной линейной деформации цилиндрического образца асфальтобетонной смеси при его виброформовании.

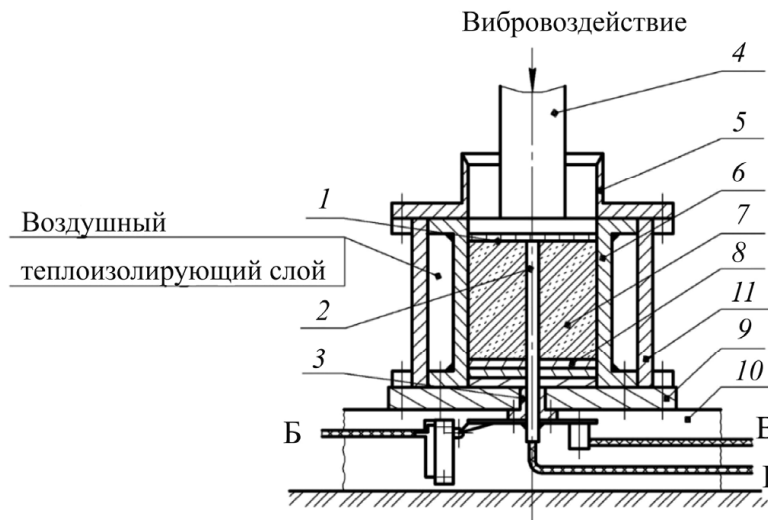


Рис. 5. Конструктивная схема контейнерного узла установки для проведения пробных экспериментов: 1 – диск устройства измерения линейной деформации; 2 – трубчатый шток; 3 – втулка направляющая; 4 – вибровозбудитель; 5 – центрирующая крышка; 6 – пресс-форма контейнера; 7 – асфальтобетонная смесь; 8 – сменный наполнитель формы; 9 – основание контейнера; 10 – рама установки; 11 – внешний корпус пресс-формы. Б – электрокабель измерения линейной деформации образца асфальтобетонной смеси; В – электрокабель вибропреобразователя «Вибротест-МГ 4.01»; Г – электропровод термопары

Анализируя протоколы виброформования пробных образцов асфальтобетонной смеси, можно отметить, что деформация образца при его виброформовании происходит в два этапа:

1. На *первом этапе* (линия А-Б на рис. 4) деформация образца асфальтобетонной смеси происходит с высокой скоростью. Процесс пропорциональной деформации образца, при котором за время $\tau_{\text{проп}}$ плотность образца асфальтобетонной смеси изменяется с начальной плотности $\rho_{\text{ст}}$ до плотности ρ_i , достаточно точно описывается уравнением прямой линии:

$$\varepsilon_i = a \cdot \tau_{\text{проп}}$$

или

$$\rho_i = \frac{\rho_{\text{ст}}}{1 - a \cdot \tau_{\text{проп}}},$$

где ε_i – текущее значение относительной деформации образца асфальтобетонной смеси при виброформовании, $\varepsilon_i = \Delta h / h_0$; ρ_i – плотность материала образца, возникающая за счет действия виброформователя на асфальтобетонную смесь (г/см^3); Δh – абсолютная деформация образца; h_0 – начальная высота образца, мм; a – коэффициент пропорциональности.

Например, уравнение зависимостей $\varepsilon_i = a \cdot \tau_{\text{проп}}$; $\rho_i = \rho_{\text{ст}} / (1 - a \cdot \tau_{\text{проп}})$ для графика $h_i = f(\tau_{\text{упл}})$, приведенного на рис. 4, имеет вид

$$\varepsilon_i = 0,0673 \tau_{\text{проп}}.$$

Величина достоверности аппроксимации составляет $R^2 = 0,9285$.

$$\rho_i = \frac{\rho_{\text{ст}}}{1 - 0,0673 \cdot \tau_{\text{проп}}}. \quad (1)$$

2. На *втором этапе* скорость деформирования образца асфальтобетонной смеси заметно меньше. Скорость деформирования образца постепенно и плавно убывает, становясь в итоге равной нулю.

Анализ протоколов виброформования образцов показывает, что для практических целей следует использовать только участок графика $\Delta h = f(\tau_{\text{форм}})$, ограничиваемый значением $\tau_{\text{форм}} = 30 \dots 40$ с.

С целью определения и рационализации параметров виброформирующего и виброуплотняющего оборудования составляются графики зависимостей:

$$\varepsilon_i = (\theta_{\text{ст}} \cdot \nu)_{\text{ид}}; \rho_i = f(\theta_{\text{ст}} \cdot \omega)_{\text{ид}} \text{ при } \tau_{\text{ид}} = \text{const}, \rho_i = f(\theta_{\text{ст}} / \theta_{\text{дин}}),$$

где $\tau_{\text{ид}}$ – фиксированное время, в течение которого происходит интенсивное деформирование образца асфальтобетонной смеси, подвергаемого виброформованию в лабораторной установке; согласно результатам предварительного анализа $\tau_{\text{ид}} = 10; 20; 30$ с; $\theta_{\text{ст}}$ – псевдостатическое давление виброуплотняющего оборудования на асфальтобетонную смесь, Н/см²; ω – угловая частота вращения дебалансов нерегулируемого вибратора виброформирующей установки, с⁻¹.

В данном исследовании в лабораторной установке применен регулируемый по частоте вращения вибратор. Регулирование осуществляется с помощью изменения частоты тока ν , питающего приводной электродвигатель вибратора, для которого значение ω было определено экспериментальным путем посредством тарировки вибровозбудителя и составило $\omega = 6,267 \cdot \nu$ с⁻¹. Следовательно, зависимость $\rho_i = f(\theta_{\text{ст}} \cdot \omega)$ можно однозначно заменить на зависимость $\rho_i = f(\theta_{\text{ст}} \cdot \nu)_{\text{ид}}$.

Псевдостатическое давление $\theta_{\text{ст}}$, определяемое как отношение силы тяжести виброуплотнителя (виброформователя), в том числе и дополнительных пригрузов, к площади уплотняемой поверхности образца или асфальтобетонной смеси, является конструктивной особенностью оборудования, и его значение выбирается или назначается исходя из технологических возможностей виброактивного оборудования.

Рекомендуемое псевдостатическое давление заключается в пределах: $\theta_{\text{стат}} = 60 \dots 200$ кПа (6...20 Н/см²).

На рис. 6 в качестве примера представлены графики зависимостей плотности образца асфальтобетонной смеси ЩМА-15 ГОСТ 31015–2002 от динамического критерия при дискретном времени воздействия виброформователя на образец, т.е. $\rho_i = f(\theta_{\text{ст}} \cdot \nu)_{\text{ид}}$ при $\tau_{\text{ид}} = \text{const}$.

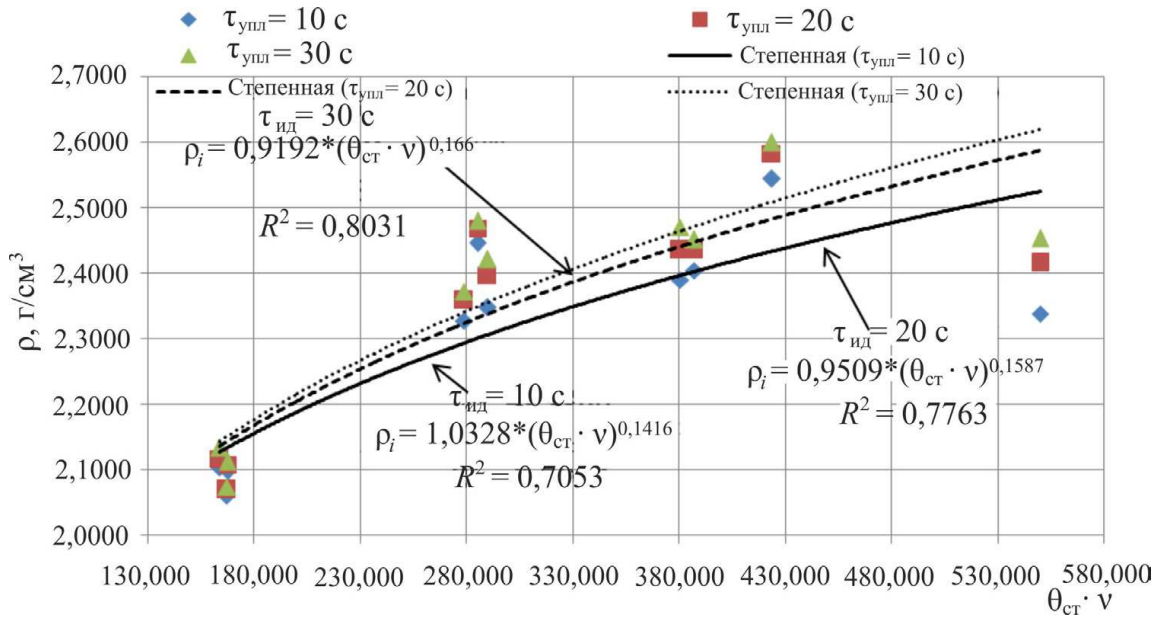


Рис. 6. Графики зависимости текущих значений плотности ρ_i образцов среднезернистой асфальтобетонной смеси ЦМА-15 ГОСТ 31015–2002 от динамического критерия

Зависимости $\rho_i = f(\theta_{ст} \cdot v)$ для дискретного времени $\tau_{ид}$ наблюдения процесса виброформования достаточно однозначно описываются уравнениями степенной функции:

– для горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси МЗС, тип Г, марка 1 по ГОСТ 9128–97:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_{ид} = 10 \text{ с } \rho_i = 1,4860 \cdot (\theta_{ст} \cdot v)^{0,0489} \\ \tau_{ид} = 20 \text{ с } \rho_i = 1,2392 \cdot (\theta_{ст} \cdot v)^{0,0865} \\ \tau_{ид} = 30 \text{ с } \rho_i = 1,2356 \cdot (\theta_{ст} \cdot v)^{0,0884} \end{array} \right\}; \quad (2)$$

– для горячей среднезернистой асфальтобетонной смеси ЦМА-15 по ГОСТ 31015–2002:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_{ид} = 10 \text{ с } \rho_i = 1,0328 \cdot (\theta_{ст} \cdot v)^{0,1416} \\ \tau_{ид} = 20 \text{ с } \rho_i = 0,9509 \cdot (\theta_{ст} \cdot v)^{0,1587} \\ \tau_{ид} = 30 \text{ с } \rho_i = 0,9192 \cdot (\theta_{ст} \cdot v)^{0,1660} \end{array} \right\}. \quad (3)$$

На рис. 7 представлен график зависимости $\rho_i = f(K_{\text{реж}})$ плотности образца асфальтобетонной смеси МЗС, тип Г, марка 1 по ГОСТ 9128–97, от коэффициента режима работы виброоборудования $K_{\text{реж}} = \theta_{\text{ст}} / \theta_{\text{дин}}$ и аппроксимирующая график зависимость.

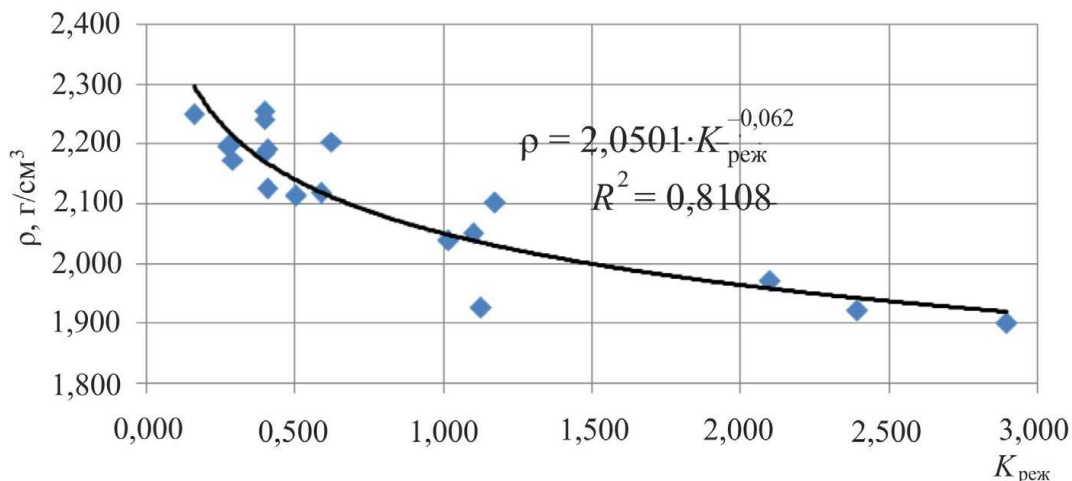


Рис. 7. График зависимости $\rho_i = f(K_{\text{реж}})$ плотности образца асфальтобетонной смеси МЗС, тип Г, марка 1 по ГОСТ 9128–97, от коэффициента режима работы виброоборудования $K_{\text{реж}} = \theta_{\text{ст}} / \theta_{\text{дин}}$ и аппроксимирующая график зависимость

Определение рациональных параметров процесса виброуплотнения асфальтобетонной смеси, т.е. параметров, при которых $\rho_i = \rho_{\text{обр}} \geq \rho_{\text{эт}}$, и согласование этих параметров со скоростью перемещения проектируемой или эксплуатируемой виброплиты выполняется в следующей последовательности:

1. Определяется максимальное техническое время, в течение которого виброплита, параметры процесса работы которой оптимизируются, перемещается на расстояние, равное $l_{\text{ВП}}$.

$$\tau_{\text{упл}} \geq \frac{l_{\text{ВП}}}{v_{\text{ВП}}}, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{упл}}$ – время, в течение которого может происходить уплотнение асфальтобетонной смеси, с; $l_{\text{ВП}}$ – конструктивная длина уплотняющей поверхности виброплиты, см; $v_{\text{ВП}}$ – рабочая скорость виброплиты, т.е. скорость перемещения базовой машины, см/с.

2. Определяется величина динамического критерия $(\theta_{ст} \cdot v)_{ид}$, гарантирующая получение заданного значения $\rho_i = \rho_{эт}$ за время $\tau_{ид} < \tau_{упл}$. Определение производится по соответствующим уплотняемой асфальтобетонной смеси зависимостям.

3. Определяется полная масса виброоборудования с помощью ранее выбранного параметра $\theta_{ст}$:

$$M_{обор} = \theta_{ст} \cdot S \cdot g^{-1}, \quad (5)$$

где $M_{обор}$ – масса оборудования, кг; $\theta_{ст}$ – псевдостатическое давление оборудования на уплотняемую асфальтобетонную смесь, Н/см²; S – площадь уплотнения асфальтобетонной смеси, см²; g – ускорение свободного падения, см/с²; $g = 9,81$ м/с².

4. Определяется максимальная возмущающая сила вибратора виброоборудования с помощью графика зависимости $\rho_i = f(K_{реж})$:

$$F_{возм} = \theta_{дин} \cdot S = \theta_{ст} \cdot S \cdot K_{реж}^{-1}, \quad (6)$$

где $F_{возм}$ – амплитудная (максимальная) возмущающая сила вибратора, Н; $K_{реж}$ – коэффициент режима; $K_{реж} = \frac{\theta_{ст}}{\theta_{дин}}$.

5. Определяется рабочая угловая частота вращения (v) дебалансов вибровозбудителя или частота тока, питающего регулируемый электродвигатель вибровозбудителя – в зависимости от структуры критерия $(\theta_{ст} \cdot v)_{ид}$:

$$v = \frac{(\theta_{ст} \cdot v)_{ид}}{\theta_{ст}}. \quad (7)$$

Следование рассмотренным методическим рекомендациям позволяет:

1) рассчитать для любой применяемой асфальтобетонной смеси рациональные параметры работы виброуплотняющего и виброформирующего оборудования, такие как масса виброформователя, геометрические размеры формирующего пуансона, параметры режима работы вибровозбудителя, с помощью которых будет получена ожидаемая плотность образца асфальтобетонной смеси, предназначенного для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона и для других целей;

2) выполнить в лабораторных условиях, с помощью пробных и эталонных образцов, проверку эффективности и качества виброуплотнения асфальтобетонной смеси. В данной статье рассмотрена эффективность виброуплотнения двух горячих асфальтобетонных смесей: МЗС, тип Г, марка 1 по ГОСТ 9128–97 и ЩМА-15 по ГОСТ 31015–2002;

3) выбрать и согласовать оптимальную скорость перемещения виброуплотняющего и виброформирующего оборудования, предназначенного для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона, со скоростью движения базовой для данного оборудования машины;

4) оценить технологические возможности находящегося в производственной эксплуатации виброуплотняющего оборудования (в основном виброплит) по уплотнению различных асфальтобетонных смесей;

5) обосновать конструктивные и режимные параметры вновь проектируемого виброуплотняющего и виброформирующего оборудования, предназначенного для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона и для других целей.

Список литературы

1. Белоногов Л.Б., Шардин В.П., Шардин М.В. Навесные виброактивные устройства для сооружения прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона // Мир дорог. – 2006. – № 22.

2. Пат. № 105741 Российская Федерация. Устройство для формирования модельных образцов асфальтобетонной смеси / В.П. Шардин, М.В. Шардин, Б.С. Юшков; зарег. в Гос. реестре полезных моделей РФ 20 июня 2011 г.

3. Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И.А. Бородачева. – М.: Машиностроение, 1973. – 504 с.

4. Транспортно-технологические машины и комплексы (производственная и техническая эксплуатация): учеб. пособие / В.Б. Пермяков [и др.]; под общ. ред. В.Б. Пермякова. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 440 с.

Получено 6.03.2013

M.V. Shardin, V.P. Shardin

VIBROCOMPACTED THE MARGINAL DRAINAGE TRAYS OF ASPHALT IN ONE PASS

Article gives methodic recommendations concerning calculation prediction of parameters of vibroforming and vibrocompacting equipment meant for manufacturing of near rim drainage trays from asphaltic concrete with the help of reference specimens of asphaltic concrete mixture, made by pressing according to GOST 12801–98: recommendations concerning calculation and specific steps are given, list of reference materials concerning compaction process parameters calculation for some types of asphaltic concrete mixtures is given.

Keywords: vibroforming and vibrocompacting equipment, asphaltic concrete mixture, prediction, compaction process, recommendations.

***Михаил Витальевич Шардин** (Пермь, Россия) – старший преподаватель Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mvshardin@gmail.com).*

***Виталий Петрович Шардин** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shardinvp@gmail.com).*

***Mikhail Vitaljevich Shardin** (Perm, Russia) – Senior Lecturer, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: mvshardin@gmail.com).*

***Vitaliy Petrovich Shardin** (Perm, Russia) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: shardinvp@gmail.com).*