

М.В. Шардин, В.П. Шардин, Л.Б. Белоногов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОФОРМОВАТЕЛЯ ПРИКРОМОЧНЫХ ВОДООТВОДНЫХ ЛОТКОВ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Описывается расчетная методика прогнозирования параметров процесса виброуплотнения прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона при помощи эталонных образцов асфальтобетонной смеси, полученных прессованием в соответствии с ГОСТ 12801–98; даются рекомендации по расчету и его конкретным шагам, приведен 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 канавка шириной от 40 до 90 см и глубиной 4 см, 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.

Конечно, водоотвод с полотна дорожной одежды загрязняет окружающую среду. Согласно выполненным замерам [5] концентрация вредных веществ в почве на глубине 5–10 см вдвое меньше, чем в поверхностном слое до 5 см. Наибольшее количество вредных отложений обнаружено на расстоянии 7–15 м от края проезжей части. Установлено, что через 25 м концентрация снижается примерно вдвое и через 100 м приближается к фоновой. Водоотводные лотки позволяют вывести загрязненную воду в заранее запроектированные места, что в целом позволяет более целенаправленно бороться с загрязнениями окружающей среды.

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 лот-

ков имеет место достаточно большое количество ручного труда. Серьезным недостатком цементобетонных лотков является их достаточно быстрое разрушение за счет действия кислых водных сред, которые образуются в результате реакции между водой и такими загрязняющими веществами, как оксид серы (SO_2) и различные оксиды азота (NO_x). Поэтому, в связи с большой трудоёмкостью изготовления, а особенно с недолговечностью прикромочного лотка из цементобетона, встает вопрос о необходимости переориентации на другие направления изготовления прикромочных водоотводных лотков. Одним из таких направлений является механизированное изготовление прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона.

Для механизации работ по изготовлению прикромочного водоотводного лотка из асфальтобетона предложено [4] применить специальное виброформующее оборудование, являющееся сменным оборудованием, устанавливаемым на самоходные гусеничный или колесный асфальтоукладчики.

Одним из возможных средств механизации является агрегат (рис. 1), состоящий из колесного асфальтоукладчика, шнекового подавателя асфальтобетонной смеси, выгружающего асфальтобетонную смесь из бункера асфальтоукладчика в направлении, перпендикулярном его движению, и устройства, непосредственно изготавливающего лоток – виброформователя лотка.

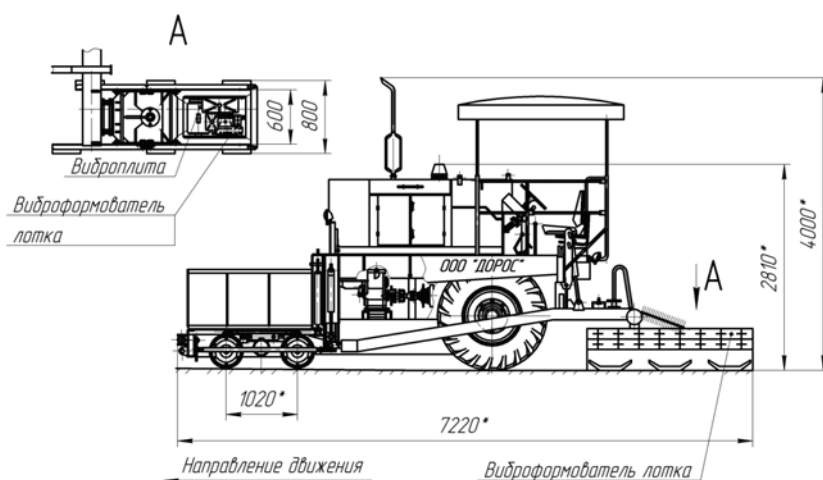


Рис. 1. Конструктивная схема агрегата изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона на базе колесного асфальтоукладчика СД-404Б

Виброформователь лотка структурно состоит из двух параллельно расположенных, подвижных ограничительных стенок (опалубка формователя), опирающихся на специальные лыжи, внутри которых расположен плужок, осуществляющий упреждающее 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.

Агрегат изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона произведен ООО «Дорос» (г. Чернушка, Пермский край) по проекту кафедры «Строительные и дорожные машины» ПермГТУ и прошел пробные испытания. Производственные испытания показали положительные результаты.

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 должна составлять 96–99 % значения плотности, определенной лабораторным способом по методике, предусмотренной ГОСТ 12801–98. Так, строительные нормы и правила СНиП 3.06.03–85 в пункте 10.41 предписывают, чтобы коэффициенты уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды были не ниже:

- 0,99 – для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов А и Б;
- 0,98 – для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов В, Г и Д, пористого и высокопористого асфальтобетона;
- 0,96 – для асфальтобетона из холодных смесей.

Коэффициент уплотнения конструктивных слоев и объемов прикромочных водоотводных лотков регламентирует проектная документация, разрабатываемая на каждый конкретный лоток. Можно предположить, что коэффициент уплотнения материала прикромочного лотка может быть несколько меньше, чем предписывает СНиП, так как считается, что водоотводной лоток не испытывает таких силовых нагрузок, как дорожная одежда. Однако практика показывает, что периодически водоотводной лоток может испытывать достаточно большие нагрузки, например

когда на него выезжает большегрузный автомобиль. Поэтому рациональнее считать, что коэффициент уплотнения материала водоотводного лотка должен быть не ниже рекомендованного СНиПом.

Данные расчетные рекомендации разработаны исходя из предположения, что асфальтобетонные смеси, уплотненные до нормативной плотности, полученной с помощью различных способов уплотнения, тождественны в основных своих показателях. С некоторыми допущениями это можно отнести и к уплотнению образцов асфальтобетонных смесей. Следовательно, руководствуясь этим предположением, получив качественную и количественную характеристики процесса статического уплотнения образцов асфальтобетонной смеси конкретной марки на лабораторном прессе в соответствии с ГОСТ 12801–98 и используя прессованные образцы как эталонные, можно рассчитать такие оптимальные параметры и режимы работы виброуплотняющего оборудования, при которых оно будет эффективно в работе и обеспечит нормативную плотность уплотняемой асфальтобетонной смеси.

Оптимальные параметры и режимы работы виброуплотняющего и виброформирующего оборудования теоретически рассчитываются в виде удельных показателей и затем проверяются на пробных образцах, уплотненных на лабораторной виброформирующей установке (рис. 2).

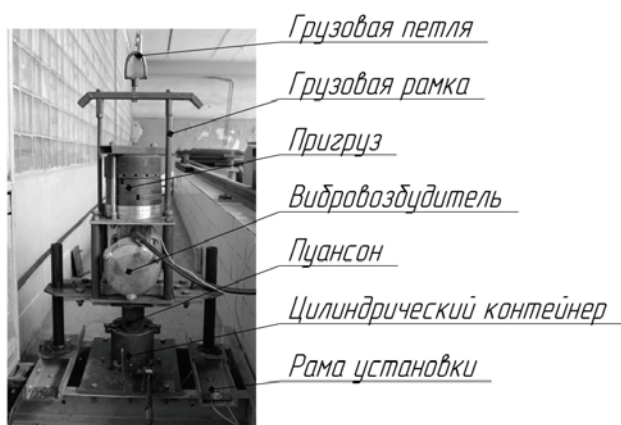


Рис. 2. Лабораторная виброформирующая установка с цилиндрическим контейнером

Первым действием при расчете и прогнозировании параметров виброуплотняющего оборудования является прессование цилиндрических образцов асфальтобетонной смеси в соответствии с требованиями ГОСТ 12801–98. В результате этого определяются:

1. Нормативная максимальная величина плотности асфальтобетонной смеси, достигаемая при приложении к торцу образца давления $P_{\text{прс}} = 40$ МПа.

Рекомендуется также, при возможности, определить плотность цилиндрических образцов асфальтобетонной смеси при давлениях прессования $P_{\text{прс}} = 30; 20; 10$ МПа и построить, для наглядности, график зависимости. Например, для горячей мелкозернистой смеси МЗС (тип Г, марка 1) аппроксимирующее выражение графика зависимости $\rho = f(P_{\text{прс}})$ имеет вид

$$\rho_i = 1,9702 \cdot P_{\text{прс}}^{0,0439} \text{ при } R^2 = 1,0000,$$

где ρ_i – текущее значение плотности образца асфальтобетонной смеси, прессуемого давлением, г/см³; $P_{\text{прс}}$ – давление прессования образца асфальтобетонной смеси, МПа; R^2 – величина достоверности аппроксимации, выполненной с помощью компьютерной программы Microsoft Excel.

2. Относительная деформация образца $\varepsilon_{\text{эт}}$, необходимая для получения нормативной плотности.

3. Начальная плотность ρ_0 исследуемой асфальтобетонной смеси.

Полученные значения параметров проверяются на сходимость по формуле

$$\rho_{\text{эт}} = \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon_{\text{эт}}}. \quad (1)$$

Вторым действием при расчете и прогнозировании параметров виброуплотняющего оборудования является получение графиков экспериментальных зависимостей: $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$, $\rho = f(K_{\text{реж}})$ и др. На основе полученных результатов виброформования пробных образцов асфальтобетонной смеси определяются конструктивные и режимные параметры виброуплотняющего оборудования. К этим параметрам относятся:

- псевдостатическое давление виброуплотняющего оборудования на асфальтобетонную смесь $\theta_{\text{стат}}$, Н/см²;

- динамическое давление виброуплотняющего оборудования на асфальтобетонную смесь $\theta_{\text{дин}}$, Н/см²;

- угловая частота вращения ω дебалансов вибровозбудителя виброуплотняющего оборудования или частота тока, питающего регулируемый электродвигатель вибровозбудителя, v , Гц; для данного лабораторного виброформователя кафедры ПермГТУ (рис. 2) $\omega = 6,267 \cdot v$, Гц;

• коэффициент режима работы виброуплотняющего оборудования, $K_{\text{реж}}$:

$$K_{\text{реж}} = \frac{\theta_{\text{стат}}}{\theta_{\text{дин}}}.$$

Псевдостатическое давление $\theta_{\text{стат}}$, определяемое как отношение силы тяжести виброуплотнителя (виброфомователя), 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.

Практически псевдостатическое давление для виброплиты составляет: $\theta_{\text{стат}} = 30 \dots 200$ кПа ($3 \dots 20$ Н/см²) и более.

Рабочая угловая частота вращения дебалансов вибратора виброформователя, а также коэффициент режима работы определяются с помощью графиков экспериментальных зависимостей – $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$ и $\rho = f(K_{\text{реж}})$ – или с помощью уравнений, аппроксимирующих эти графики.

Графики экспериментальных зависимостей получены обработкой протоколов лабораторных экспериментов по виброформованию пробных цилиндрических образцов асфальтобетонной смеси, имеющих разные размеры и объем.

Схема контейнерного узла лабораторного виброформователя приведена на рис. 3. Особенностью конструкции данного виброформователя является возможность аппаратурной регистрации текущих значений абсолютной линейной деформации цилиндрического образца асфальтобетонной смеси при его виброформовании. Типичный протокол виброформования пробных образцов асфальтобетонной смеси приведен на рис. 4.

С помощью вышеописанного лабораторного виброформователя были исследованы различные асфальтобетонные смеси и получен ряд экспериментальных регрессионных зависимостей плотности пробных образцов асфальтобетонной смеси от аргументов – $\theta_{\text{стат}}$; $(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$; $K_{\text{реж}}$ и других.

Так, для горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси МЗС (тип Г, марка 1) на рис. 6 представлен экспериментально полученный график зависимости $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$. Экспериментальная кривая, пред-

ставляющая собой функцию $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$, лучше всего аппроксимируется степенной функцией вида $y = k \cdot x^b$:

$$\rho_i = 1,0367 \cdot (\theta_{\text{стат}} \cdot v)^{0,1274} . \quad (2)$$

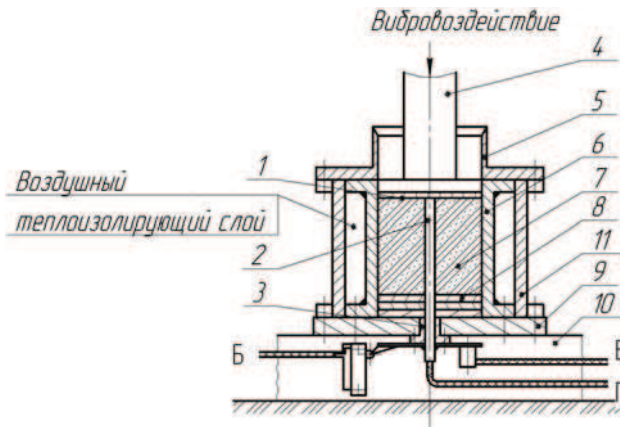


Рис. 3. Конструктивная схема цилиндрического контейнерного узла установки для проведения пробных экспериментов: 1 – диск устройства измерения линейной деформации; 2 – трубчатый шток; 3 – втулка направляющая; 4 – вибровозбудитель; 5 – центрирующая крышка; 6 – пресс-форма контейнера; 7 – асфальтобетонная 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

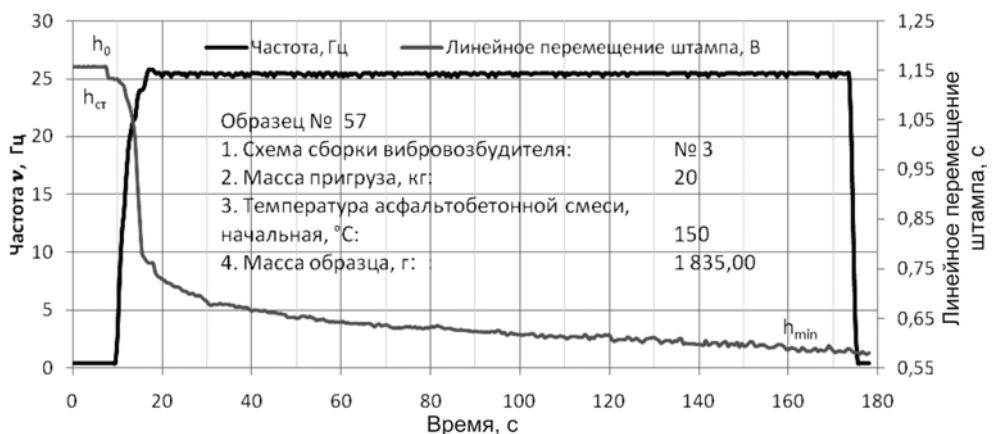


Рис. 4. Типичный протокол виброформования пробного образца из горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси МЗС (тип Г, марка 1)

Для горячей среднезернистой асфальтобетонной смеси ЩМА-15 ГОСТ 31015–2002 уравнение аппроксимации экспериментально полученного графика $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot \nu)$ с помощью степенной функции вида $y = k \cdot x^b$ имеет вид

$$\rho_i = 0,8672(\theta_{\text{стат}} \cdot \nu)^{0,1817} \quad \text{при } R^2 = 0,8861. \quad (3)$$

Вышеприведенные математические описания натуральных, визуальных и аппаратных наблюдений за процессом виброформования пробных образцов асфальтобетонной смеси, представленные в виде графиков и аппроксимирующих зависимостей, позволяют достаточно точно определить необходимое значение угловой частоты вращения дебалансов или, что то же самое, частоту питающего тока регулируемого электродвигателя вибровозбудителя виброформователя или виброуплотнителя. Для этого по уравнению аппроксимации (или по графику) для известного или заданного ρ определяется соответствующая величина критерия $(\theta_{\text{стат}} \cdot \nu)$, а из критерия при рассмотрении его как простого произведения определяется, при ранее установленном $\theta_{\text{стат}}$, угловая частота, или, как в данном конкретном случае, частота тока, питающего приводной регулируемый электродвигатель вибровозбудителя.

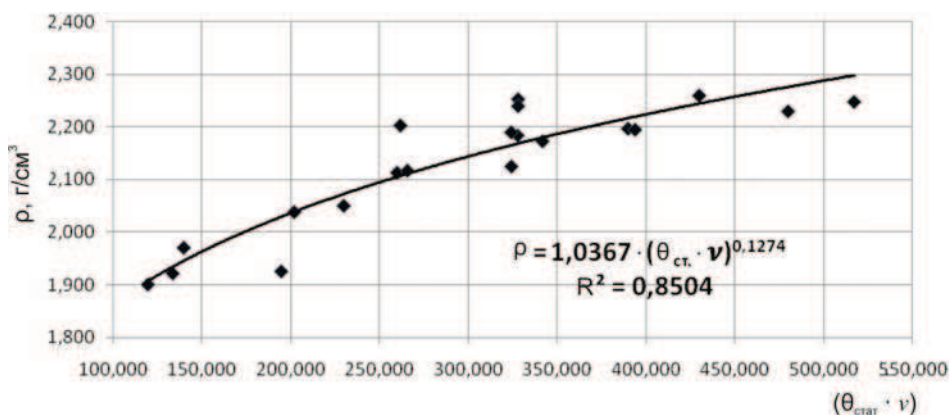


Рис. 5. График зависимости $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot \nu)$

для горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси МЗС (тип Г, марка 1)

Параметр $K_{\text{реж}}$, представляющий собой отношение псевдостатического давления $\theta_{\text{стат}}$ к условному давлению, создаваемому возмущающей силой вибратора $\theta_{\text{дин}}$, т.е. $K_{\text{реж}} = \theta_{\text{стат}} / \theta_{\text{дин}}$, определяется по

экспериментальному графику $\rho = f(K_{\text{реж}})$ или с помощью уравнения, аппроксимирующего экспериментальный график $\rho = f(K_{\text{реж}})$. Конкретные аппроксимирующие уравнения для различных асфальтобетонных смесей, пробные образцы из которых формировались с помощью лабораторного виброформователя, имеют вид:

- для мелкозернистой горячей асфальтобетонной смеси МЗС (тип Г, марка 1):

$$\rho = 2,0487 \cdot K_{\text{реж}}^{-0,064} \quad \text{или} \quad \rho = \frac{2,0487}{K_{\text{реж}}^{0,064}} \quad \text{при} \quad R^2 = 0,8296; \quad (4)$$

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

$$\rho = 2,3906 \cdot K_{\text{реж}}^{-0,088} \quad \text{или} \quad \rho = \frac{2,3906}{K_{\text{реж}}^{0,088}} \quad \text{при} \quad R^2 = 0,8771. \quad (5)$$

При необходимости экспериментальные графики, аппроксимирующие зависимости для других видов асфальтобетонной смеси, могут быть достаточно легко и быстро получены с помощью лабораторной виброформирующей установки, оснащенной системой контроля и регистрации параметров процесса виброформования образцов асфальтобетонной смеси.

Полученные с помощью экспериментальных зависимостей параметры $\theta_{\text{стат}}$, $K_{\text{реж}}$ позволяют осуществить настройку виброуплотняющего оборудования для получения заданной или прогнозируемой плотности асфальтобетонной смеси.

Настройка параметров виброуплотняющего или виброформирующего оборудования, объединяемых термином «виброоборудование», заключается в следующем. Определяется полная масса виброоборудования с помощью установленного по экспериментальному графику $\rho = f(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$ или уравнению, аппроксимирующему этот график, параметра $\theta_{\text{стат}}$, для чего, считая критерий $(\theta_{\text{стат}} \cdot v)$ простым произведением двух величин, т.е. $(\theta_{\text{стат}} \cdot v) = \psi$, вычисляем значение $\theta_{\text{стат}}$, Н/см², при уже известном или принятом значении v :

$$\theta_{\text{стат}} = \frac{\psi}{v}.$$

Продолжая вычисление, определяем полную расчетную массу виброплиты, кг:

$$M_{\Sigma} = M_{пл} + M_{пр} = \theta_{\text{стат}} \cdot S \cdot q^{-1},$$

где M_{Σ} – полная расчетная масса виброплиты, состоящая из конструктивной массы виброплиты $M_{пл}$ и массы пригрузов $M_{пр}$; S – площадь поперечного сечения виброформованных образцов асфальтобетонной смеси или активная площадь настраиваемой виброплиты, см^2 ; g – ускорение свободного падения, $\text{см}/\text{с}^2$, $g = 981 \text{ см}/\text{с}^2$.

По графику (рис. 5) зависимостей $\rho_i = f(K_{\text{реж}})$ для соответствующей асфальтобетонной смеси или уравнению, аппроксимирующему этот график, определяется для заданной плотности ρ или $\rho_{\text{мод.}}$, величина коэффициента $K_{\text{реж}}$. Из полученного численного значения коэффициента $K_{\text{реж}} = \theta_{\text{стат}} / \theta_{\text{дин}}$ определяется необходимое значение $\theta_{\text{дин}}$. Считая, что $\theta_{\text{дин}} = F_{\text{возм}} / S$, где $F_{\text{возм}}$ – возмущающая сила вибратора виброплиты, определяем значение $F_{\text{возм}}$.

После определения численных значений ω или ν и соответствующих им значений $K_{\text{реж}}$, $\theta_{\text{стат}}$ следует убедиться, что скорость деформирования асфальтобетонной смеси при ее виброформовании или виброуплотнении достаточна для ее согласования со скоростью перемещения базовой машины.

Полученные расчетные параметры настройки виброуплотняющего или виброформирующего оборудования рекомендуется проверить путем формования пробных образцов асфальтобетонной смеси на лабораторной виброформирующей установке.

Применение рассмотренной расчетной методики позволяет:

- рассчитать для любой применяемой асфальтобетонной смеси рациональные параметры работы виброуплотняющего и виброформирующего оборудования, предназначенного для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона и для других целей;

- 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) ГОСТ 9128–97 и ЩМА-15 ГОСТ 31015–2002;

- оценить технологические возможности находящегося в производственной эксплуатации виброуплотняющего оборудования (в основном виброплит) по уплотнению различных асфальтобетонных смесей;
- обосновать конструктивные и режимные параметры вновь проектируемого виброуплотняющего и виброформирующего оборудования, предназначенного для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона и для других целей [6, 7].

Список литературы

1. 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.
2. Дорожно-строительные машины и комплексы / В.И. Баловнев [и др.]. – М.; Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.
3. Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И.А. Бородачева. – М.: Машиностроение, 1973. – 504 с.
4. Шардин М.В. О возможности создания средств механизации для изготовления прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона // Развитие комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007.
5. Амбарцумян В.В., Носов В.Б. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. – М., Научтехлитиздат, 1999.
6. Шардин М.В. Применение виброактивного оборудования при изготовлении прикромочных водоотводных лотков // Вестник ПГТУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2010. – №1. – С. 65–69.
7. Белоногов Л.Б., Шардин В.П., Шардин М.В. Определение оптимальной скорости движения виброформирующего оборудования прикромочных водоотводных лотков из асфальтобетона // Вестник ПГТУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2011. – №1. – С. 124–135.

Получено 15.09.2011