

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №5 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/69TVN516.pdf>

Статья опубликована 13.10.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Поляничко Н.В. Экспериментальное исследование уплотнения балластного слоя роторным устройством // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №5 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/69TVN516.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 625.084

Поляничко Никита Владимирович

ФГОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
Россия, Санкт-Петербург
Аспирант
E-mail: pnvq@mail.ru

Экспериментальное исследование уплотнения балластного слоя роторным устройством

Аннотация. Уплотнение грунта является одной из самых важных задач дорожно-строительных машин. Качество уплотнения грунта определяется степенью и равномерностью уплотнения. Уплотнительные машины должны быть высокопроизводительными и эффективными. Высокая плотность грунта обеспечивается выбором параметров рабочих органов и режимов работы. При строительстве и ремонте щебеночных балластных оснований железных дорог и на путях метрополитена степень уплотнения балласта в зонах между шпалами ниже, чем требуется, в результате возрастает интенсивность накопления остаточной деформации. Для уплотнения щебеночных балластных оснований в этих зонах рекомендуется использовать роторное устройство, реализующее непрерывный принцип действия. Для проведения физического эксперимента изготовлена физическая модель роторного устройства. Целью экспериментального исследования является проверка работоспособности физической модели роторного устройства и достоверности расчетов с помощью разработанной математической модели расчета параметров технологии и режима работы роторного устройства. В результате физического и математического экспериментов получены теоретические и экспериментальные данные относительной осадки уплотнения. С помощью математической модели проанализированы параметры режима работы физической модели роторного устройства. Даны рекомендации по конструкции устройства для повышения надежности конструкции и эффективности уплотнения.

Ключевые слова: уплотнение грунта; роторное устройство; рациональные параметры уплотнения; качество уплотнение; относительная осадка уплотнения; щебеночные балластные основания; эффективное уплотнение; рекомендации по конструкции; математическая модель; экспериментальное исследование

Введение

При строительстве и ремонте конструкций дорог с рельсошпальной решеткой, зоны балластного слоя между шпалами (зоны шпальных ящиков) остаются неуплотненными, что приводит к остаточным осадкам и расстройством геометрии пути при воздействии нагрузки. Для выполнения технологической операции по уплотнению балластного слоя в зоне

шпальных ящиков на кафедре «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I разработано роторное устройство [2, 3]. Для определения рациональных параметров технологии и режима работы роторного устройства разработана математическая модель и программа в среде Delphi-7 для автоматизации расчета [4]. В результате физического эксперимента производилась верификация математической модели.

1. Экспериментальное исследование уплотнения балластного слоя роторным устройством

Экспериментальное исследование проводилось в депо рельсосварочного предприятия РСП №1 города Санкт-Петербурга. Верхнее строение пути представлено звеньевой конструкцией пути, рельсы Р-65, шпалы железобетонные с эпюрой 1840 шт./км, балласт – щебень из твердых пород с фракциями от 25 до 60 мм. Параметры экспериментального участка пути представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

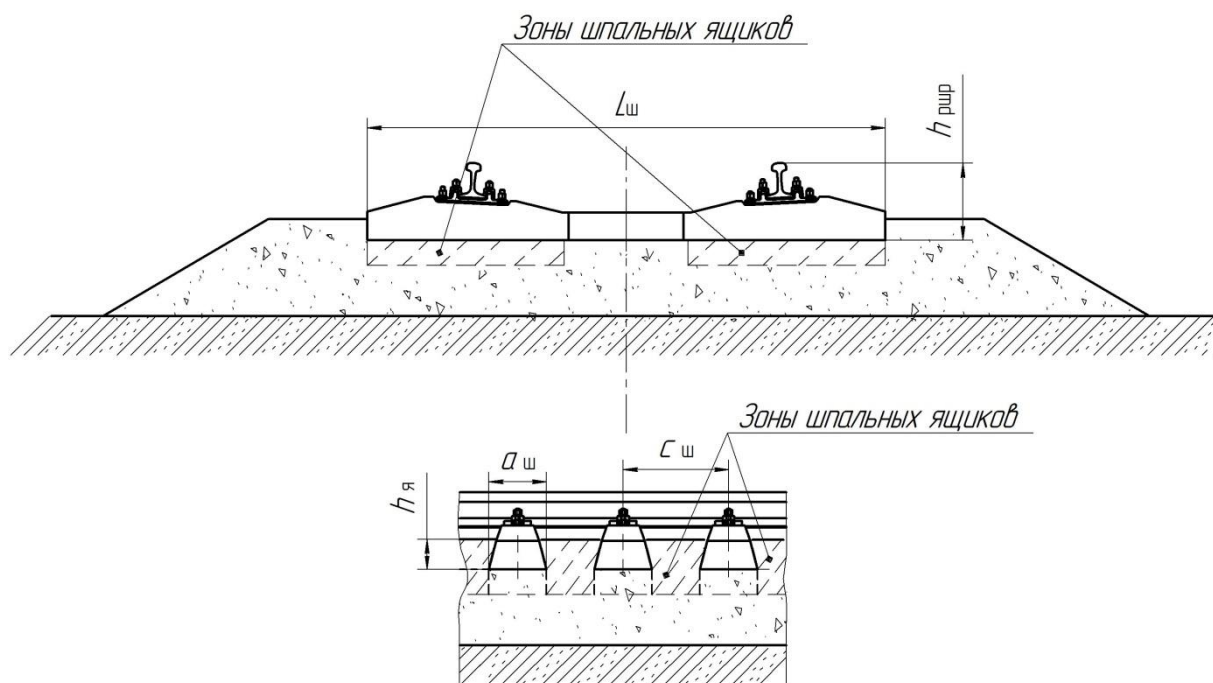


Рисунок 1. Параметры экспериментального участка пути (составлено автором)

Таблица 1

Параметры экспериментального участка пути

Параметр пути	Значение
Высота рельсошпальной решетки $h_{ршр}$, мм	400
Толщина слоя балласта в шпальном ящике $h_{я}$, см	15
Длина шпалы $L_{ш}$, см	270
Расстояние между осями шпал по эюре $C_{ш}$, см	55
Ширина шпалы $a_{ш}$, см	30

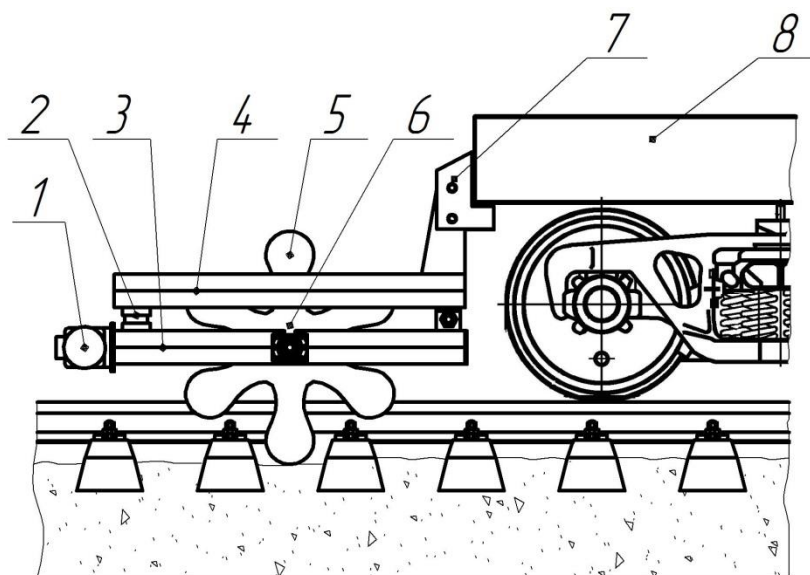


Рисунок 2. Физическая модель роторного устройства (составлено автором): 1 – дебалансный вибратор; 2 – упругий элемент; 3 – нижняя рама; 4 – верхняя рама; 5 – луч колеса; 6 – уплотнительное колесо с лучами для взаимодействия их с балластным слоем; 7 – кронштейн; 8 – железнодорожная платформа

Для проведения натурного исследования изготовлена физическая модель роторного устройства (рисунок 2) [4]. Перемещение физической модели роторного устройства для уплотнения балластного слоя в зоне шпальных ящиков, смонтированного на железнодорожной платформе осуществлялось тепловозом, который двигался с постоянной поступательной скоростью движения $V_m = 0,65$ км/ч. Параметры физической модели устройства представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры физической модели роторного устройства

Параметр физической модели роторного устройства	Значение
Частота колебаний вибровозбудителя f_v , Гц	50
Масса дебалансов m_d , кг	8,2
Эксцентриситет дебалансов e_d , мм	7
Приведенная вынуждающая сила вибровозбудителя $P_{пр}$, кН	11,9
Плечо рычага l_1 , мм	700
Плечо рычага l_2 , мм	800
Плечо рычага l_4 , мм	725
Мощность вибровозбудителя: номинальная потребляемая N , кВт	0,9
Коэффициент жесткости упругого элемента K , кН/м	70
Масса колеса рабочего органа m_k , кг	105
Масса балки рабочего органа m_b , кг	85
Момент инерции балки рабочего органа J_b , кг·м ²	127,5
Амплитуда колебаний уплотнительной поверхности, мм	0,4
Рабочая ширина лучей колес B , см	12

Уплотнительное колесо с лучами оказывает на балласт в зоне шпальных ящиков вибрационное воздействие с вертикальной подачей рабочего органа. Вращение колеса

осуществляется за счет соприкосновения луча колеса со шпалой, в результате следующий луч попадает в следующий шпальный ящик.

До уплотнения балластного слоя с помощью физической модели роторного устройства балласт в зоне шпальных ящиков был разрыхлен. Уплотнение балластного слоя производилось за два рабочих прохода. После первого прохода производилась подсыпка балласта в зоны шпальных ящиков с последующем уплотнением во втором проходе. Степень уплотнения балластного слоя измерялась до уплотнения и после каждого рабочего прохода.

Измерения степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках осуществляли с помощью электронного динамического плотномера грунта ZORN ZFG 3.0, измеряющий динамический модуль упругости грунта. Плотность балласта определялась по предварительно полученной экспериментальной зависимости динамического модуля упругости от плотности балласта для фракций щебня 25-60 мм. Для этого на трех подготовленных участках с различной степенью уплотнения измерялись плотность и динамический модуль упругости. Для измерения плотности использовался метод с использованием гидроплотномера [10]. График зависимости динамического модуля упругости от плотности балласта представлена на рисунке 3.

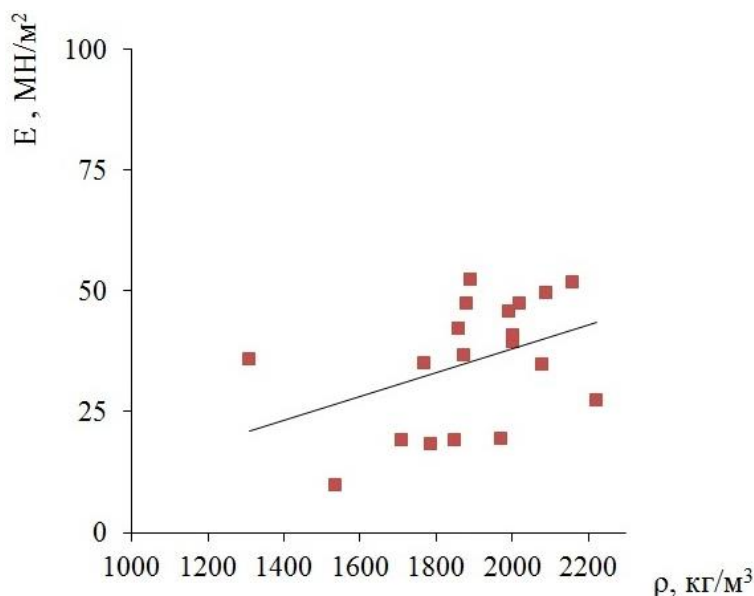


Рисунок 3. Зависимость динамического модуля упругости от плотности балласта (составлено автором)

Для оценки качества уплотнения в математической модели используется параметр относительная осадка уплотнения [6, 7]. Поэтому для сравнения экспериментальных и теоретических данных, экспериментальные значения плотности пересчитывались на относительную осадку уплотнения, которая определялась по формуле [1]:

$$E = 1 - \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (1)$$

где: E – относительная осадка уплотнения;

ρ – плотность балласта, кг/м³;

$\rho_0 = 1384$ кг/м³ – насыпная плотность балласта.

Схема измерений динамического модуля упругости балласта показана на рисунке 4.

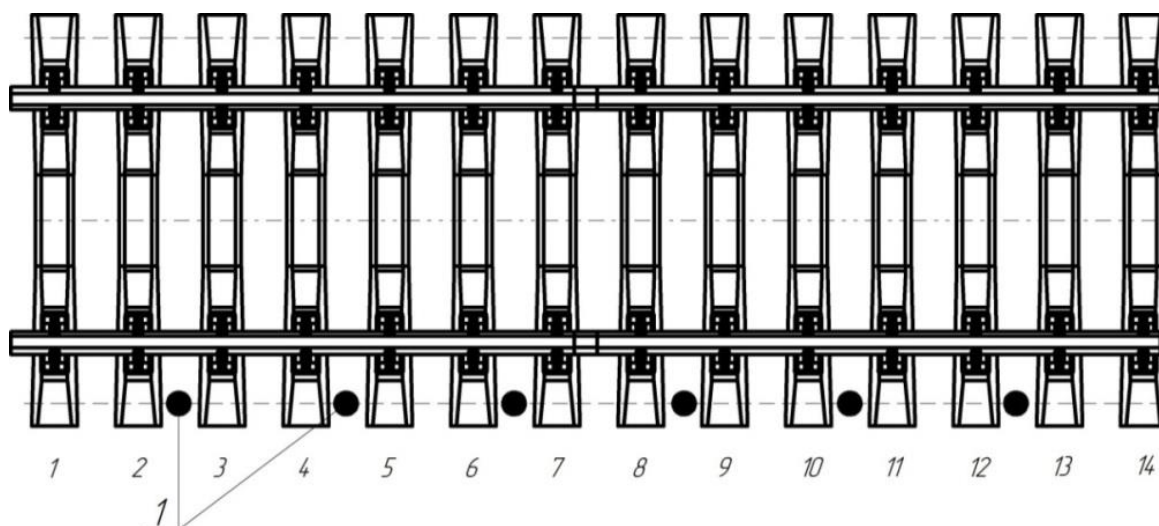


Рисунок 4. Схема измерений плотности балластного слоя в зоне шпальных ящиков:
 1 – места установки динамического плотномера (составлено автором)

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 3. Дисперсия D и точность оценки ε при доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ показателей оценки качества уплотнения представлены в таблице 4.

Таблице 3

Результаты экспериментального исследования

Номера шпал, между которыми находится шпальный ящик	Динамический модуль упругости, E_d , МН/м ²	Плотность, ρ , кг/м ³	Относительная осадка уплотнения, E
До прохода экспериментального устройства			
2-3	26,7	1542,7	0,103
5-6	23,0	1393,5	0,007
6-7	25,0	1474,2	0,061
8-9	26,0	1514,5	0,086
10-11	23,0	1393,5	0,007
12-13	24,8	1466,1	0,056
	$E_{дср} = 24,8$	$\rho_{ср} = 1464,1$	$E_{ср} = 0,053$
После первого прохода физической модели устройства			
2-3	23,0	1393,5	0,007
5-6	25,0	1474,2	0,061
6-7	29,0	1635,5	0,154
8-9	30,0	1675,8	0,174
10-11	27,5	1575,0	0,121
12-13	26,1	1518,5	0,089
	$E_{дср} = 26,8$	$\rho_{ср} = 1545,4$	$E_{ср1} = 0,101$
После второго прохода физической модели устройства			
2-3	28,0	1595,2	0,132
5-6	24,0	1433,9	0,035
6-7	27,2	1562,9	0,114
8-9	35,0	1877,4	0,263
10-11	27,2	1562,9	0,114
12-13	31,1	1720,2	0,195
	$E_{дср} = 28,8$	$\rho_{ср} = 1625,4$	$E_{ср2} = 0,142$

Таблице 4

Дисперсии D и точность оценки ε при доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ показателей оценки качества уплотнения

Динамический модуль упругости E_d			Плотность ρ			Относительная осадка уплотнения E		
D	ε	Доверительный интервал	D	ε	Доверительный интервал	D	ε	Доверительный интервал
До прохода экспериментального устройства								
2,311	1,594	(23,2;26,3)	3757,5	64,3	(1399,8; 1528,4)	0,002	0,042	(0,012;0,095)
После прохода экспериментального устройства (без подсыпки балласта)								
6,747	2,725	(24;29,5)	10968,5	109,9	(1435,5;1655,3)	0,004	0,065	(0,036;0,166)
После прохода экспериментального устройства (с подсыпкой балласта)								
14,503	3,996	(24,8;32,8)	23580,6	161,1	(1464,3;1670,4)	0,006	0,082	(0,060;0,224)

Для определения рациональных параметров технологии и режима работы роторного устройства разработана математическая модель и программа в среде Delphi-7 для автоматизации расчета. Средние значения относительной осадки уплотнения после двух проходов, полученные после эксперимента сравнивались с расчетными, полученными в результате математического эксперимента. Относительная и абсолютная ошибки для двух расчетных случаев составили 5,9% и 0,7% [4].

2. Анализ режима работы роторного устройства

В результате исследований [5, 8, 9] определены параметры взаимодействия рабочих органов и балластного слоя. С помощью разработанной математической модели произведен анализ параметров взаимодействия физической модели роторного устройства и уплотняемого объема балласта. В таблице 5 представлены исследуемые параметры и их рекомендуемые значения для обеспечения эффективного виброуплотнения.

Таблица 5

Исследуемые параметры взаимодействия физической модели роторного устройства и уплотняемого объема балласта

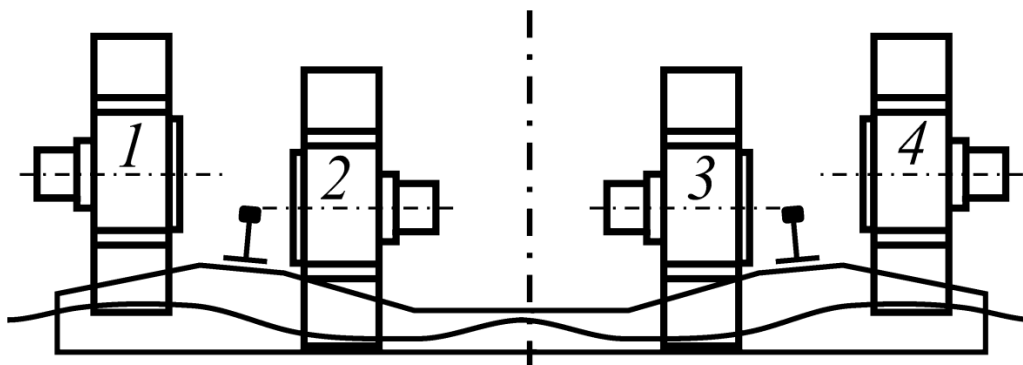
Параметр	Рекомендуемое значение
Параметр режима уплотнения C	<1
Отношение времени отрыва к времени контакт t_o/t_k	3-4
Скорость удара луча колеса $V_{уд}$, м/с	50-100 см/с

В результате анализа сделаны следующие выводы:

- Реализуется отрывной режим работы, так как параметр режима уплотнения $C < 1$.
- Значения отношение времени отрыва/контакта t_o/t_k принимает требуемые значения ($t_o/t_k = 3-4$) в конце процесса уплотнения.
- Скорость удара луча колеса $V_{уд}$ изменяется от 6,8–14,8 см/с.
- Сила воздействия луча колеса на балласт в первом и во втором проходах не превышает приведенную вынуждающую силу $P_{пр} = 11,9$ кН; мощность, затрачиваемая на уплотнение балласта, не превышает номинальную потребляемую мощность вибровозбудителя $N_{потр} = 0,9$ кВт.

3. Рекомендации по конструкции физической модели роторного устройства

1. При возможном возникновении ситуации, когда луч колеса установится на верхнюю поверхность шпалы, должна среагировать автоматическая системы подъема-опускания колеса и отключения источника вибраций, с последующем его включением при опускании в шпальный ящик.
2. Рабочие органы роторного устройства необходимо устанавливать на независимой подвеске, так как шпальные ящики могут быть заполнены балластом на различном уровне. Расположение рабочих органов устройства на независимой подвеске показано на рисунке 5.



*Рисунок 5. Расположение рабочих органов устройства на независимой подвеске
(составлено автором)*

3. Оптимальным по характеру вибровоздействия, является расположение источника вибраций на раме ближе к центру колеса.

Заключение

В результате экспериментального исследования получены значения относительной осадки уплотнения после уплотнения балластного слоя в зоне шпальных ящиков с помощью разработанной физической модели роторного устройства. Экспериментальные данные сравнивались с теоретическими, полученными в результате математического эксперимента. Расчет относительной и абсолютной ошибки показал хорошую сходимость теоретических и экспериментальных данных. Это дает возможность использовать разработанную программу для более широкого варьирования параметров технологии и режимов работы роторного устройства. Для повышения качества уплотнения и надежности конструкции даны рекомендации по конструкции роторного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атаманюк А.В. Технология уплотнения щебеночного балластного слоя машинами типа ВПО в процессе глубокой очистки щебня: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Атаманюк Александр Васильевич. – СПб., 2010. – 174 с.
2. Пат. 145965 Российская Федерация, МПК Е 01 В 27/16. Устройство для уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках железнодорожного пути / М.В. Попович, Б.Г. Волковойнов, А.В. Атаманюк, Н.В. Поляничко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ПГУПС. - 2014116691/11, заявл. 24.04.2014, опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27. - 2 с.: ил.
3. Поляничко Н.В. Уплотнение балластного слоя в шпальных ящиках // Путь и путевое хозяйство. – 2015 – №1. – С. 26-27.
4. Поляничко Н.В. Физическая и математическая модели уплотнения балластного слоя роторным устройством [Электронный ресурс] / Н.В. Поляничко // Бюллетень результатов научных исследований. – 2016 – №2. – С. 5-16. – Режим доступа: <http://brni.info/>.
5. Попович М.В. Исследование процесса уплотнения щебеночной призмы виброплитами машины ВПО с установлением их рациональных параметров и режимов работы: дисс. ... канд. техн. наук. – Ленинград, 1967. – 159 с.
6. Попович М.В. Путевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы: Учебное пособие / М.В. Попович, В.М. Бугаенко, В.Б. Бредюк и др.; под ред. М.В. Поповича, В.М. Бугаенко. – М.: ГОУ Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007 – 267 с.
7. Попович М.В. Путевые машины: учебник / М.В. Попович, В.М. Бугаенко, Б.Г. Волковойнов и др.; под ред. М.В. Поповича, В.М. Бугаенко. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 820 с.
8. Попович М.В. Расчет рабочих органов путевых машин. Ч.6: Расчет уплотнительного рабочего оборудования выправочно-подбивочных машин и машин динамической стабилизации пути непрерывного действия: учебное пособие / М.В. Попович, Б.Г. Волковойнов, А.В. Атаманюк; под ред. М.В. Поповича. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – 51 с.
9. Сырейщиков Ю.П. Новые путевые машины: (Подбивочно-выправочные и рихтовочная ВПР-1200, ВПРС-500 и Р-2000) / Ю.П. Сырейщиков, Е.С. Дмитриев, Е.А. Лукин и др.; под ред. Ю.П. Сырейщикова. – М.: Транспорт, 1984. – 317 с.
10. Терехин Т.Н. Гидроплотномер // Путь и путевое хозяйство. – 1991 – №1. С. 17.

Polianichko Nikita Vladimirovich

Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, Russia, Saint-Petersburg
E-mail: pnvq@mail.ru

Experimental research of tamping ballast layer by the rotary device

Abstract. Compaction of soil is one of the most important problem of road-building machines. The quality of compaction is determined by the degree and uniformity of compaction. The compaction machines must be productive and efficient. The high density of the soil is ensured by choosing of parameters of working equipment and modes of operation. During the construction or repairing of gravel ballast grounds of railways and metro lines the degree of compaction of the ballast in the zones between the sleepers is lower than required, resulting increases the intensity of the accumulation of residual deformation. For tamping gravel ballast grounds in these zones, it is recommended to use a rotary device, performing the continuous operation principle. To conduct a physical experiment, made the physical model of the rotary device. The aim of this experimental study is to test the operability of the physical model of the rotary device and the reliability of calculations using mathematical models of calculation of parameters of technology and mode of operation of the rotary device. As a result of physical and mathematical experiments the obtained theoretical and experimental data of ratio sediment of compaction. Using the mathematical model analyzed parameters of the operation mode of the physical model of the rotary device. Recommendations for the design of the device to improve the reliability of the design and effectiveness of the compaction.

Keywords: compaction of soil; rotary device; the rational parameters of compaction; the quality of compaction; the ratio sediment of compaction; gravel ballast ground; effective compaction; recommendations for design; mathematical model; experimental research