

УДК (УДК) 625.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ И ОСЦИЛЛЯЦИОННЫХ КАТКОВ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF VIBRATION AND OSCILLATING ROLLERS

Шишкин Е.А.¹, Иванченко С.Н.¹, Сидорков В.В.¹, Мамаев Л.А.², Смоляков А.А.¹
Shishkin E.A.¹, Ivanchenko S.N.¹, Sidorkov V.V.¹, Mamaev L.A.², Smolyakov A.A.¹¹ – Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск, Россия)² – Братский государственный университет (Братск, Россия)¹ – Pacific national university (Khabarovsk, Russian Federation)² – Bratsk State University (Bratsk, Russian Federation)

Аннотация. Моделирование является важным этапом проектирования новых моделей дорожных катков. В процессе моделирования удается исключить варианты, не позволяющие получить оптимальную структуру или параметры проектируемой машины. Для осуществления указанного этапа необходимо иметь информацию о диапазоне значений конструктивных параметров катка, главным из которых является эксплуатационная масса. Масса, приходящаяся на ось дорожного катка, зависит от его эксплуатационной массы и состоит из массы части рамы и массы вальца, значение которой требуется при динамическом моделировании системы «вибрационный валец-уплотняемый материал». Производители дорожных катков в технической документации не приводят массу вальца, поэтому определение ее значения затруднено. В предлагаемом исследовании получена аналитическая зависимость массы вальца от технологических параметров вибрационного и осцилляционного катка, а проведенный статистический анализ показал, что для расчетов массу вальца можно принимать равной 20% от эксплуатационной массы катка. В результате анализа системы сил, действующих на валец, установлено, что при одинаковой массе осцилляционный валец в сравнении с вибрационным развивает большую вынуждающую силу. Кроме этого, импульс вынуждающей силы осцилляционного вальца выше, чем импульс силы вибрационного. Результаты исследования могут быть использованы для моделирования взаимодействия гладкого вальца дорожного катка при проектировании новых моделей машин.

Ключевые слова: дорожный каток, валец, вибрация, осцилляция, вынуждающая сила, статический момент, масса вальца.

Дата принятия к публикации: 03.06.2021
Дата публикации: 25.06.2021

Сведения об авторах:

Шишкин Евгений Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном

Abstract. Simulation is an important step in the design of new road roller models. In the process of modeling, it is possible to exclude options that do not allow obtaining the optimal structure or parameters of the designed machine. To carry out this stage, it is necessary to have information about the range of values of the design parameters of the roller, the main of which is the operating weight. The mass per axle of a road roller depends on its operating mass and consists of the mass of the frame part and the mass of the drum, the value of which is required in the dynamic simulation of the vibrating drum-compacted material system. Manufacturers of road rollers do not give the drum weight in their technical documentation, so it is difficult to determine its value. In the proposed study, the analytical dependence of the drum mass on the technological parameters of the vibrating and oscillating roller was obtained, and the statistical analysis carried out showed that for calculations the drum mass can be taken equal to 20% of the operational roller mass. As a result of the analysis of the system of forces acting on the drum, it was found that with the same mass, the oscillating drum, in comparison with the vibration, develops a greater driving force. In addition, the impulse of the driving force of the oscillating drum is higher than the impulse of the vibratory drum. The research results can be used to simulate the interaction of a smooth drum of a road roller in the design of new machine models.

Keywords: road roller, drum, vibration, oscillation, driving force, static moment, drum mass.

Date of acceptance for publication: 03.06.2021
Date of publication: 25.06.2021

Authors' information:

Evgeniy A. Shishkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department “Transport and technological systems in construction and mining”

деле», Тихоокеанский государственный университет, *e-mail: 004655@pnu.edu.ru.*

Иванченко Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, ректор Тихоокеанского государственного университета, *e-mail: sni@mail.khstu.ru.*

Сидорков Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Тихоокеанский государственный университет, *e-mail: sidorkov@pnu.edu.ru.*

Мамаев Леонид Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование», Братский государственный университет, *e-mail: sdm@brstu.ru.*

Смоляков Александр Андреевич – магистрант, Тихоокеанский государственный университет, *e-mail: 2012003170@pnu.edu.ru.*

at Pacific national university, *e-mail: 004655@pnu.edu.ru.*

Sergej N. Ivanchenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Pacific National University, *e-mail: sni@mail.khstu.ru.*

Vladimir V. Sidorkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department “Road transport operation” at Pacific national university, *e-mail: sidorkov@pnu.edu.ru.*

Leonid A. Mamaev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department “Hoisting-and-transport, construction, road machines and equipment” at Bratsk State University, *e-mail: sdm@brstu.ru.*

Aleksandr A. Smolyakov - graduate student at Pacific National University, *e-mail: 2012003170@pnu.edu.ru.*

1. Введение

Для уплотнения верхнего слоя покрытия автомобильной дороги используют дорожные катки статического или динамического типов [1]. В настоящее время преимущество отдается динамическому способу, который позволяет более эффективно выполнять операцию уплотнения [2]. Вальцы дорожных катков динамического действия оснащаются вибрационным или осцилляционным механизмом [3].

Для аналитического описания поведения динамической системы «валец – уплотняемый материал» требуются численные значения массы катка, приходящейся на ось, а также массы вальца катка [4]. Так как заводы-изготовители не указывают массу вальца в технических характеристиках дорожных катков ее определение затруднено.

2. Методика исследования

Эксплуатационный вес дорожного катка G распределяется на передний и задний вальцы согласно схеме, изображенной на рис. 1.

При этом эксплуатационный вес дорожного катка равен

$$G = G_1 + G_2, \quad (1)$$

где G_1 , G_2 - статические нагрузки на переднюю и заднюю оси соответственно, Н.

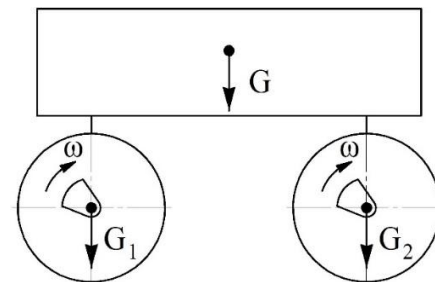


Рис. 1. Схема распределения веса катка

Тогда эксплуатационная масса катка равна

$$M = M_1 + M_2, \quad (2)$$

где M_1 - масса катка, приходящаяся на переднюю ось, кг; M_2 - масса катка, приходящаяся на заднюю ось, кг.

Или с учетом (1) выражение (2) примет вид

$$M = \frac{G_1 + G_2}{g}. \quad (3)$$

Масса катка, приходящаяся на i -ю ось равна

$$M_i = m_{ei} + m_{pi}, \quad (4)$$

где m_{ei} - масса i -го вальца, включая массу вибрационного механизма, кг; m_{pi} - масса части рамы, опирающейся на i -й валец, кг.

Круговая частота вибрации дебаланса вальца равна [5]

$$\omega = 2\pi f, \quad (5)$$

где f - частота вибрации, Гц.

Статический момент дебаланса равен [5]

$$[m_0 r_0] = \frac{F_u}{\omega^2}, \quad (6)$$

где F_u - центробежная сила вибровозбудителя, Н; ω - круговая частота вибрации дебаланса вальца, рад/с.

Массу вальца можно определить из соотношения

$$m_g = \frac{[m_0 r_0]}{A}, \quad (7)$$

где A - номинальная амплитуда колебаний дебаланса, м.

С учетом (5) и (6) уравнение (7) примет вид

$$m_g = \frac{F_u}{\omega^2 A}. \quad (8)$$

Статистический анализ конструктивных параметров более 280 моделей дорожных катков фирм AMMANN, BOMAG, DYNAPAC, HAMM, VOLVO, SAKAI, PASCAT и CATERPILLAR показал сильную статистическую связь массы вальца с его диаметром и шириной, а также с эксплуатационной массой катка (рис. 2 - 4). Коэффициент достоверности аппроксимации для полученных зависимостей не менее 0,85. Следовательно, масса вальца является важным конструктивным параметром дорожного катка, который необходимо учитывать при моделировании.

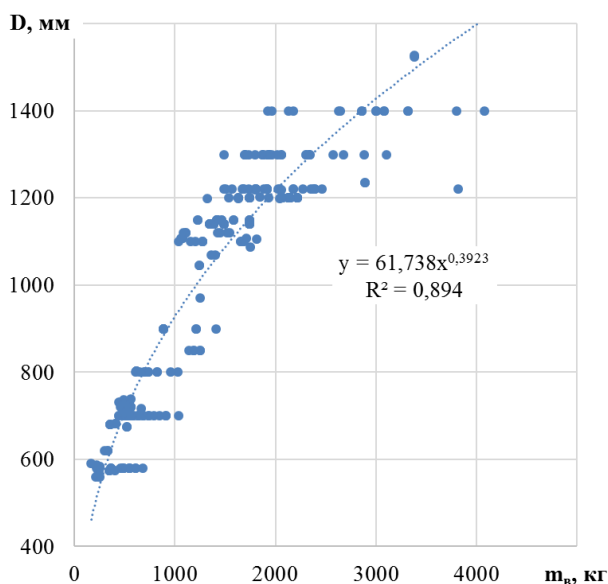


Рис. 2. Статистическая связь между диаметром D и массой m_g вальца

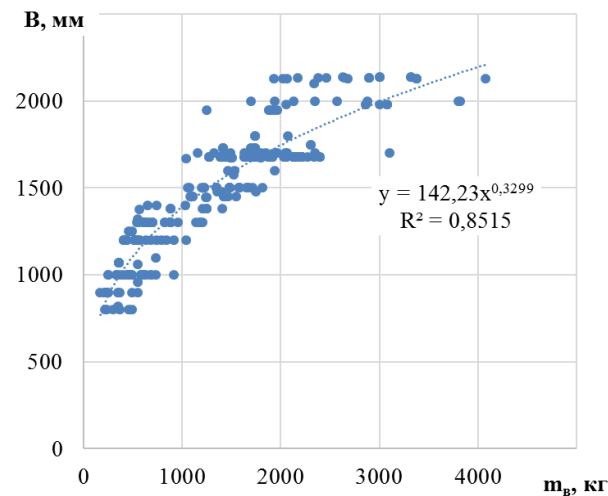


Рис. 3. Статистическая связь между шириной B и массой m_g вальца

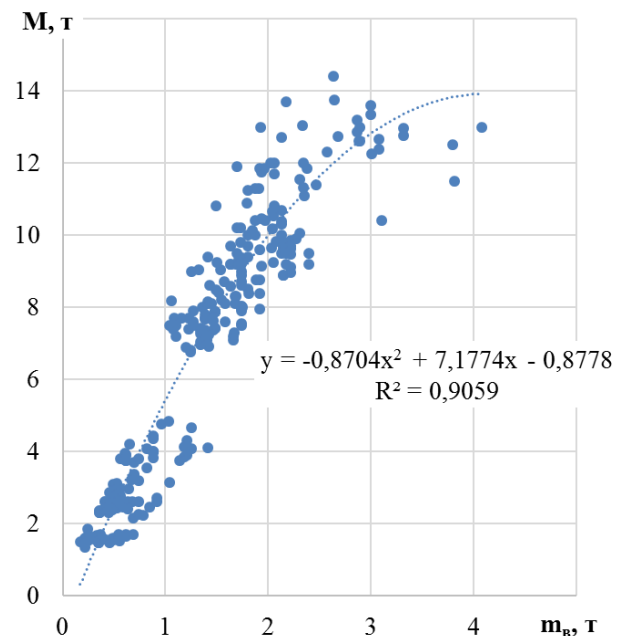


Рис. 4. Статистическая связь между массой катка M и массой вальца m_g

В результате анализа отношения массы вальца к эксплуатационной массе m_g/M для различных моделей катков установлено, что среднее значение составляет приблизительно 20% при стандартном отклонении 0,05 (рис. 5). Таким образом масса вальца в среднем может быть принята равной 20% от эксплуатационной массы катка.

Исследуем поведения вальца в процессе его колебательного движения. Без учета уп-

лотняемого материала на валец действуют сила инерции и вынуждающая сила [6] (рис. 6).

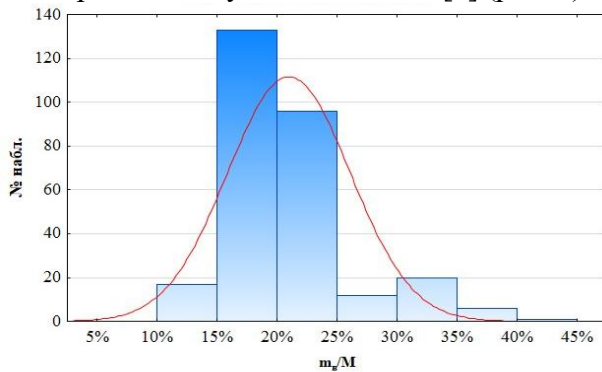


Рис. 5. Гистограмма m_e/M для различных моделей дорожных катков

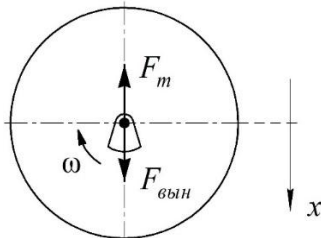


Рис. 6. Схема действия сил на вибрационный валец

Сила, характеризующая инерционные свойства вальца, определяется по формуле

$$F_m = m_e \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (9)$$

где x – вертикальное перемещение вальца, см.

Вынуждающая сила дебаланса вальца изменяется по следующему закону

$$F_{вын} = [m_0 r_0] \omega^2 \cos(\omega t). \quad (10)$$

Рассматривая равновесие сил относительно оси x (рис. 3) с учетом уравнений (9) и (10), получим выражение для виброускорения вальца

$$a(t) = \frac{[m_0 r_0] \omega^2}{m_e} \cos(\omega t), \quad (11)$$

где a – текущее значение виброускорения.

Амплитудное значение виброускорения с учетом (6) равно

$$a_A = \frac{F_u}{m_e}. \quad (12)$$

После интегрирования уравнения (11) получим выражение для виброскорости вальца

$$v(t) = \frac{[m_0 r_0] \omega}{m_e} \sin(\omega t), \quad (13)$$

где v – текущее значение виброскорости.

Амплитудное значение виброскорости определяется уравнением

$$v_A = \frac{[m_0 r_0] \omega}{m_e}. \quad (14)$$

С учетом (6) уравнение для виброскорости примет вид

$$v_A = \frac{F_u}{m_e \omega}. \quad (15)$$

Из уравнения (14) получим выражение для определения импульса вынуждающей силы

$$v_A m_e = [m_0 r_0] \omega. \quad (16)$$

3. Анализ результатов

В результате статистического анализа установлена связь между виброскоростью вальца и амплитудой его колебаний (рис. 7).

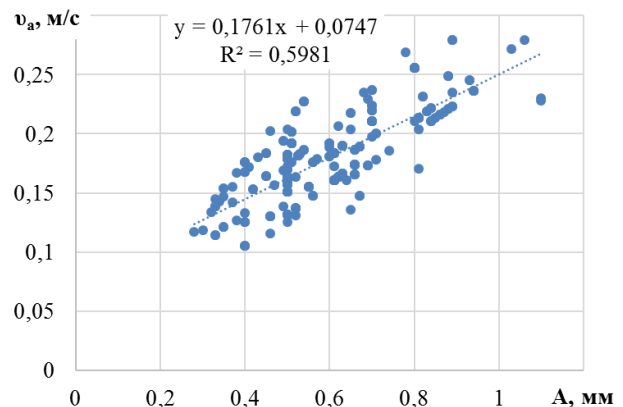


Рис. 7. Статистическая связь между виброскоростью вальца v_A и амплитудой колебаний дебаланса A

Особый интерес представляют статистические зависимости центробежной силы дебаланса и импульса вынуждающей силы от массы вальца для различных видов динамического воздействия (рис. 8, 9).

Анализ диаграмм, представленных на рис. 9 и 10, позволяет сделать вывод о том, что при одинаковой массе осцилляционный валец в сравнении с вибрационным развивает большую вынуждающую силу. Кроме это-

го, импульс вынуждающей силы осцилляционного вальца выше, чем импульс силы вибрационного.

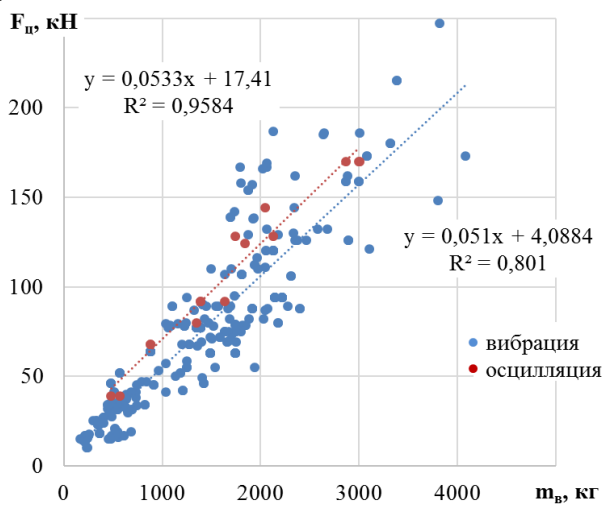


Рис. 8. Статистическая связь между центробежной силой $F_{ц}$ и массой вальца $m_{в}$

4. Выводы

В результате проведенного исследования установлена сильная связь массы вальца с основными конструктивными параметрами дорожного катка. Статистически доказано, что для расчетов массу вальца следует принимать равной 20% от эксплуатационной массы катка.

В результате сравнения силовых параметров вибрационного и осцилляционного вальцов можно сделать вывод о том, что последний эффективнее применять на заклю-

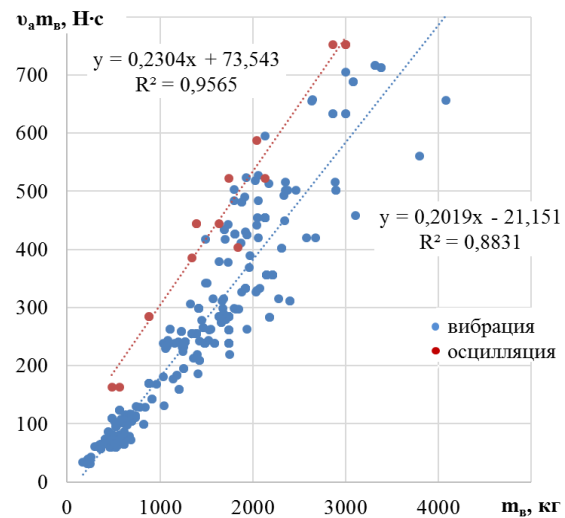


Рис. 9. Статистическая связь между импульсом вынуждающей силы $v_{амв}$ и массой вальца $m_{в}$

чительной стадии уплотнения материала, что соответствует результатам исследований [7, 8]. При этом значительное по сравнению с вибрацией силовое воздействие компенсируется тангенциальным приложением силы к уплотняемому материалу.

Результаты исследования могут быть использованы для моделирования взаимодействия гладкого вальца дорожного катка при проектировании новых моделей машин.

Список литературы

1. Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов. Л.: Машиностроение, 1973. 176 с.
2. Форссблад Л. Вибрационное уплотнение грунтов и оснований. М.: Транспорт, 1987. 190 с.
3. Аннабердиев А.Х.-М. Анализ режимов уплотнения и разработка рекомендаций по их совершенствованию // Инженерный вестник Дона. 2017. Т. 45. №2(45). С. 137.
4. Курьянов В.К., Допперт В.А. Основные параметры катков при уплотнении дорожных одежд нежесткого типа // Лесной вестник. 2009. № 3. С. 100-102.
5. Кузьмичев В.А. Основы проектирова-

References

1. Kharkhuta N.Ya. *Mashiny dlya uplotneniya gruntov* [Soil compaction machines]. Leningrad, Mashinostroenie, 1973. 176 p. (In Russian).
2. Forssblad L. *Vibratsionnoe uplotnenie gruntov i osnovaniy* [Vibration compaction of soils and foundations]. Moscow, Transport. 1987. 190 p. (In Russian).
3. Annaberdiev A.H.-M. Analysis of compaction modes and development of recommendations for their improvement. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2017, Vol. 45, No. 2(45), p. 137. (In Russian).
4. Kuryanov V.K., Doppert V.A. The main parameters of rollers when compacting non-

ния вибрационного оборудования. СПб.: Лань, 2014. 208 с.

6. Дубков В.В., Медведева К.А. Повышение эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов осциляторно-вибрационным катком // Техника и технологии строительства. 2015. Т. 1. С. 49-53.

7. Тюремнов И.С., Батраков Д.С. Особенности определения технологических возможностей вибрационных катков // Информационные технологии. Проблемы и решения: Материалы Междунар. научно-практ. конф. 2018. № 1(5). С. 140-146.

8. Тюремнов И.С., Игнатъев А.А., Попов Ю.Г. Об оценке уплотняющей способности вибрационных катков // Строительные и дорожные машины. 2011. № 11. С. 51-56.

‡ rigid road pavements. *Lesnoy vestnik*, 2009, No. 3, pp 100-102. (In Russian).

‡ 5. Kuzmichev V.A. [Vibration equipment design basics]. Saint Petersburg, Lan'. 2014. 208 p. (In Russian).

‡ 6. Dubkov V.V., Medvedeva K.A. Increasing the efficiency of compaction of road-building materials by an oscillator-vibration roller. *Tekhnika i tekhnologii stroitelstva*, 2015, Vol. 1, pp. 49-53. (In Russian).

‡ 7. Tyuremnov I.S., Batrakov D.S. Features of determining the technological capabilities of vibratory rollers. In: *Informatsionnye tekhnologii. Problemy i resheniya: Materialy Mezhdunar. nauchno-prakt. konf.*, 2018, No. 1(5), pp. 140-146. (In Russian).

‡ 8. Tyuremnov I.S., Ignatev A.A., Popov Y.G. On the assessment of the compaction capacity of vibratory rollers. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2011, No. 11, pp. 51-56. (In Russian).