

УДК 624.088.8

**Мудров Александр Григорьевич**

доктор технических наук, профессор

E-mail: [Alexmudrov42@rambler.ru](mailto:Alexmudrov42@rambler.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Мудрова Анна Александровна**

соискатель

E-mail: [annamudrova@mail.ru](mailto:annamudrova@mail.ru)

**Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация)**

Адрес организации: 117312, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 7

## Самодвижущее устройство для уплотнения дорожного полотна при ремонте

### Аннотация

*Постановка задачи.* В нашей стране с каждым годом увеличивается количество легковых и грузовых автомобилей, которые увеличивают нагрузку на дорожное полотно, постепенно ухудшая его качество. На так называемый «ямочный ремонт» ежегодно тратятся огромные средства. Для проведения ремонта требуется мобильная техника, в том числе уплотнители каменных материалов и асфальтобетона. Пока такая техника российского производства ограничена в количестве и несовершенна.

Цель исследования – разработать самодвижущееся малогабаритное эффективное устройство для уплотнения дорожного полотна при ремонте.

*Результаты.* В результате исследования предложено новое малогабаритное уплотняющее устройство, использующее направленное силовое воздействие на уплотняемый каменный материал или асфальтобетонное покрытие, которое не только эффективно уплотняет, но и обеспечивает самопередвижение устройства без участия оператора.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в создании нового малогабаритного эффективного устройства для уплотнения каменного материала и асфальтобетона, используемого для ремонта разрушенных участков дорожного покрытия.

**Ключевые слова:** дорожное полотно, уплотняющее устройство, ямочный ремонт, инерционные силовые импульсы.

### Введение

Автомобильные дороги играют в экономике и развитии РТ и РФ огромную роль и значение. Это глобальная сеть и артерии взаимосвязи между регионами и производственными предприятиями. Ежегодно парк грузовых и легковых машин неизменно возрастает, следовательно, увеличивается и воздействие движущегося транспорта на дорожное покрытие [1]. Кроме того, вредное влияние на полотно оказывают различные температурные факторы, осадки в виде мокрого снега, дождя, естественное старение и износ. Сюда можно отнести и использование некачественных материалов, нарушение технологии строительства, недостаточное профилактическое обслуживание дорожного полотна, движение большегрузных фур в осенний и весенний периоды [2].

Вышеуказанные факторы вызывают разрушение, деформацию, образование трещин, ям и ухабов, выбоин, просадки, волн, наплывов и прочего.

Требования к асфальтобетонным смесям отражены в ГОСТах: 30108-94, 31015-2002, 9128-2013; к дорожному покрытию автодорог – ГОСТ 33101-2014.

Не устраненные вовремя, образовавшиеся повреждения могут вызвать дальнейшее разрушение полотна и значительное ухудшение эксплуатационных свойств и качеств автодороги.

Ремонт дорожного покрытия может быть текущий и капитальный в зависимости от вида и состояния повреждений [3].

Если на полотне имеются трещины, волны, наплывы, выбоины, небольшие ямы, то производится текущий ремонт.

Текущий ремонт не относится к капиталоемким, поэтому не выгоден крупным предприятиям. Им, в основном, занимаются местные мелкие организации, у которых имеется набор необходимого оборудования, грузовой автотранспорт и материал для заделки повреждений. Текущий ремонт иногда именуется как ямочный ремонт, при котором устраняется большинство вышеуказанных повреждений дорожного полотна.

При текущем ремонте производятся следующие виды работ: определение границ ремонта, удаление материала покрытия в границах ремонта, заполнение выделенной площади асфальтобетонной смесью, выравнивание и уплотнение уложенного покрытия.

Для текущего ремонта необходимо иметь минимальный перечень рабочего оборудования: нарезчик швов, компрессор с отбойным молотком, уплотнительные устройства (каток малого класса, виброуплотнитель – виброплиты), грузовая машина.

Качество уплотнения грунта и асфальтобетонных покрытий зависит от многих факторов, в том числе, от типа катков, режима их работы, температуры асфальтобетонной смеси, толщины уплотняемого слоя и т.д. [4, 5].

Из публикаций зарубежных авторов можно отметить темы по асфальтосмесям [6, 7] и уплотнению асфальтобетона [8].

Следует отметить, что уплотнительная техника, используемая при текущем ремонте, не обеспечивает требуемого качества уплотнения по следующим причинам:

- Катки малого класса из-за незначительного веса и многократного статического воздействия (прокатывания) не могут обеспечить высокое качество уплотнения смеси.

- Виброплиты от вращающегося дебаланса имеют круговое силовое воздействие вверх-вниз с одинаковым значением, что недостаточно эффективно для уплотнения, кроме этого они затрачивают сравнительно большие мощности на рабочий процесс, а перемещаются по уплотняемой площади с помощью тяги оператора, на здоровье которого вибрации оказывают вредное влияние.

Техническая характеристика существующих виброплит приведена в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика виброплит

Модель виброплиты	VS-134	VS-244	VS-246E12	VS-246E20	VS-309
Габариты (Д×Ш×В), мм	1150×320×915	1060×440×980	1270×450×1030	1270×450×1030	1340×500×900
Снаряженная масса, кг	74	90	140	160	300
Глубина уплотнения, мм	100	150	200	250	400
Число проходов для достижения указанной глубины уплотнения	4	4	4	4	4
Вынуждающая сила, кН	10	12	18	26	40
Частота вибрации, Гц	100	90	80	80	70
Скорость движения, м/мин	20-25				
Двигатель	Honda (Япония)				
Мощность двигателя, кВт (л.с.)	2,2 (3)	3,0 (4)	4,5 (6)	4,5 (6)	6,75 (9)
Вид топлива	Бензин АИ-92				
Емкость топливного бака, л	1,2	2,5	3,6	3,6	6,0
Расход топлива виброплит, л/ч	0,96	0,6	1,9	1,9	2,5
Производительность, м <sup>2</sup> /час	100	140	150	160	180

Из изложенного следует, что нецелесообразно использовать тяжелую уплотнительную технику на небольших участках для текущего ремонта, из-за больших расходов на ее перевозку и обслуживание, а также недостаточной эффективности малогабаритной существующей техники для уплотнения асфальтобетона.

Поставлена цель исследования – разработать самодвижущееся малогабаритное эффективное устройство для уплотнения дорожного полотна при ремонте.

Поскольку ежегодно на ямочный ремонт автодорог и городских улиц городов РТ расходуются огромные денежные средства, предлагаемая тема создания и исследования нового высокоэффективного самодвижущегося устройства для уплотнения дорожного полотна является актуальной и целесообразной.

#### Анализ и обсуждение исследования

Указанная цель достигается тем, что авторами использована дополнительная направленная сила, действующая одновременно как на процесс уплотнения смеси, так и на самопередвижение устройства, как вперед, так и назад без участия оператора.

Кинематическая схема устройства представлена на рис. 1.

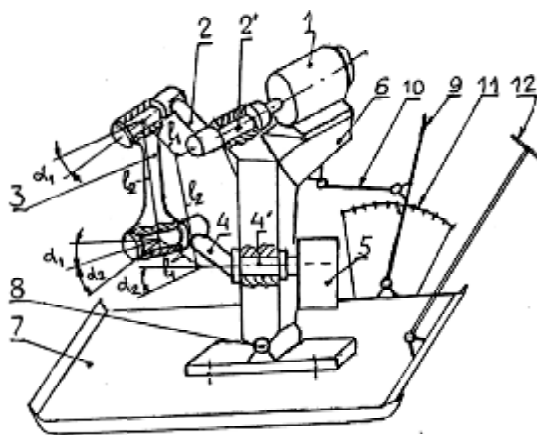


Рис. 1. Схема устройства для уплотнения грунта или асфальта (иллюстрация авторов)

Устройство содержит источник привода 1, выполненный в виде электродвигателя (рис. 1), или двигателя внутреннего сгорания (например, от газонокосилки, бензопилы, и т.д.), с валом источника привода соединено ведущее звено 2, которое шарнирно связано через звено 3 с ведомым звеном 4 [9].

На валу 4' жестко закреплен дебалансный груз 5. Вал 2' ведущего звена 2 и вал 4' ведомого звена 4 расположены в корпусе 6 под углом  $\alpha_2$  на расстоянии  $\ell_2$ .

Особенность устройства состоит в том, что указанные звенья 2, 3, 4 и 6 имеют разные углы и расстояния между осями их шарниров.

Так, оси шарниров звеньев 2 и 4 расположены под углом  $\alpha_1$  и отстоят на расстоянии  $\ell_1$ , а оси шарниров звена 3 и звена 6 (геометрические оси валов 2' и 4' звеньев 2 и 4) расположены под углом  $\alpha_2$  и на расстоянии  $\ell_2$ . При этом параметры звеньев связаны соотношением:

$$\ell_1 \sin \alpha_2 = \ell_2 \sin \alpha_1. \quad (1)$$

Угол  $\alpha_1$  может принимать значения от  $10^\circ$  до  $50^\circ$ , а угол  $\alpha_2$  – от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ . Следует отметить, что кратчайшие расстояния у шарниров звеньев и корпуса измеряются не по материальному телу, а расположены вне тела, как показано на рис. 1.

Корпус 6 связан шарнирно с плитой 7 посредством пальца 8. Корпус 6 вместе с расположенными на нем звеньями может изменять угол наклона по отношению к плите 7 как вперед, так и назад. Изменение угла осуществляется посредством рычага 9 и тяги 10. Рычаг 9 шарнирно связан с плитой 7 и шарнирно с корпусом 6 тягой 10. Рычаг 9 фиксирует одно из положений корпуса 6 на зубчатом секторе 11 посредством защелки, которая на схеме не показана.

Для ручного перемещения устройства, оно снабжено тягой 12, шарнирно связанной с плитой 7.

Устройство работает следующим образом.

От источника привода 1 вращение передается ведущему звену 2, который через звено 3 вращает ведомое звено 4 с дебалансным грузом 5. За счет особого расположения

осей шарниров звеньев 2 и 4, звена 3 и осей корпуса б, ведомое звено 4, вместе с дебалансным грузом 5, будут иметь переменную на одном обороте угловую скорость, коэффициент неравномерности вращения которой определяется выражением:

$$d = \pm 2 \frac{\sin a_1 \times \sin a_2}{\cos a_2 - \cos a_1}. \quad (2)$$

Максимальное  $\omega_{max}$  и минимальное  $\omega_{min}$  значение угловой скорости ведомого кривошипа с дебалансом определяются выражениями:

$$\omega_{max} = \frac{\cos a_1}{1 - \sin a_1} \omega, \quad \omega_{min} = \frac{\cos a_1}{1 + \sin a_1} \omega, \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость ведущего звена 2.

При изменении угловой скорости, появляется ускорение вращающегося дебаланса 5, равное:

$$a = r \sqrt{\omega^4 + \epsilon^2}, \quad (4)$$

где  $r$  – расстояние от оси вращения дебаланса до центра его массы;

$\omega$  – угловая скорость вращения дебаланса;

$\epsilon$  – угловое ускорение вращения дебаланса.

В результате появляется сила инерции –  $P = m \cdot a$  (здесь  $m$  – масса дебаланса).

В моменты, когда угловая скорость  $\omega$  вращения дебаланса принимает максимальное и минимальное значения, угловое ускорение равно нулю, максимальное и минимальное значение силы инерции соответственно равны:

$$P_{max} = mr \frac{\cos^2 a_1}{(1 - \sin a_1)^2} \omega^2, \quad P_{min} = mr \frac{\cos^2 a_1}{(1 + \sin a_1)^2} \omega^2. \quad (5)$$

Пример конструктивного воплощения устройства, при принятой массе дебаланса  $m=10$  кг,  $r=0,1$  м,  $\omega=10$  с<sup>-1</sup>,  $\alpha_1=20^\circ$ , минимальный и максимальный импульсы будут равны:

$$P_{min} = 10 \times 0,1 \frac{0,9396^2}{(1 + 0,342)^2} 10^2 = 49 \text{ Н}, \quad P_{max} = 10 \times 0,1 \frac{0,9396^2}{(1 - 0,342)^2} 10^2 = 204 \text{ Н}.$$

При  $\alpha_1=60^\circ$  и тех же данных  $m=10$  кг,  $r=0,1$  м,  $\omega=10$  с<sup>-1</sup> импульсы равны:

$$P_{min} = 10 \times 0,1 \frac{0,5^2}{(1 + 0,866)^2} 10^2 = 72 \text{ Н}, \quad P_{max} = 10 \times 0,1 \frac{0,5^2}{(1 - 0,866)^2} 10^2 = 1388 \text{ Н}.$$

Как видно из примера, с увеличением угла  $\alpha_1$  – значительно увеличивается величина силы инерции, при этом максимальное значение силы при угле  $\alpha_1=20^\circ$  будет в 4,2 раза больше минимального, а при угле  $\alpha_1=60^\circ$  максимальное значение в 192 раза больше минимального значения силы.

На рис. 2 обозначены  $P_{max}$ ,  $P_{min}$ ,  $F_{тр}$  – сила трения плиты о поверхность грунта. Площадь, ограниченная кривой  $P=f(t)$  и находящаяся над осью представляет собой импульс силы, при этом корпус б устройства расположен вертикально, т.е. силы участвуют только на уплотнение асфальта.

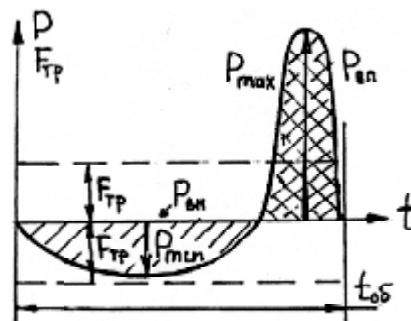


Рис. 2. График сил инерции (иллюстрация авторов)

Площадь кривой  $P=f(t)$ , находящаяся ниже графика, сила направлена противоположно.

Величины этих силовых импульсов равны, так как равны площади над осью и площадью под осью абсцисс. Однако амплитуда силы  $P$  вниз существенно превышает амплитуду силы  $P$  в противоположном направлении, чем создается эффективность уплотнения. Это уплотнение будет осуществляться на одном месте под плитой.

Для движения устройства вперед рычагом 9 перемещают корпус 6 назад, в результате чего он повернется на угол  $\beta$  и силовой импульс будет направлена под тем же углом  $\beta$  (рис. 3а). Сила  $P$  раскладывается на составляющие силы: вниз –  $P_{вн}=P\cos\beta$  и вперед –  $P_{ен}=P\sin\beta$ .

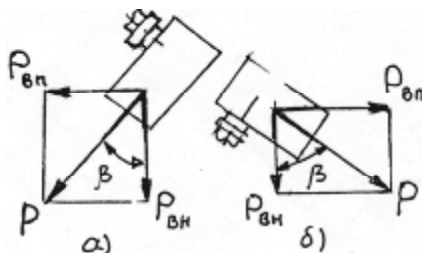


Рис. 3. Схема действия сил (иллюстрация авторов)

Сила  $P_{вн}$  уплотняет грунт, а сила  $P_{ен}$  перемещает устройство вперед. Ход перемещения зависит от угла  $\beta$  и соотношения сил  $P_{ен}$  и силы трения  $F_{mp}=mgf$  ( $f$  – коэффициент трения).

На графике рис. 2 показаны соотношения сил трения и силы инерции  $P_{min}=P_{ен}$  назад, движение в этом случае не происходит. В случае же  $P_{ен}$ , превосходящей силу трения, устройство перемещается вперед, с одновременным уплотнением асфальта.

Если рычаг 9 повернуть вперед, корпус 6 также повернется вперед, составляющая  $P_{ен}$  силы инерции (рис. 3б) в этом случае направлена назад, и, соответственно, движение устройства будет назад.

Таким образом, устройство одновременно уплотняет асфальт и перемещается вперед или назад без силового участия оператора.

На рис. 4 показан опытный образец корпуса с подвижными звеньями 2, 3, 4 и 5, в устройстве угол  $\alpha_2$  равен  $45^\circ$ .

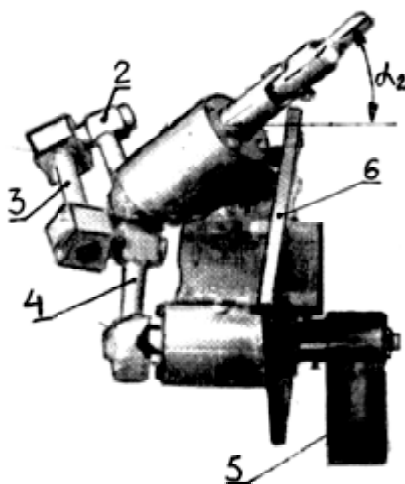


Рис. 4. Корпус устройства (иллюстрация авторов)

Регулирование силового импульса в устройстве можно осуществлять еще на стадии проектирования, т.е. назначая углы –  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , и расстояния –  $l_1$  и  $l_2$ . Варианты параметров звеньев ( $\alpha_1$ ,  $l_1$ ), определенные по выражению (1), звена 3 и корпуса 6 ( $\alpha_2$ ,  $l_2=200$  мм) приведены в табл. 2 ( $l_2$  принято равной 200 мм).

Таблица 2

## Варианты параметров звеньев

№, пп	$\alpha_2$ , град	$\alpha_1$ , град	$\delta$	$l_1$ , мм
1	30	15	2,59	25,36
2		20	4,64	34,20
3		25	10,48	42,26
4		28	27,71	46,14
5	45	15	1,42	73,20
6		20	2,08	96,71
7		25	2,99	119,53
8		30	4,44	141,42
9	60	15	0,96	59,77
10		20	1,35	78,98
11		25	1,80	97,60
12		30	2,36	115,47
13	90	15	0,53	51,76
14		20	0,73	68,40
15		25	0,93	84,52
16		30	1,15	100,00

Из табл. 2 видно, что наибольшее значение коэффициент  $\delta$  неравномерности вращения дебаланса принимает при угле  $\alpha_2$  осей вращения звеньев 2 и 4 (осей корпуса б) и звена 3, равного 30 и 45<sup>0</sup>, угол  $\alpha_1$  – целесообразен от 20 до 30<sup>0</sup>.

При углах  $\alpha_2=60^0$  и  $\alpha_2=90^0$  степень неравномерности движения дебалансного груза мала и соответственно, малый эффект уплотнения.

Регулировать режим работы устройства можно частотой вращения ведомого и ведущего звеньев, увеличением массы дебалансного груза, а также общим весом устройства.

Ознакомиться с аналогичными устройствами можно в монографии [10].

### Заключение

1. Тяжелую уплотнительную технику нецелесообразно использовать при ямочном ремонте дорожного полотна, а малогабаритные устройства российского производства недостаточно эффективны и известны в ограниченном числе. Возникла практическая потребность в создании новой высокоэффективной техники, в том числе уплотнительной.

2. Разработано самодвижущееся малогабаритное эффективное устройство, использующее направленный силовой инерционный импульс и самопередвижение при работе.

3. Устройство не только эффективно уплотняет с высоким качеством, но и обеспечивает от одного источника привода самопередвижение устройства без участия оператора.

### Список библиографических ссылок

1. Шестопалов К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. М. : Академия, 2009. 320 с.
2. Могилевич В. М. Дорожные одежды из цементогрунта. М. : Транспорт, 2002. 76 с.
3. Зубков А. Ф., Однолько В. Г. Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. М. : Машиностроение, 2009. 224 с.
4. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В., Сабирзянов Д. Д. Прочность и деформации глинистых грунтов при трехосном режимном чередующемся статическом и циклическом нагружении // Геотехника Беларуси: Наука и практика. 2013. С. 297–304.
5. Ушаков В. В., Ольховиков В. М. Строительство автомобильных дорог. М. : Академия, 2013. 536 с.
6. Al-Khateeb G. A new simplistic model for dynamic modulus predictions of asphalt paving mixtures // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 2006. Vol. 75. 140 p.
7. Abu Abdo A. M. Sensitivity analysis of a new dynamic modulus ( $|E^*|$ ) model for asphalt mixtures // Road materials and pavement design. 2012. Vol. 13. № 3. P. 549–555.
8. Kloubert H.-J. Basic principles of asphalt compaction. Boppard : Bomag GmbH. Hellerwald, 2009. 59 p.

9. Устройство для уплотнения грунта : пат. 2583802 Рос. Федерация. № 2015100377/03 ; заявл. 12.01.15 ; опубл. 10.05.16, Бюл. № 13. 5 с.
10. Мудров А. Г. Пространственные механизмы с особой структурой. Казань : РИЦ «Школа», 2003. 300 с.

**Mudrov Alexander Grigorjevich**

doctor of technical sciences, professor

E-mail: [Alexmudrov42@rambler.ru](mailto:Alexmudrov42@rambler.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Mudrova Anna Alexandrovna**

researcher

E-mail: [annamudrova@mail.ru](mailto:annamudrova@mail.ru)

**Federal Service for Accreditation (Rosakkreditatsiya)**

The organization address: 117312, Russia, Moscow, Vavilova st., 7

**Self-propelled device for sealing of the roadway in the repair****Abstract.**

*Problem statement.* In our country, every year the number of cars and trucks that increase the load on the roadway, gradually deteriorating its quality. On the so-called «patching» annually spent a lot of money. The repair requires mobile equipment, including soil and asphalt seals. While this technique is limited in quantity and imperfect.

The purpose of the study is to develop a self – moving small-sized effective device for compacting the roadway during repair.

*Results.* As a result of the study, a new small-sized sealing device is proposed, which uses a directed force effect on the compacted soil or asphalt coating, which not only effectively seals, but also provides self-movement of the device without the participation of the operator.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is to create a new small-sized effective device for compacting soil and asphalt used to repair destroyed sections of the road surface.

**Keywords:** roadbed, sealing device, patching, inertial force pulses.

**References**

1. Shestopalov K. K. Lifting and transport, construction and road machinery and equipment. M. : Academy, 2009. 320 p.
2. Mogilevich V. M. Of the pavement from cement ground. M. : Transport, 2002. 76 p.
3. Zubkov A. F., Odnolko V. G. The technology of construction of asphalt pavements of motor roads. M. : Mashinostroyeniye, 2009. 224 p.
4. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Strength and deformation clay soils under three-axis regime alternating static and cyclic loading // Geotekhnika Belarusi: Nauka i praktika. 2013. P. 297–304.
5. Ushakov V. V., Olkhovikov V. M. Construction of highways. M. : Academia, 2013. 536 p.
6. Al-Khateeb G. A new simple model for dynamic modulus predictions of asphalt paving mixtures // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 2006. Vol. 75. 140 p.
7. Abu Abdo A. M. Sensitivity analysis of a new dynamic modulus ( $|E^*|$ ) model for asphalt mixtures // Road materials and pavement design. 2012. Vol. 13. № 3. P. 549–555.
8. Kloubert H.-J. Basic principles of asphalt compaction. Boppard : Bomag GmbH. Hellerwald, 2009. 59 p.
9. Device for soil compaction : patent 2583802 of the Rus. Federation. № 2015100377/03 ; decl. 12.01.15 ; publ. 10.05.16. Bull. in № 13. 5 p.
10. Mudrov A. G. Spatial mechanisms with a special structure. Kazan : EPC «Shkola», 2003. 300 p.