

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Механизация и автоматизация
дорожно-строительного комплекса»

ВИБРАЦИОННАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДОРОЖНЫХ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ

Пособие для студентов специальностей 1-36 11 01
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины
и оборудование» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

*Рекомендовано учебно-методическими объединениями по образованию
в области транспорта и транспортной деятельности,
строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2021

УДК 625.084
ББК 30.605
В41

Составители:

А. В. Вавилов, А. А. Шавель, М. М. Гарост, А. А. Бежик

Рецензенты:

А. Н. Орда, Л. А. Сенько

Вибрационная техника для уплотнения и устройства дорожных оснований и покрытий: пособие для студентов специальностей 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / сост.: А. В. Вавилов [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – 66 с.
ISBN 978-985-583-581-4.

Издание содержит описание конструкции и работы вибрационной техники для уплотнения и устройства дорожных оснований и покрытий, их технические характеристики и расчет основных параметров конструкции, а также приведен обзор автоматических систем контроля этих машин.

Пособие предназначено для освоения учебных дисциплин «Вибрационные машины» и «Строительные, дорожные и мелиоративные машины» для студентов специальностей «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» и «Автомобильные дороги», а также может быть рекомендовано для студентов других строительных специальностей.

**УДК 625.084
ББК 30.605**

ISBN 978-985-583-581-4

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

Введение

Вибрационные машины находят все большее применение в различных отраслях народного хозяйства. Это объясняется тем, что вибрация почти во всех случаях позволяет повысить эффективность работы машин и создавать новые прогрессивные технологические процессы.

Необходимость развития дорожно-транспортной сети требует улучшения эксплуатационных характеристик всего дорожного сооружения. Улучшение характеристик для таких сооружений во многом определяется тщательностью уплотнения грунтов, дорожных оснований и покрытий. Уплотнение является, если не основной или главной, то ключевой технологической операцией по своей значимости и влиянию на эффективность и долговечность всего дорожного сооружения.

В настоящее время для уплотнения грунтов, дорожных оснований и покрытий применяются следующие вибромашины:

- а) прицепные катки с гладкими, кулачковыми и решетчатыми вальцами;
- б) самоходные катки с гладкими вальцами;
- в) самопередвигающиеся, прицепные, крановые и навесные плиты;
- г) вибробрусья для уплотнения цементобетонных оснований и покрытий.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО ДОРОЖНЫХ КАТКОВ

Дорожные катки согласно ГОСТ 21994-82 классифицируют по виду рабочего органа:

- с гладкими вальцами;
- кулачковые;
- решетчатые;
- пневмоколесные;
- комбинированные.

По принципу действия:

- статические;
- вибрационные.

По способу передвижения:

- прицепные;
- полуприцепные;
- самоходные.

По количеству вальцов:

- одновальцовые;
- двухвальцовые;
- трехвальцовые.

Самоходные катки с гладкими вальцами классифицируются также по типу трансмиссии: механическая, гидромеханическая, гидрообъемная; по системе управления (ручное, гидравлическое) и по способу управления направляющими вальцами: диагональный, передним вальцом, задним вальцом, обоими вальцами (синхронный) (рис. 1.1–1.3).

На статических катках покрытие уплотняют за счет действия силы тяжести при перекаtywании рабочего органа по материалу. На вибрационных катках кроме статического нагружения уплотняемому материалу передается динамическая нагрузка за счет колебательных движений одного вальца. Для создания вибрации в один из вальцов встраивают дебалансный возбудитель колебаний, приводимый в действие от трансмиссии катка.

Главным параметром катков является масса. По массе и конструктивному исполнению дорожные самоходные катки с гладкими вальцами изготавливают следующих типов и исполнений:

Тип 1 – легкие вибрационные массой 0,6; 1,5 и 4 т одноосные одновальцовые (1/1) и двухосные двухвальцовые (2/2);

Тип 2 – средние вибрационные и статические массой 6 т двухосные двухвальцовые (2/2) и двухосные трехвальцовые (2/3);

Тип 3 – тяжелые статические массой 10 и 15 т двухосные двухвальцовые (2/2); двухосные трехвальцовые (2/3) и трехосные трехвальцовые (3/3).

Пневмоколесные полуприцепные катки разделяют на следующие типы (ГОСТ 16481-70): легкие (15 т), средние (30 т) и тяжелые (45 т).

Пневмоколесные самоходные катки делят на средние (16 т) и тяжелые (30 т) катки.

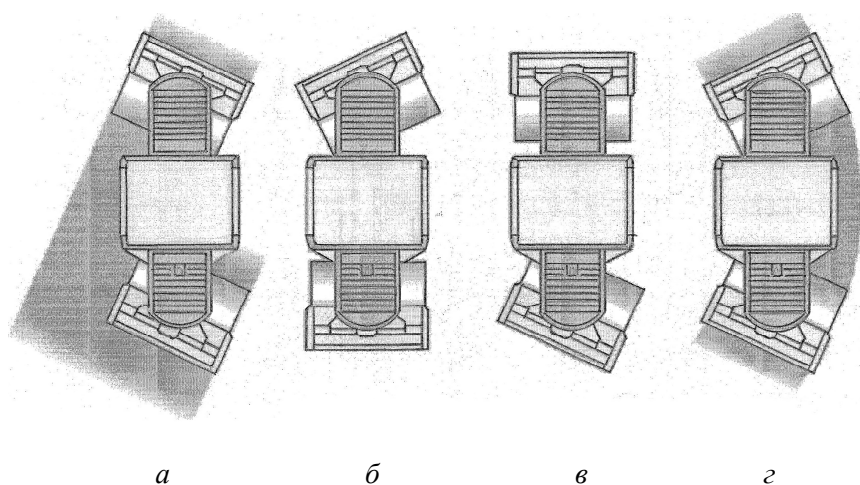


Рис. 1.1. Способы управления направляющими вальцами:
а – диагональный; б – передним вальцом;
в – задним вальцом; г – синхронный

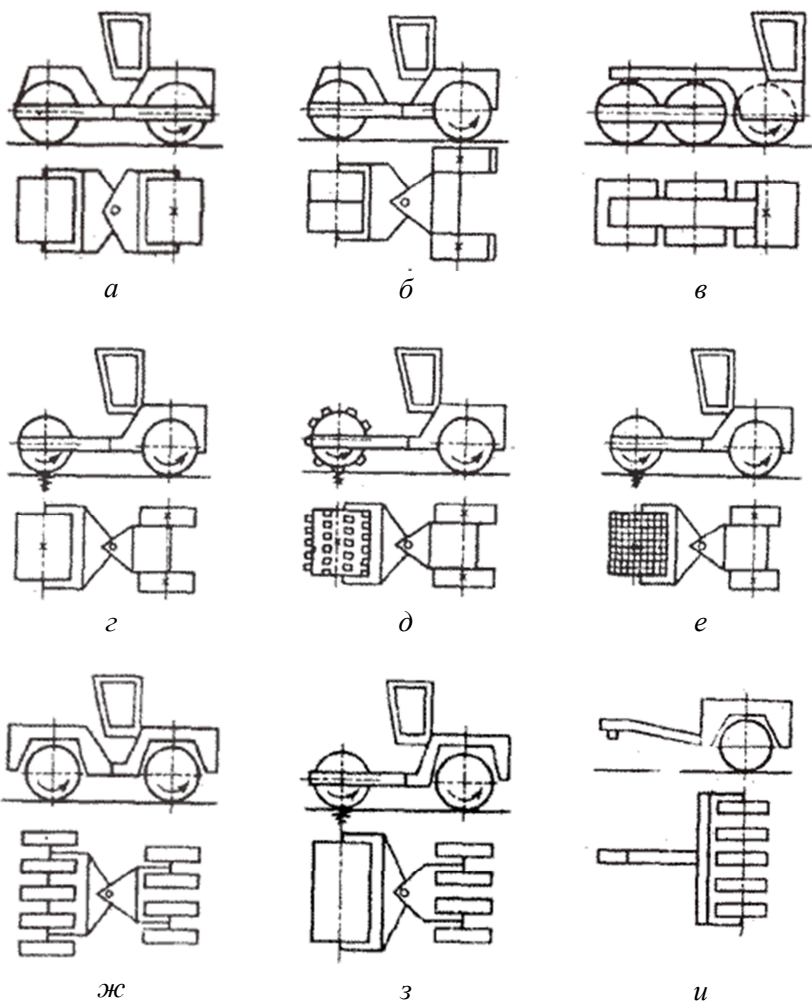


Рис. 1.2. Классификация катков:

а – двухосный двухвальцовый; *б* – двухосный трехвальцовый; *в* – трехосный трехвальцовый; *г* – вибрационный одноосный; *д* – вибрационный кулачковый; *е* – вибрационный решетчатый; *ж* – самоходный пневмоколесный; *з* – комбинированный; *и* – пневмоколесный полуприцепной

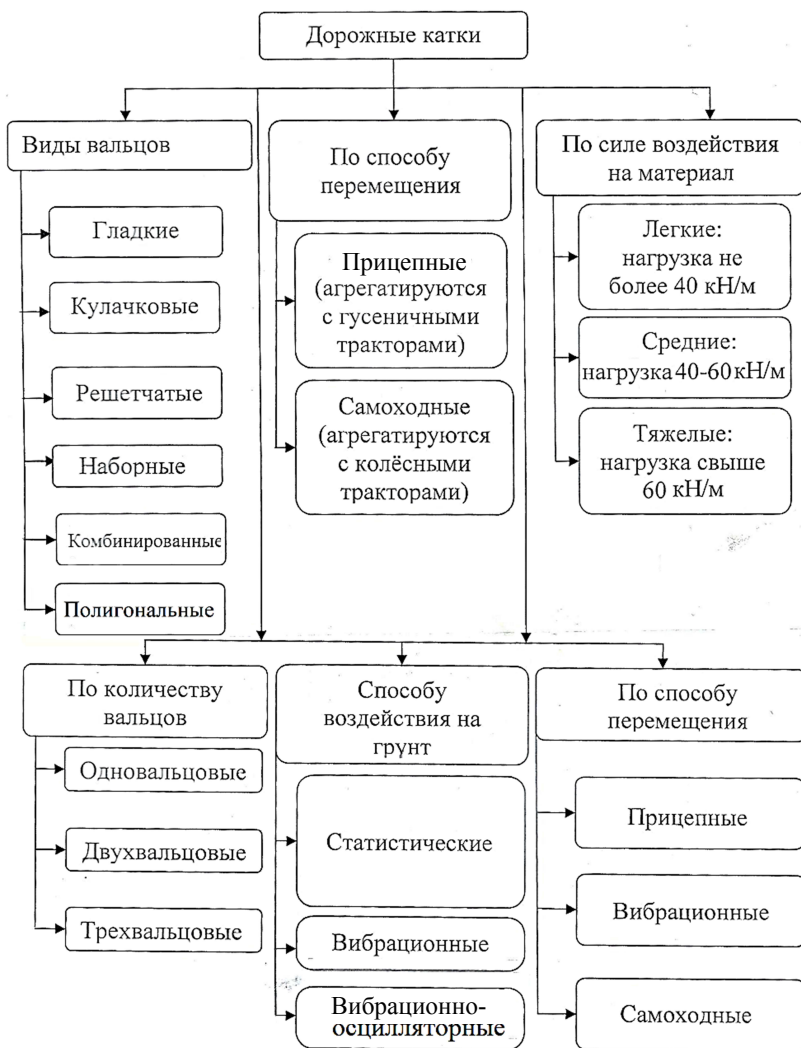


Рис. 1.3. Полная схема классификации дорожных катков

Катки дорожные применяются для уплотнения оснований и покрытий из грунтовых, асфальтобетонных, щебеночных, гравийно-песчаных материалов при строительстве и ремонте дорог, других земляных сооружений. Катки бывают с цельнорамным двигателем и полуприцепные с шарнирно-сочлененной рамой. По конструктив-

ному исполнению и признакам эксплуатационных качеств цельнорамные катки классифицируются по виду рабочего оборудования, способу воздействия на уплотняемую поверхность, числу осей и количеству валцов.

По виду рабочего оборудования различают цельнорамные катки с гладкими вальцами, пневмоколесные и комбинированные. Поверхность гладких валцов, которыми оснащены катки, должна быть без искривлений. Рабочим оборудованием пневмоколесных катков служат либо пневмошины, либо мощные резиновые колеса.

Комбинированные катки оборудованы гладкими металлическими вальцами и пневмоколесами. В каждом катке имеются ведущий и ведомый рабочие органы. К ведущим рабочим органам передается крутящий момент от силовой установки. Ведомые – являются направляющими и служат для поворота машины.

По числу осей и валцов катки делятся на одноосные, двухосные и трехосные, одновальцового, двухвальцового и трехвальцового исполнения, в соответствии с рис. 1.4. В одноосном (одновальцовом) катке устойчивость и горизонтальное положение дышла регулируются специальным поддерживающим роликом. В двухосных двухвальцовых катках сдвоенные и отдельные валцы расположены один за другим. Ширина таких валцов одинакова. Двухосные трехвальцовые катки снабжены двумя узкими ведущими задними и одним широким ведомым вальцами. Трехосные трехвальцовые катки снабжены двумя ведомыми направляющими вальцами и одним ведущим. Конструкция их подвески позволяет перераспределять массу катка по осям в зависимости от неровностей уплотняемой поверхности.

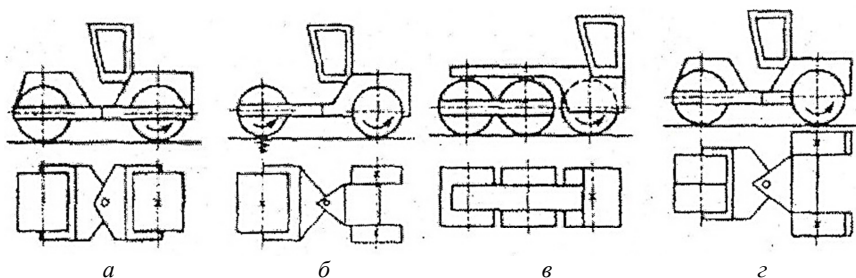


Рис. 1.4. Классификация дорожных катков:

а – двухосный двухвальцовый; *б* – двухосный трехвальцовый; *в* – трехосный трехвальцовый; *г* – вибрационный одноосный с гладким вальцом

В последнее время появилось много новых дорожных машин всевозможных видов и различного назначения.

Ведущими мировыми производителями катков являются такие фирмы, как «Bomag», «Hamm», «IR-ABC» (ФРГ), «Дунарас» (Швеция), «Ammann» (Швейцария), «Caterpillar» (США), «JCB-Vibromax» (Великобритания), «Stavostroj» (Словакия), АО «Раскат», ОАО «Амкодор» (Беларусь) и многие другие.

2. КОНСТРУКЦИЯ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА

Состав и устройство вибрационного катка рассмотрим на примере катка «Амкодор 6223А» (рис. 2.1).

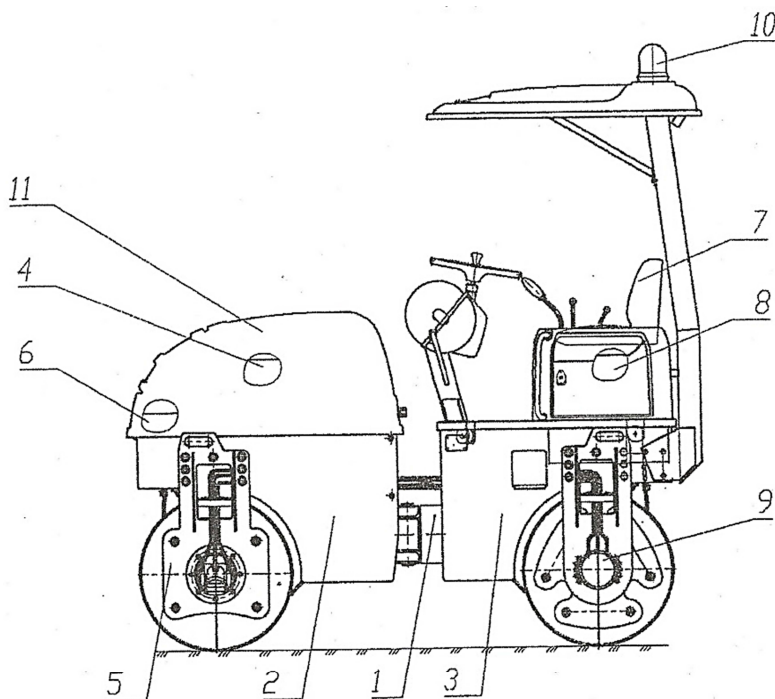


Рис. 2.1. Каток «Амкодор 6223А»:

1 – шарнир сочленения; 2 – полурама передняя; 3 – полурама задняя; 4 – установка силовая; 5 – валец; 6 – установка баков; 7 – место рабочее; 8 – система смазывания; 9 – гидросистема; 10 – электросистема; 11 – облицовка

Каток «Амкодор 6223А» предназначен для асфальтоукладочных работ на небольшой территории и с ограниченным пространством для катка.

Такой каток хорошо подходит для асфальтирования бензоколонок, дворовых территорий, периодического ремонта дорожного полотна, восстановления полотна после коммунальных работ. Каток имеет небольшие габариты и вес, поэтому легко перевозится. Технические данные катка представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические характеристики катка «Амкодор 6223А»

Параметры	Значение
Двигатель	Д-120
Мощность эксплуатационная, кВт (л.с.)	18(25)
Масса эксплуатационная, кг	2700
<i>Рабочий орган</i>	
Тип	гладкий вибровалец
Число валцов	2
Диаметр вальца, мм	700
Ширина вальца, мм	1260
Привод вибратора	гидрообъемный
Вынуждающая сила (на каждом вальце), кг	1800
Частота, Гц	40
Амплитуда, мм	0,24
<i>Система смачивания</i>	
Подача воды	принудительная с механически управляемыми запорными вентилями
Количество скребков	по 2 на каждый валец
<i>Рулевое управление</i>	
Тип	шарнирно-сочлененная рама с гидравлическим приводом, с гидравлической обратной связью
Угол складывания полурам, град	±28
Наименьший радиус поворота, мм	4200

Параметры	Значение
<i>Гидросистема хода</i>	
Тип	гидрообъемная
Скорость, км/ч:	0–7
Подача насоса, л/мин	57
Давление настройки предохранительных клапанов, МПа	35
<i>Гидросистема привода вибраторов</i>	
Тип	гидрообъемная
Подача насоса, л/мин	40
Давление настройки предохранительных клапанов, МПа	16
<i>Гидросистема рулевого управления</i>	
Тип	гидрообъемная
Подача насоса, л/мин	14
Давление настройки предохранительных клапанов, МПа	12
Гидроцилиндры, количество / диаметр / ход, мм	1 / 50/235
<i>Тормозная система</i>	
Рабочая тормозная система – замкнутый контур гидрообъемной системы хода	
Стояночная тормозная система – многодисковый, постоянно замкнутый тормозной механизм в масле, с гидравлическим растормаживанием, встроенный в гидромотор хода	
<i>Заправочные емкости</i>	
Топливный бак, л	30
Картер двигателя, л	7
Гидробак, л	60
Бак системы смачивания, л	180
<i>Габаритные размеры</i>	
Длина, мм	2470
Ширина, мм	1420
Высота, мм	1800

Вибровалец (рис. 2.2) является рабочим органом и элементом ходовой части катка. Основными элементами вибровальца являются валец 1 и кронштейны 2, 3 крепления вибровальца к полурамам катка.

Как элемент хода вибровалец снабжен гидромотором 4, установленным в кронштейне 3. На валу гидромотора монтирован приводной диск 5, передающий крутящий момент валцу 1 через четыре резинометаллических амортизатора 6. Приводной диск 5 крепится на валу гидромотора 4 болтами с отгибными шайбами 8 и к амортизаторам 6 посредством гаек 9 и специальных шайб 10.

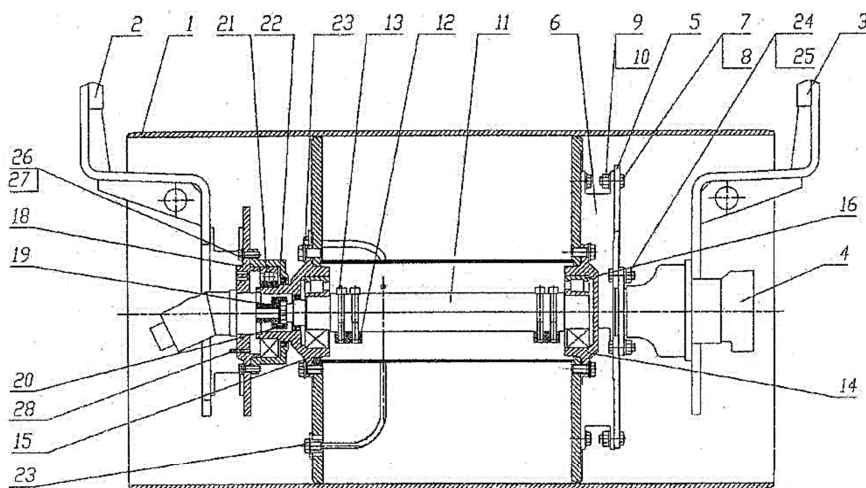


Рис. 2.2. Вибровалец:

1 – валец; 2, 3 – кронштейны; 4 – гидромотор; 5 – диск приводной; 6 – амортизатор; 7, 13, 24, 26 – болты; 8, 10, 25, 27 – шайбы; 9 – гайка; 11 – вал; 12 – дебаланс; 14 – корпус; 15, 22 – опоры; 16, 21 – подшипники; 18 – крышка; 19 – полумуфта; 20 – втулка зубчатая; 23 – пробка; 28 – масленка

Вибровалец оборудован двумя дебалансами 12, закрепленными на валу 11 при помощи болтов 13. При вращении вала 11 с дебалансами 12 создается возмущающая сила, создающая уплотняющий эффект. Вал 11 установлен в корпусе 14 и опоре 15 на роликовых подшипниках 16. Привод вала осуществляется гидромотором 17, установленным в крышке 18, через полумуфту 19 и зубчатую втулку 20. Со стороны привода вибратора валец 1 через подшипник 21 и опору 22 крепится к кронштейну 2 через три резинометаллических

амортизатора 6. Смазка подшипника 21 осуществляется через масленку 28, установленную в крышке 18.

Для заливки и контроля уровня масла в полости подшипников 16 предусмотрены пробки 23, расположенные на торце вальца 1.

Для удержания катка на стоянке в конструкции гидромотора 4 предусмотрен постоянно замкнутый стояночный тормоз, управление которым осуществляется с панели управления.

3. КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОГО КАТКА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

Дорожный каток (рис. 3.1, 3.2, 3.3) включает в себя раму 1, на которой установлена силовая установка 2, ведущий 3 и ведомый 4 вальцы. Виброплита 5, с установленным на ней вибровозбудителем направленного действия 6 и механизмом 7 регулирования направления действия возмущающей силы в зависимости от типа уплотняемой смеси, соединена с рамой катка через тяговую раму 8, гидроцилиндры 9 служат для подъема и опускания виброплиты. Двигатель привода вибровозбудителя 10 крепится кронштейном 11 к установочной плите 12.

Дорожный каток работает следующим образом: в начале уплотнения, когда в слое происходит интенсивное накопление остаточных деформаций, каток совершает 2–3 прохода с плитой, находящейся в транспортном положении, затем после увеличения сопротивления смеси уплотнению и снижения интенсивности образования остаточных деформаций в уплотняемом материале виброплита устанавливается на поверхность слоя гидроцилиндрами, обеспечивается необходимое статическое давление (0,01–0,03 МПа) и при начале передвижения катка включается вибровозбудитель. Угол воздействия возмущающей силы α (угол, заключающийся между рабочей поверхностью виброплиты и направлением действия возмущающей силы) устанавливается до начала работ в зависимости от типа уплотняемой смеси ($\alpha = 120^\circ$ – для малощебенистой смеси типа «В» и $\alpha = 135^\circ$ – для многощебенистой смеси типа «А») (Авторское свидетельство СССР № 1565935, МПК Е 01 С 19/48, 1987).

Использование виброплиты с высокой частотой колебаний (до 70–80 Гц) и направленной возмущающей силой позволяет:

- вызвать в уплотняемой смеси тиксотропные изменения и уменьшить сопротивление смеси уплотнению;
- снизить количество проходов катка по одному следу за счет активного накопления остаточных деформаций;
- повысить качество поверхности уплотняемого материала.

Применение предлагаемого устройства дорожного катка позволит решить ряд актуальных экономических задач строительства асфальтобетонных покрытий и оснований. Во-первых, в отличие от существующих дорожных катков предлагаемый позволяет повысить производительность машины настолько, что количественный состав звена катков существенно сокращается. Во-вторых, повышается качество покрытий за счет создания замкнутой поровой структуры. В-третьих, сокращается время на уплотнение смеси, что позволяет расширить область применения горячих асфальтобетонных смесей при низких положительных и отрицательных температурах воздуха, что очень важно для крупных городов и северных территорий.

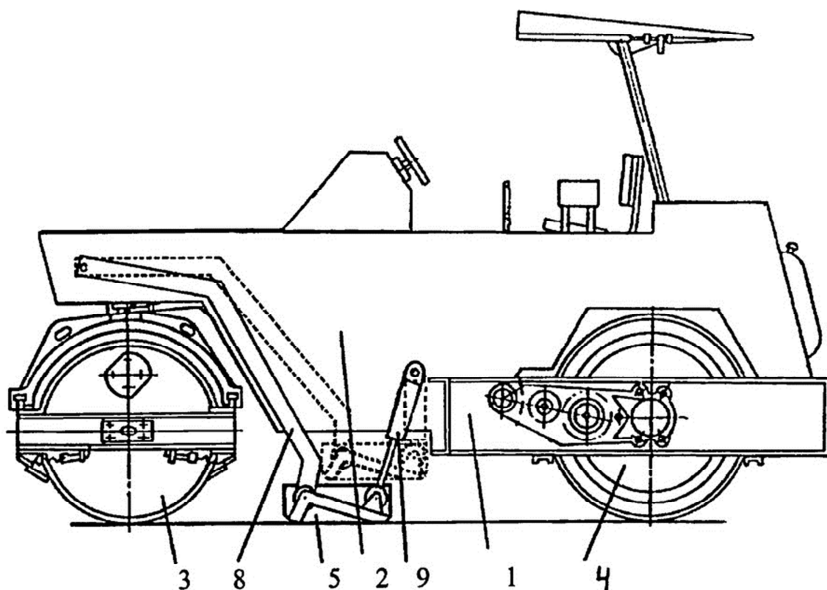


Рис. 3.1

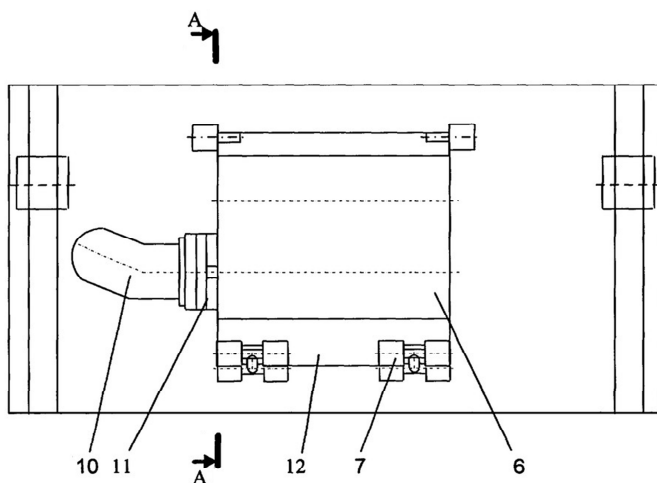


Рис. 3.2

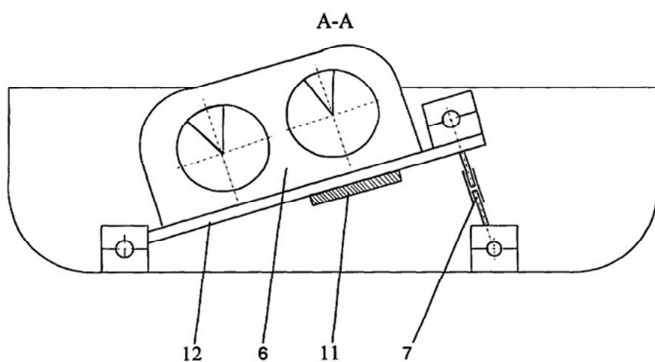


Рис. 3.3

Более полувека назад фирма «Bomag» изготовила двухвальцовые катки с ручным управлением пешего оператора. Каждый валец состоял из двух секций. Применив зубчато-ременные передачи в приводе дебалансных валов, была обеспечена синхронизация вертикально-направленных колебаний вальцов, за счет чего поочередно создавалось силовое воздействие на уплотняемую поверхность, рис. 3.4.

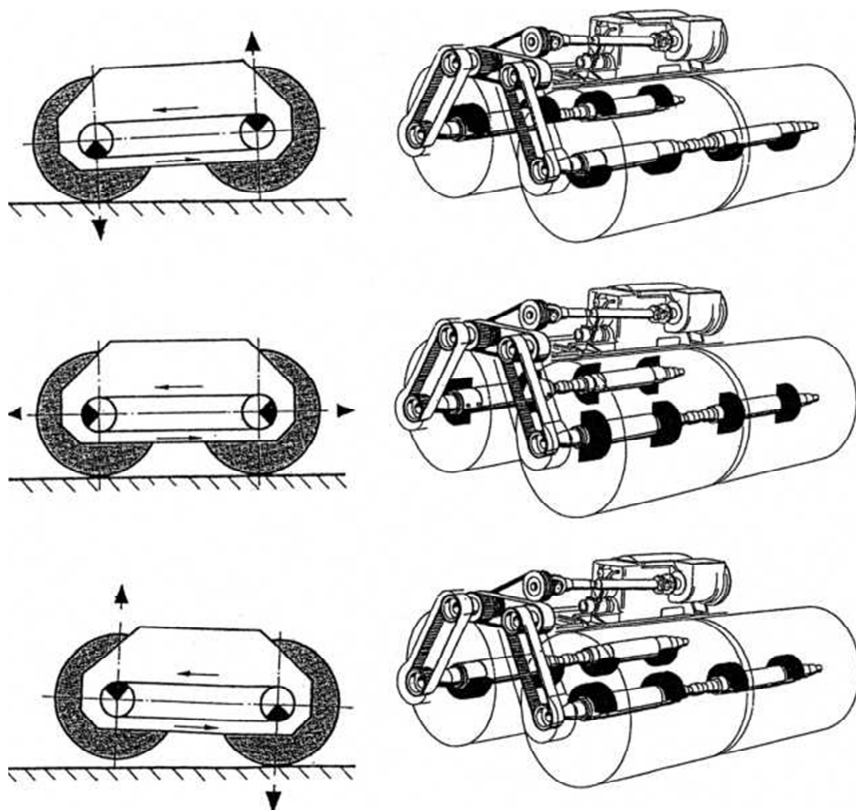


Рис. 3.4. Схема виброкатка фирмы «Bomag»

4. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВАЛЬЦАХ

Валец является рабочим органом катка. Наибольшее распространение получили гладкие металлические вальцы, которые изготавливаются, в основном, сварными способами из листовой стали. Рабочие поверхности всех вальцов подвергаются механической обработке, что обеспечивает гладкую и ровную поверхность уплотняемого покрытия.

Разностенность обода допускается не более 5 мм. Для получения укатываемой поверхности без следов от краев вальцов, на их наружных кромках снимаются закругленные фаски на ширину 15–18 мм. Вальцы должны иметь цилиндрическую форму. Допускается разность диаметра вальца не более 3 мм.

С целью облегчения поворота, уменьшения скольжения по укатываемой поверхности на поворотах и, следовательно, исключения смещения укатываемого материала, то есть повышения качества укатки и снижения расхода мощности для перемещения катка на поворотах, направляющий ведомый валец выполняют составным из двух секций, установленных на одной общей оси.

В собранном виде обе секции направляющих вальцов должны свободно поворачиваться независимо друг от друга. Зазор между торцами секций направляющих вальцов должен быть в пределах от 1 до 2,5 мм.

Для послойного уплотнения связных комкованных грунтов применяются кулачковые вальцы, на обечайке которых приварены в штатном порядке кулачки, рис. 4.1. Форма кулачков выбирается исходя из условия наименьшего рыхления при выходе из грунта.

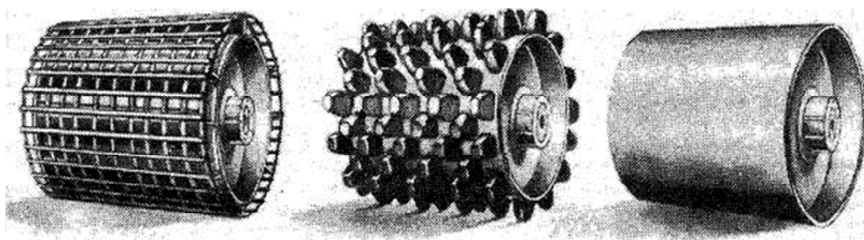


Рис. 4.1. Решетчатый, кулачковый и гладкий вальцы

Для дробления и уплотнения сухих комкованных насыпных и смерзшихся грунтов, и разрушения старых грунтовых, стабилизированных и гравийно-щебеночных оснований и покрытий применяют вальцы с решетчатой обечайкой. Обечайка представляет собой плетеную сетку, выполненную из круглого пруткового материала диаметром 35–40 мм (см. рис. 4.1).

Для уплотнения толстых слоев засыпки, грунта (связного и несвязного) со смешанным гранулометрическим составом фирма «Bomag» разработала полигональный валец (рис. 4.2 и 4.3). Полигональный валец состоит из трех осевых, находящихся рядом, восьмиугольных элементов, расположенных со смещением относительно соседнего сегмента. Приваренные по бокам кольца предотвращают наклон вальца, когда средний элемент находится точно на клиновидной части, и тем самым обеспечивают плавное движение на твердых грунтовых поверхностях. Плоские сегменты осуществляют уплотнение, благодаря созданию концентрированных вертикальных сил сжатия. Клиновые сегменты вызывают деформирование грунта, при котором, благодаря высокой начальной нагрузке и вращательному движению вальца, возникают силы сдвига, локально сдвигающие грунт. Создание максимального давления и сил сдвига создает необходимое для уплотнения разминание и ослабление грунта.



Рис. 4.2. Каток с полигональным вальцом



Рис. 4.3. Полигональный валец

Для измельчения и уплотнения скальных пород мягкой и средней твердости фирмой «Bomag» разработан скальный валец, рис. 4.4.



Рис. 4.4. Каток со скальным вальцом

5. ВИБРАЦИОННЫЕ ВАЛЬЦЫ

Вибрационный валец является основным рабочим органом вибрационного катка.

Основным отличием вибрационного вальца от статического является наличие встроенного вибратора, чем достигается значительное повышение эффективности и качества уплотнения покрытий. При выключенном вибраторе такой валец работает как обычный статический.

Рассмотрим некоторые патенты, относящиеся к вальцовым виброкаткам.

Валец катка (рис. 5.1) содержит обечайку 1 цилиндрической формы, внутри которой проходит приводной вал 2, на валу симметрично от его центра расположены два шлицевых 3 и два примыкающих к ним резьбовых участка 4. На шлицевых участках 3 установлены с возможностью продольного перемещения два генератора волн, каждый из которых состоит из двух диаметрально расположенных в обечайке 1 роликов 5, установленных с помощью подшипников 6 на водилах 7, диаметрально закрепленных на шлицевых ступицах 8. Ступицы 8 генераторов волн со стороны открытых торцов обечайки 1 упираются в гайки 9, накрученные на резьбовые участки 4 вала 2. Генераторы волн расположены один по отношению к другому с угловым смещением в 90° . Диаметр генераторов волн по наружным образующим цилиндрических поверхностей роликов 5 больше внутреннего диаметра обечайки 1.

Вследствие этого обечайка 1 на торцах имеет форму эллипсов, большие оси которых развернуты одна по отношению к другой на 90° . При приближении к центральной части обечайки 1 отклонение ее формы в поперечном сечении от окружности уменьшается, а в одном из сечений в центре обечайки 1 она имеет форму окружности. Со стороны открытых торцов обечайки 1, внутри нее размещены установленные на валу 2 в подшипниковых опорах 10 диски 11, снабженные по периметру кольцевыми чехлами 12, плотно прилегающими к внутренней поверхности обечайки 1.

Валец катка работает следующим образом. Вследствие того, что под действием роликов 5 генераторов волн обечайка 1 принимает на торцах форму эллипсов, большая ось которых больше диаметра обечайки 1, обечайка 1 стремится сдвинуться с роликов 5 в направ-

лении к центру вальца. Поскольку два генератора волн стремятся сдвинуть ее к центру с противоположных сторон, то обечайка 1 займет некоторое устойчивое положение, в котором она будет находиться в равновесии, т. е. иметь осевую фиксацию. При вращении вала 2 с генераторами волн происходит волнообразное деформирование обечайки 1, приводящее к тому, что наиболее выступающая точка обечайки 1 перемещается по ее длине. В связи с этим нагрузка на уплотняемый материал передается только частью ее длины, которая перемещается вдоль линии контакта.

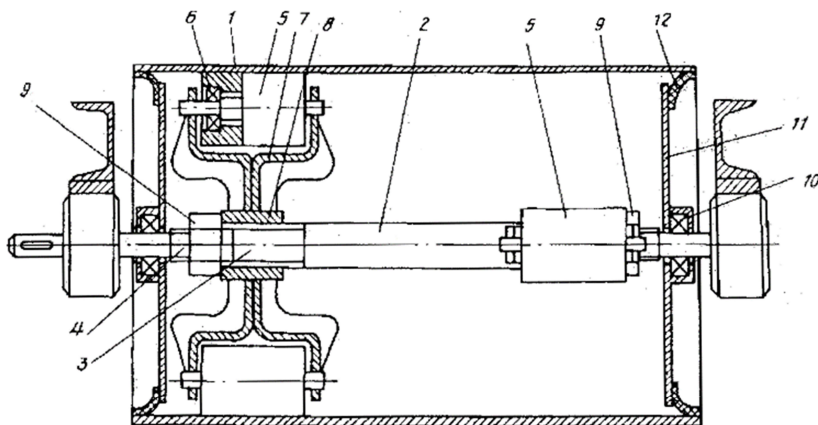


Рис. 5.1. Валец катка

Требуемую интенсивность воздействия вальца катка на уплотняемый материал устанавливают вращением гаек 9 и перемещением генераторов волн вдоль оси вала 2 к центру или к торцам обечайки 1.

При сближении генераторов волн деформация обечайки 1 и интенсивность ее воздействия на уплотняемый материал будут увеличиваться, а при расхождении – уменьшаться.

Предлагаемый валец катка не требует сложных регулировок, поскольку, установив в нем один раз равные расстояния от оси до наружных образующих цилиндрических поверхностей роликов 5, можно без опасения сбить эту регулировку, изменить интенсивность уплотнения вращением гаек 9. Кроме того, предлагаемый валец прост в изготовлении, поскольку в нем отсутствует диск, жестко соединенный с обечайкой в центральной части, что не ухудшает эксплуатационные свойства вальца.

В данной конструкции для обеспечения функционирования генераторов волн, обечайка вальца не может быть жесткой. Для обеспечения равной деформации уплотняемого материала по ширине катка необходимо, чтобы обечайка по ширине вальца имела одинаковую жесткость, что невозможно обеспечить в данной конструкции (см. рис. 4.4); в районе левого генератора волн обечайка через водило жестко связана с рамой вальца, а в районе правого генератора волн такой связи нет.

Вибровалец (рис. 5.2) со смонтированным внутри него механическим вибратором с эксцентриковым валом 3, установленным на подшипниках качения 4, размещенных в корпусах 5. Для смазки подшипников 4 внутри вибровальца образована масляная емкость, заполненная маслом 6, уровень 7 которого ниже внешнего края 8 эксцентрикового вала 3. В корпусах 5 подшипников 4 выполнены перекрещивающиеся каналы: вертикальные 9 и горизонтальные 10 для смазки подшипников. Горизонтальные каналы 10 сообщаются с масляной емкостью, т. е. с маслом 6, когда они при вращении вальца 2 оказываются в нижнем положении. На выходных отверстиях горизонтальных каналов 10 закреплены шайбы 11, диаметр отверстий которых меньше диаметров горизонтальных каналов.

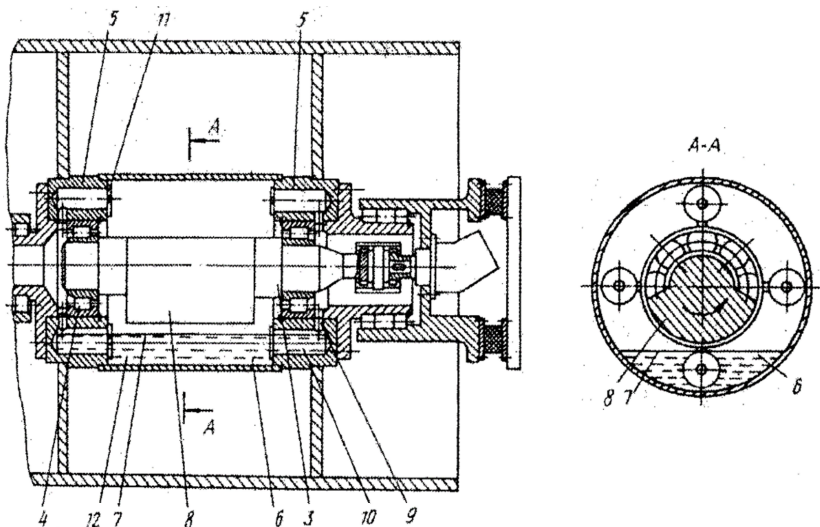


Рис. 5.2. Вибровалец

Таким образом, достигается эффективная, стабильно действующая смазка подшипников без дополнительных затрат мощности, в результате чего решается поставленная задача – сокращение потерь мощности и увеличение срока службы подшипников, т. е. увеличение надежности машины.

Обеспечение непрерывного смазывания подшипников вибратора является положительным решением, но для достижения стабильно действующей смазки подшипников, необходимо обеспечить наружное уплотнение вала вибратора, которое в данной конструкции не рассматривается, кроме того, конструкция узла вибратора усложняется.

Вибрационный валец, продольное и поперечное сечение, гидравлическая схема (рис. 5.3, 5.4, 5.5) состоят из вальца 1, установленного на подшипниках 2 на полых цапфах 3, закрепленных одним концом через амортизаторы 4 на балласте 5, а другим – на раме 6. Между вальцом 1 и балластом 5 установлены верхняя 7 и нижняя 8 каретки, на осях 9 которых закреплены с возможностью вращения ролики 10, а между верхней 7, нижней 8 каретками и балластом 5 установлены предварительно поджатые эластичные гидравлические камеры 11, 12, 13 и 14, с одного конца заглушенные пробками 15 и 16, а с другого конца, через штуцеры 17 и 18, соединенные трубопроводами 19 и 20 через двухпозиционный гидравлический распределитель 21 с гидравлическим пульсатором 22, включающим вал 23 с эксцентриком 24 и гидроцилиндры 25 и 26 с поршнями 27 и 28.

Вибрационный валец катка работает следующим образом.

При движении катка валец 1 перекачивается по уплотняемому материалу. Вибрационный механизм катка может работать в двух режимах: в режиме направленных вертикальных колебаний и в режиме осциллирующих (крутильных) колебаний.

При работе катка в режиме направленных вертикальных колебаний золотник гидрораспределителя 21 устанавливается в позицию А, вращающийся на валу 23 эксцентрик 24 гидравлического пульсатора 22 выталкивает поршень 27 из гидроцилиндра 25 рабочую жидкость в трубопроводы 19. Предварительно поджатые эластичные камеры 11 и 12 давлением рабочей жидкости раздуваются и отталкивают верхнюю каретку 1 и через ее ролики 10 валец 1 вверх от балласта 5. После поворота вала 23 на половину оборота эксцентрик 24 вдвигает поршень 28 в гидроцилиндр 26, давление жидкости в трубопроводе 20 возрастает, эластичные камеры 13 и 14 раздува-

ются и отталкивают нижнюю каретку 8 и через ее ролики 10 валец 1 вниз от балласта 5.

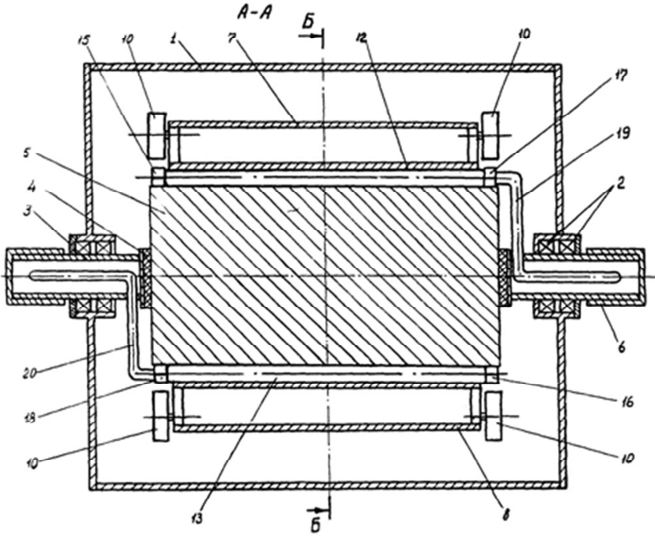


Рис. 5.3. Продольное сечение вальца

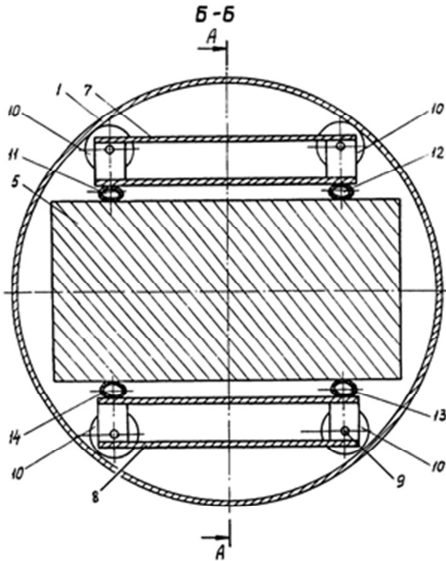


Рис. 5.4. Поперечное сечение вальца

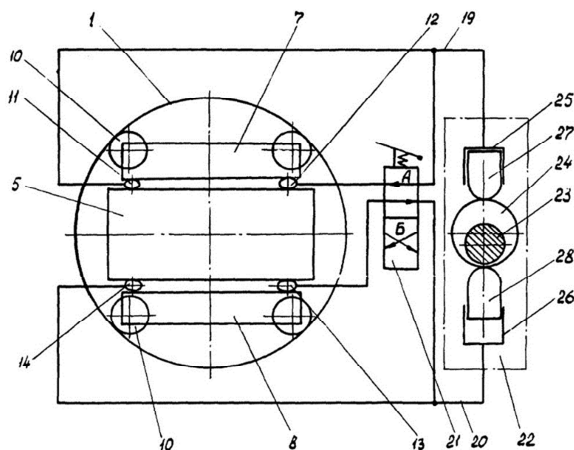


Рис. 5.5. Гидравлическая схема вальца

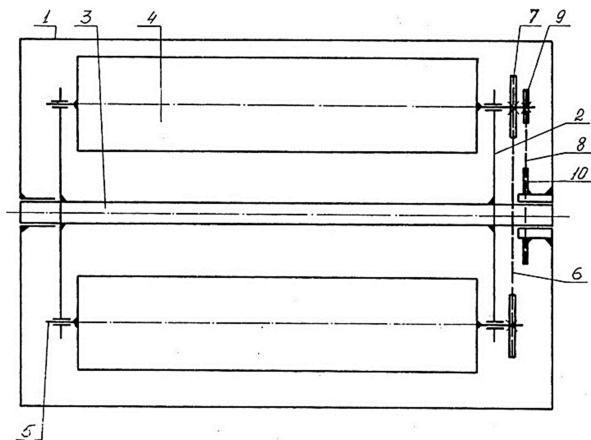
При работе вибрационного вальца в режиме осциллирующих колебаний золотник гидрораспределителя 21 устанавливается в позицию *Б*, эксцентрик 24 выталкивает поршнем 27 из гидроцилиндра 25 рабочую жидкость в эластичные камеры 11 и 13, верхняя 7 и нижняя 8 каретки поворачиваются относительно оси вращения вальца 1 по часовой стрелке. После поворота вала 23 на половину оборота рабочая жидкость подается в эластичные камеры 12 и 14, верхняя 7 и нижняя 8 каретки поворачиваются относительно оси вращения вальца 1 против часовой стрелки.

Рассмотренное устройство – оригинальное, поскольку обеспечивает получение как осциллирующих, так и вертикально-направленных колебаний, однако конструкция непростая.

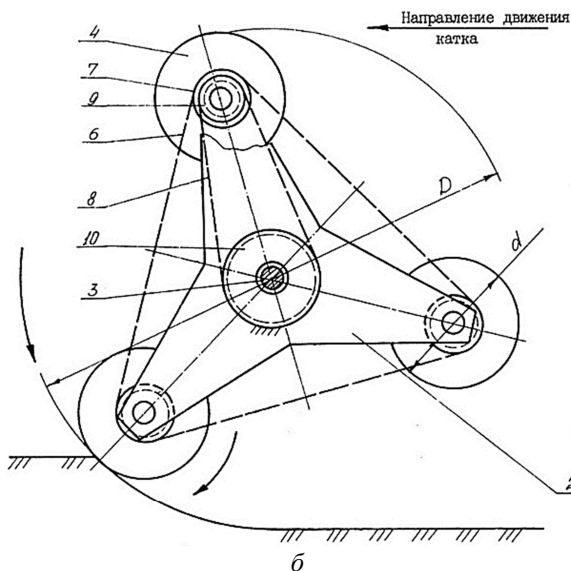
Конструкция требует передачи гидроимпульса в эластичные гидравлические камеры, расположенные на различных расстояниях от пульсатора, что вызывает несинхронную деформацию камер, а следовательно неравномерное распределение давления по ширине вальца на уплотняемую поверхность. Потребуется непростое уплотнение для обеспечения герметичности гидравлического контура. Обеспечение надежной работы гидрокамер в режиме «гидроудара» может оказаться проблематичным.

Дорожный каток (рис. 5.6) состоит из рамы 1, боковых фланцев 2, закрепленных на центральной оси 3. На фланцах 2 по окружности равномерно установлены валики 4 на осях 5, имеющих возможность

вращения. Валики 4 связаны между собой цепью 6, которая огибает звездочки 7, жестко закрепленные на осях 5 валиков 4. Один из валиков 4 посредством цепной передачи 8, ведомой звездочки 9, которая установлена на его оси, связан с ведущей звездочкой 10, закрепленной на раме 1 соосно фланцам 2.



a



б

Рис. 5.6. Кинематическая схема катка:
а – главный вид; б – вид сбоку

Валик 4, жестко установленный на оси 5, имеет переменную жесткость в радиальном направлении. Это достигается изменением толщины его обечайки. Для простоты изготовления сечения валика заключены между двумя окружностями, центры которых смещены на величину эксцентриситета e (рис. 5.7).

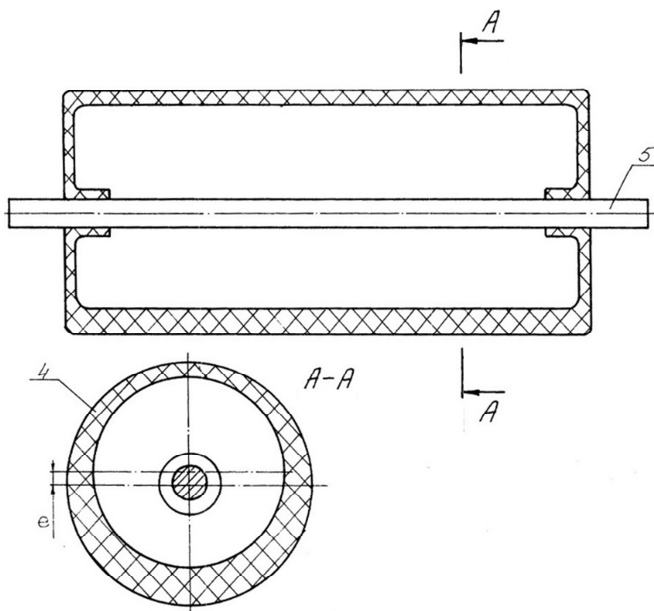


Рис. 5.7. Сечения валика

Конструкция дорожного катка работает следующим образом.

Вращением центральной оси 3 с фланцами 2 приводят в движение валики 4, имеющие при этом сложную траекторию, составляющими которой являются поступательное перемещение катка, вращательное движение вокруг оси 3 и собственное вращение валиков на осях 5. Таким образом, создается возможность уплотнения материала валиками при совмещении двух методов: трамбования и укатки.

На рис. 5.8 дана схема уплотнения материала за один цикл работы катка (время обработки участка уплотнения $A-A^I$ одним валиком), из которой видно, что в первоначальный момент контакта давления валика с неуплотненным участком (зона $A-B$) величина

контактного давления должна находиться в соответствии с пределом прочности материала, а так как он имеет здесь минимальную величину, то и контактное давление должно быть минимальным. В конструкции катка это достигается тем, что в этот момент с материалом взаимодействует участок поверхности валика, имеющий минимальную жесткость или модуль упругости.

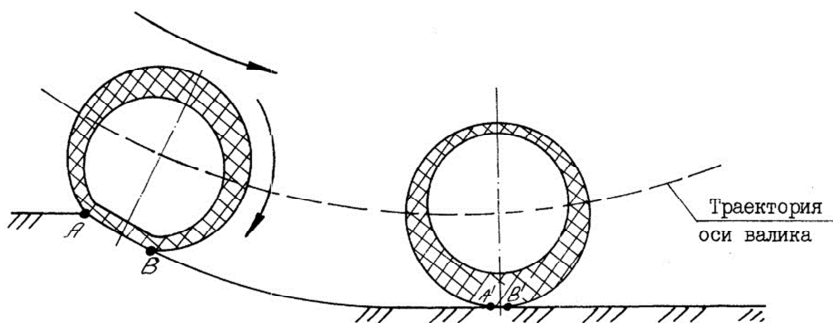


Рис. 5.8. Схема уплотнения материала за один цикл работы

Далее, при движении валика до точки A^1 плотность материала непрерывно увеличивается, а так как предел прочности является функцией плотности, то он также возрастает, что должно отразиться на изменении величины контактного давления. Валик, прокатываясь по поверхности участка уплотнения $A A^1$, постоянно изменяет свою жесткость в зоне контакта с материалом в сторону увеличения. Таким образом, площадь контакта уменьшается и контактное давление возрастает соответственно увеличению предела прочности материала.

Чтобы обеспечить работоспособность данного устройства по указанной схеме, в него введены следующие элементы. Для синхронизации движения валиков 4 с фланцами 2 имеется цепная передача, которая посредством приводной цепи 8, ведущей звездочки 10 и ведомой звездочки 9 задает однозначное положение одного из валиков 4 относительно фланцев 2 в любой момент времени. Но так как валиков в катке несколько, то необходимо синхронизировать их все, что и осуществляется цепью 6, которая связывает звездочки 7 осей 5. Вышеизложенная работа цепных передач по синхронизации валиков с фланцами необходима для того, чтобы в момент контакта

каждого из валиков с материалом, он соприкасался с ним и той частью своей цилиндрической поверхности, которая имеет модуль упругости, обеспечивающий условие

$$\sigma_{\text{конт}} \approx \sigma_p,$$

где $\sigma_{\text{конт}}$ – величина контактного давления валика на материал;

σ_p – предел прочности уплотняемого материала.

При этом необходимо соблюдение следующего условия:

$$D/d \approx n,$$

где D – описанный диаметр фланцев с валиками;

d – диаметр валика;

n – целое число.

Способ нахождения модуля упругости материала валиков по об-разующим цилиндрической поверхности следующий.

При внутреннем контакте двух цилиндров наибольшее напряже-ние сжатия, действующее в точках площадки контакта, находится по формуле

$$\sigma_{\text{конт}} = \sqrt[k]{2q \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \cdot \frac{R_1 - R_2}{(-R_1 \cdot R_2)}},$$

где q – распределенная нагрузка;

E_1 – модуль деформации уплотняемого материала;

E_2 – модуль упругости валика;

R_1 – радиус валика;

R_2 – радиус участка уплотнения (приблизенно равен радиусу окружности, описанной внешней поверхностью валиков при их движении).

Для эффективного уплотнения материала необходимо соблюде-ние условия:

$$\sigma_{\text{конт}} \approx (0,9-1,0) \cdot \sigma_p.$$

Зная модуль деформации и предел прочности уплотняемого материала в разных точках участка уплотнения (от A до A^1), можно найти модуль упругости валика для соблюдения условия оптимального уплотнения.

Модуль упругости для точки A находится по формуле

$$E_2' = \frac{\sigma_{p1} \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot E_1'}{\sigma_{p1}^2 \cdot R_1 \cdot R_2 + 2 \cdot K^2 \cdot q \cdot E_1' \cdot (R_2 - R_1)},$$

где σ_{p1} – предел прочности уплотняемого материала в точке A ;

E_1' – модуль деформации уплотняемого материала там же.

Модуль упругости валика для точки A^1 :

$$E_2'' = \frac{\sigma_{p2} \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot E_1''}{\sigma_{p2}^2 \cdot R_1 \cdot R_2 + 2 \cdot K^2 \cdot q \cdot E_1'' \cdot (R_2 - R_1)},$$

где σ_{p2} – предел прочности уплотняемого материала в точке A^1 ;

E_1'' – модуль деформации уплотняемого материала в точке A^1 .

Недостатком рассмотренной конструкции дорожного катка является то, что при пробуксовывании любого валика в зоне контакта с уплотняемым материалом, не будет обеспечиваться работоспособность данного устройства по заложенной в конструкции схеме: «...чтобы в момент контакта каждого из валиков с материалом он соприкасался с ними той частью своей цилиндрической поверхности, которая имеет модуль упругости, обеспечивающий условие $\sigma_{\text{конт}} = \sigma_{p\dots}$ ».

Вибровалец 1 (рис. 5.9, 5.10), смонтированный в нем гидромотор 2, связанный с помощью муфты 3 и ременной передачи 4 и дебалансным валом 5, ось которого расположена параллельно оси вальца и смещена относительно него на расстояние R . Вращение дебалансного вала вызывает центробежную силу P , которая через подшипники 6, смонтированные в днищах 7 вальца, передается по поверхности (обечайке) вальца. Валец 1 установлен в подшипниках 8, которые монтируются в опоре 9, соединенной с рамой 10 катка через упругие амортизаторы 11.

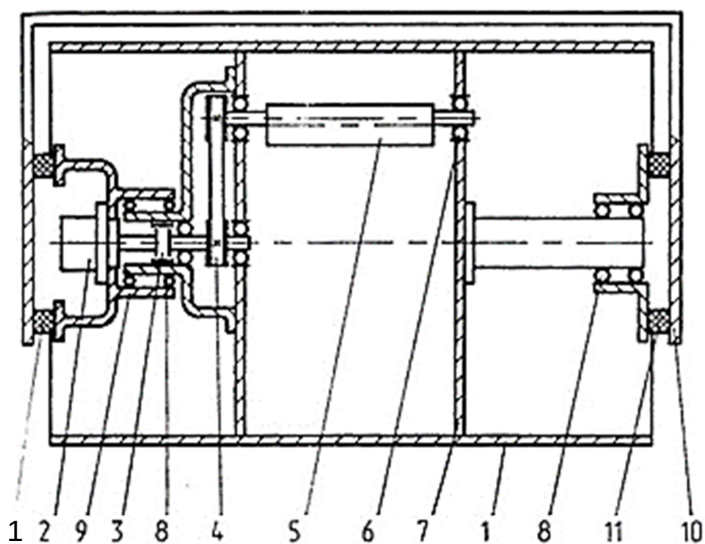


Рис. 5.9. Вибровалец в разрезе

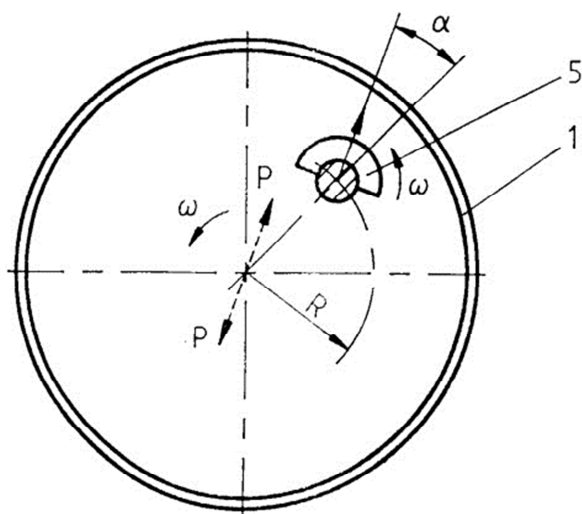


Рис. 5.10. Вибровалец, вид сбоку

Уплотнение материала происходит следующим образом. При включении гидромотора 2 вращение передается через муфту 3 и ре-

менную передачу 4 на дебалансный вал 5, в результате чего происходит вибрационное воздействие на валец как круговых, так и крутильных колебаний. Круговые колебания вызывает центробежная сила P , постоянные приложения к оси вальца независимо от того, в каком положении оказывается ось дебалансного вала.

Одновременно, за счет смещения оси дебалансного вала на расстояние R от оси вальца, на последний воздействует знакопеременный момент, сообщающий вальцу крутильные колебания, т. е. колебания относительно оси вальца.

Значение знакопеременного момента определяется по формуле

$$M = P \cdot R \cdot \sin\alpha,$$

где M – знакопеременный момент, сообщающий вальцу крутильные колебания;

P – величина центробежной силы;

R – расстояние от оси вальца до оси дебалансного вала;

α – угол между направлением центробежной силы P и плоскостью, проходящей через оси вальца и дебалансного вала.

Под действием круговой постоянно действующей силы P и знакопеременного момента M валец будет совершать сложное колебание, представляющее собой комбинацию из круговых и крутильных колебаний. Траектория колебаний точек наружной поверхности вальца и находящихся с ними в контакте частиц уплотняемого материала при круговых колебаниях представляет собой окружность, а при крутильных колебаниях – практически прямую горизонтальную линию, возвратно-поступательное перемещение по которой происходит пропорционально значению момента M .

Для иллюстрации способа на рис. 5.11 представлены примеры построения траекторий точек на обечайке вальца, составленные с учетом того, что частота вращения дебалансного вала на порядок выше частоты вращения вальца и, следовательно, за период полного оборота дебалансного вала, валец переместится относительно своей оси незначительно. Учитывая это обстоятельство, для наглядности построения указанной траектории принимаем, что во время полного оборота дебаланса вокруг оси дебалансного вала сам дебалансный вал остается неподвижен относительно оси вальца.

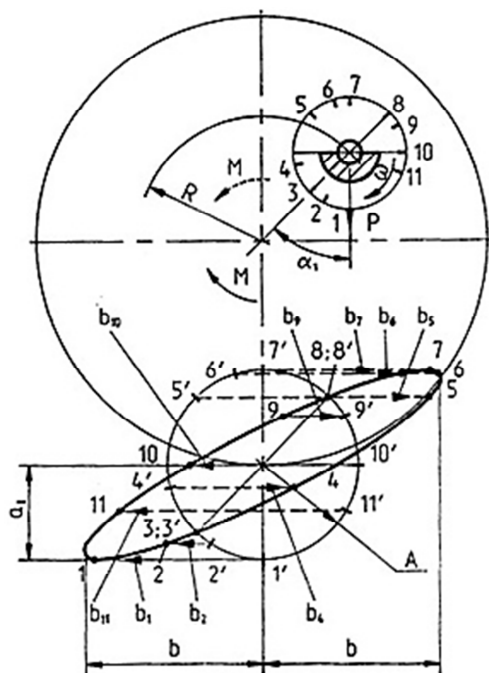


Рис. 5.11. Траектория колебания обечайки вальца и находящегося в контакте уплотняемого материала

На рис. 5.11 подробно показано сложение круговых и крутильных колебаний обечайки вальца. При не вращающемся дебалансном вале центробежная сила P отсутствует и точка вальца, контактирующая с уплотняемой поверхностью, занимает положение «0». Под действием центробежной силы, направленной вертикально вниз, эта точка переместится на расстояние « a_1 », пропорциональное значению силы P ; одновременно она переместится также в горизонтальном направлении на расстояние « b_1 », пропорционально значению момента $M_i = P \cdot R \cdot \sin \alpha$, и займет положение «1». Последующие положения точки траектории получаются как сумма перемещений точки по окружности радиусом « A » с одновременным перемещением в горизонтальном направлении на расстояние « b_i » пропорционально значению момента $M_i = P \cdot \sin \alpha_i$.

Данная конструкция несложная, может быть принята во внимание при создании вибрационно-осциллирующего вальца, для обоснова-

ния параметров которого потребуется провести полные теоретические исследования. Однако простота конструкции может не обеспечить высокой эффективности уплотнения и не позволит избежать значительной вибрации рамы катка и рабочего места оператора.

Вибровалец 5 смонтирован на передней полураме 1 катка (рис. 5.12) посредством полой цапфы 6 (рис. 5.13, 5.14) и опоры 7, подшипников 8, 9 и балок 10 и 11. При этом цапфа 6 крепится при помощи резьбового соединения к поперечному ребру 12 вальца 5, а опора 7 к балке 11 передней полурамы.

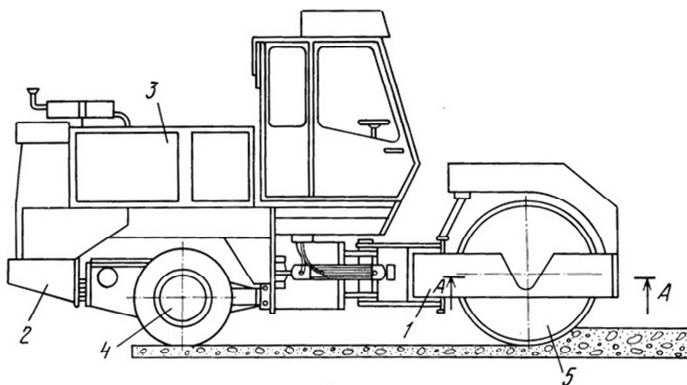
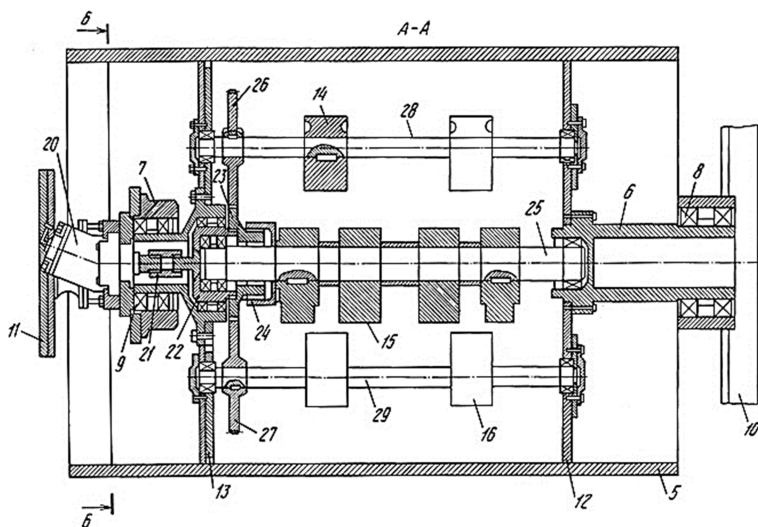


Рис. 5.12. Общий вид вибрационного катка

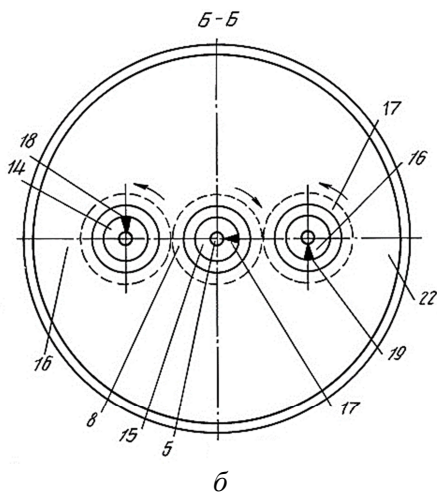
Внутри вибровальца 5 на поперечных ребрах 12 и 13 установлены три 14, 15 и 16 вибровозбудителя круговых колебаний. У вибровозбудителя 15 массы дебалансов 17 смещены по отношению дебалансов 18 и 19 вибровозбудителей 14 и 16 на 90° . Вибровозбудители 14 и 16 смещены от оси вращения вибровальца 5 в диаметрально противоположные стороны на одинаковые расстояния, равные $0,5-0,75$ радиуса вибровальца. Привод всех трех вибровозбудителей 14, 15 и 16 осуществляется посредством гидромотора 20, установленного на опоре 7. Вал гидромотора 20 при помощи шлицевой муфты 21 соединяется с валом приводного фланца 22, на котором крепится шестерня 23 с зубчатым венцом, с которым соединяется зубчатая муфта 24, передающая вращение на средний вал 25 вибровозбудителя 15. От шестерни 23 крутящий момент передается посредством шестерен 26 и 27 двум валам 28 и 29 вибровозбудителей 14 и 16. Передаточное отношение зубчатой передачи равно 1.

Отношение статического момента массы дебалансов к массе вибровальца равно $(0,045-0,03) \cdot 10^2$ отношения радиуса вибровальца к расстоянию между вибровозбудителями колебаний.



а

Рис. 5.13. Продольный разрез вибровальца



б

Рис. 5.14. Поперечный разрез вибровальца

Каток работает следующим образом.

При движении самоходного вибрационного катка включается гидродвигатель 20, который через зубчатую передачу посредством шестерен 23, 26 и 27 передает вращение валам 28 и 29 в одном направлении, а вал 25 вращается в противоположном направлении. При этом возбудители колебаний, имеющие между собой передаточное отношение равное 1, за счет установки дебалансов 18 и 19 в противофазе создают возмущающий крутящий момент, вызывающий крутильные колебания вибровальца 5 вокруг оси вращения. Вращение вала 25 вибровозбудителя 15 в противоположном направлении, с учетом смещения дебалансов этого вала на 90° по отношению к дебалансам 18 и 19 боковых валов 28 и 29, вызывает вертикальное колебание вибровальца.

Совместное воздействие на вибровалец двух возмущающих сил, возникающих при одновременном вращении трех валов с дебалансами, оказывает сминающее и сдвигающее воздействие на уплотняемый материал. Возникающие при этом вертикальные и сдвигающие деформации обеспечивают высокую эффективность уплотнения при сравнительно небольшой массе катка. В результате крутильных колебаний вибровалец, перемещаясь, не отрывается от уплотняемой поверхности и вовлекает в колебательное движение уплотняемый материал, сохраняя при этом высокую устойчивость и управляемость.

Сложные колебания вибровальца 5 практически не передаются раме катка, а, следовательно, и на рабочее место оператора, что позволяет отказаться от использования упругих амортизаторов для подвески вибровальца.

Применение предлагаемого самоходного вибрационного катка с возбудителем комбинированного действия позволит уменьшить массу катка, при этом повысит на 30–35 % производительность и качество уплотнения, а также улучшить условия труда оператора.

Вибровозбудитель в данной конструкции вибровальца непростой, но функционально обеспечивает создание крутильных и вертикальных колебаний вибровальца, что и создает предпосылки получения высокой эффективности уплотнения при минимуме отрицательных побочных явлений при работе катка.

Валец катка фирмы «Caterpillar» (см. рис. 5.15) оснащен возбудителем вибрации с одной частотой и пятью амплитудами. Конст-

руктивно он содержит два – внутренний и внешний – эксцентрика. Изменяя их положение, водитель изменяет и амплитуду вибрации. Данный тип вибровозбудителей штатно оснащается системой Vari Vibe, которая обеспечивает плавное изменение амплитуды колебаний вальца.

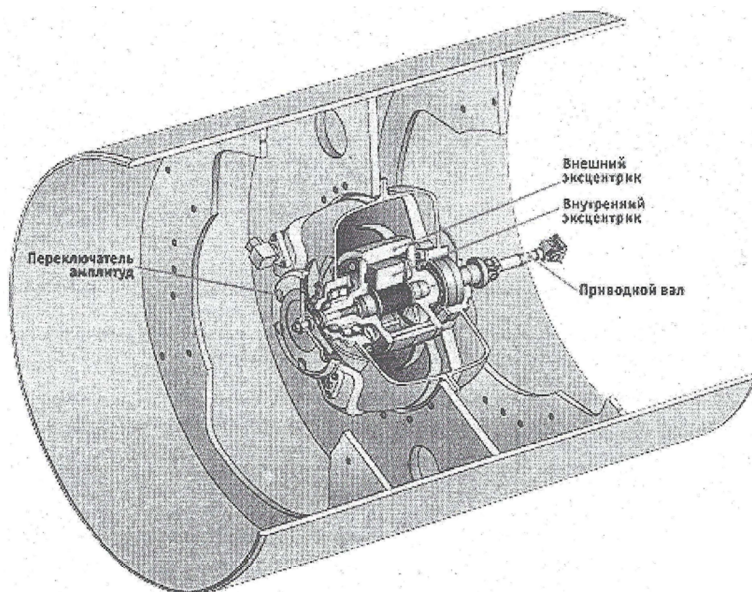


Рис. 5.15. Валец фирмы «Caterpillar»

6. ВИБРОПЛИТЫ

При ремонте и, особенно, при содержании автомобильных дорог велика доля работ, при проведении которых применение тяжелой дорожной техники не оправдано технологически (например, из-за недостатка места на объекте производства работ), экономически не выгодно (небольшие по объему работы резко удорожаются вследствие значительных затрат на эксплуатацию тяжелой дорожной техники, а также высоких расходов на ее транспортировку), а также не эффективно при небольших объемах работ на большом количестве объектов, так как не обеспечивает оперативности производства работ. В таких случаях дорожными организациями используются средства малой механизации, в основном включающие в себя виброплиты и вибротрамбовки.

При ямочном ремонте асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог большое значение имеет качество уплотнения укладываемых дорожно-строительных материалов. Нормативная плотность или коэффициент уплотнения материала определяет стабильность его работы во времени, под воздействием климатических условий и нагрузок транспорта. Недостаточное уплотнение вызывает осадки и разрушение слоев дорожной одежды, что снижает срок службы дороги и ее транспортно-эксплуатационные характеристики. Для обеспечения требуемой плотности дорожными бригадами, выполняющими ямочный ремонт, применяются виброплиты и вибротрамбовки.

Виброплиты классифицируются:

1. По конструкции:

– самодвижущиеся – одноходные (ход только вперед), реверсивные (ход вперед и назад);

– навесные на пневмоколесные тракторы.

2. По типу привода:

– с приводом от двигателя внутреннего сгорания;

– с пневмоприводом.

3. По массе:

– легкие – от 30 до 70 кг;

– средние – от 70 до 120 кг;

– тяжелые – более 120 кг.

В Республике Беларусь и странах СНГ до настоящего времени возможности и перспективы виброплит были недооценены, а их

применение очень ограничено, поэтому производство такой техники еще недостаточно развито. Сегодня в основном выпускаются только одноходные виброплиты массой 70–120 кг, при этом надежность отечественных виброплит оставляет желать лучшего по сравнению с виброплитами ведущих зарубежных фирм Bomag, Weber, Vibromax, Amman, Ingersoll-Rand.

В то же время при уплотнении дорожно-строительных материалов виброплиты не уступают виброкаткам.

В табл. 6.1 представлена уплотняющая способность виброплит различных типов и массы и грунтовых виброкатков. Видно, что при уплотнении всех видов грунтов, глубина уплотнения равна или очень близка у виброплит массой 110–250 кг и виброкатков массой 2–3 т, виброплит массой 300–450 кг и виброкатков массой 6–8 т, виброплит массой 600–750 кг и виброкатков массой 9–17 т. При этом производительность виброплит в 5, 8 и 10 раз меньше при массе меньшей в 15, 20 и 25 раз соответственно.

Таблица 6.1

Уплотняющая способность виброплит и виброкатков
при уплотнении грунтов

Уплотняющая техника	Максимальная величина уплотняемого слоя (м) и производительность (м ³ /ч) при виброуплотнении		
	песка	супеси	суглинка
Виброплиты одноходные массой 70–100 кг	0,2 (10–20)	0,2 (10–20)	0,1 (6–9)
110–180 кг	0,3 (15–30)	0,25 (13–22)	0,15 (8–12)
Виброплиты реверсивные массой 180–250 кг	0,3 (15–30)	0,25 (12–24)	0,15 (8–16)
300–450 кг	0,45 (25–50)	0,35 (20–40)	0,20 (12–24)
600–750 кг	0,7 (90–120)	0,5 (60–90)	0,3 (20–40)
Виброкатки грунтовые массой 2–3 т	0,3 (80–160)	0,2 (60–120)	0,1 (40–80)
6–8 т	0,45 (160–400)	0,35 (120–300)	0,2 (60–180)
9–13 т	0,6 (240–720)	0,45 (200–500)	0,25 (120–360)
16–17 т	0,7 (480–960)	0,6 (360–720)	0,3 (210–420)

Таким образом, виброплиты могут заменить грунтовые виброкатки и обеспечить уплотнение всех грунтов при той же толщине уплотняемого слоя там, где не требуется высокая производительность или где доля данных работ от общего объема не превышает 10–15 %. Прежде всего это:

- уплотнение грунтов в насыпи, примыкающей к искусственным сооружениям – мостам, путепроводам, у труб и над трубами (где каток может их повредить);
- послойное укрепление краев насыпи, где каток по условиям обеспечения безопасности не должен проходить к бровке ближе 1 м;
- уплотнение присыпных обочин, возводимых после строительства дорожной одежды, где также опасно применять виброкатки;
- уплотнение в траншеях, где ширина меньше или чуть больше ширины виброкатка. При этом все виброплиты можно перевезти на автомобиле с краном-манипулятором грузоподъемностью 1 т, а виброкатки – только на прицепе-тяжеловозе соответствующей грузоподъемности.

В табл. 6.2 представлена уплотняющая способность виброплит массой 70–100 и 110–180 кг и виброкатков для асфальтобетона массой 600, 1200 и 3000 кг при уплотнении асфальтобетона слоями толщиной 3–6, 8–10 и 12–14 см. Видно, что виброплиты массой 70–100 кг применимы при тех же толщинах (3–6 см и 8–10 см) уплотняемого слоя, что и каток массой 600 кг, уступая по производительности в три раза при толщине уплотняемого слоя 3–6 см и в два раза при толщине уплотняемого слоя 8–10 см. Виброплиты массой 120–180 кг применимы при толщинах уплотняемого слоя 3–14 см. При этом производительность виброплит меньше по сравнению с катками массой 1,2–3,0 т в три–пять раз при толщине слоя 3–6 см, в три–четыре раза при толщине слоя 8–10 см, в два–четыре раза при толщине слоя 12–14 см, а масса виброплит меньше в 6–10 раз и 15–25 раз соответственно.

Таким образом, виброплиты массой 70–100 кг могут заменять виброкатки для асфальтобетона при уплотнении верхних слоев покрытия, где не требуется высокой производительности, а виброплиты массой 120–180 кг могут заменять виброкатки для асфальтобетона при уплотнении верхних и нижних слоев покрытия при небольших объемах работ.

Таблица 6.2

**Уплотняющая способность виброплит и виброкатков
при уплотнении асфальтобетона**

Уплотняющая техника	Производительность м ³ /ч (т/ч) при виброуплотнении асфальтобетона при толщине уплотняемого слоя		
	3–6 см	8–10 см	12–14 см
Виброплиты массой:			
70–100 кг	60–90 (6–9)	40–60 (10–15)	
110–180 кг	80–120 (8–12)	60–80 (15–20)	30–40 (10–13)
Виброкатки для асфальтобетона (танDEMные) массой:			
600 кг	200–250 (20–25)	100–120 (25–30)	
1200 кг	300–400 (30–40)	150–200 (35–50)	100–120 (30–40)
3000 кг	400–600 (40–60)	250–350 (60–90)	200–250 (70–90)

Таковыми случаями являются:

- ямочный ремонт покрытия;
- заделка траншей, пересекающих покрытие;
- уплотнение щебня и гранулята (сфрезерованного асфальтобетона), применяемых для укрепления обочин;
- уплотнение нижних и верхних слоев дорожной одежды при уширении проезжей части на развязках, автобусных остановках и других местах небольшой протяженности.

В табл. 6.3 и 6.4 представлены рекомендуемые параметры виброплит (основной параметр – масса) для уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей.

Таблица 6.3

Рекомендуемые параметры виброплит для уплотнения грунтов

Тип виброплиты и уплотняемого грунта	Рекомендуемая масса (кг) виброплиты для обеспечения глубины уплотнения, м					
	0,15	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6
1	2	3	4	5	6	7
Одноходная						
песок	70–100	110–140	110–180	180		
супесь	70–100	110–180	180			
суглинок	110–180	180				

1	2	3	4	5	6	7
Реверсивная						
песок	120	120	120–250	300–450	400–550	600–750
супесь	120	120–250	300–450	400–550	600–750	750 и более
суглинок	120–250	300–450	400–550	600–750	750 и более	

Таблица 6.4

Рекомендуемые параметры виброплит
для уплотнения асфальтобетонных смесей

Тип виброплит	Рекомендуемая масса (кг) виброплиты для обеспечения глубины уплотнения в см		
	3–6	8–10	12–14
Одноходная	700–100	100–120	110–180
Реверсивная	120	120–200	120–200

Конструктивно все виброплиты очень близки. Наиболее распространенная конструкция виброплит (рис. 6.1) включает в себя двигатель внутреннего сгорания с воздушным охлаждением, вибратор и трансмиссию для привода вибратора (сцепление и клиноременную передачу), смонтированные на раме, нижняя часть которой имеет подошву, передающую уплотняющее воздействие на материал.

Тяжелые виброплиты могут иметь гидравлический привод вибратора, включающий в себя гидробак, насос, приводимый в движение от двигателя внутреннего сгорания, гидрораспределитель и гидромотор, соединенные гидролиниями. Для предотвращения налипания материала на подошву, виброплиты имеют систему подачи воды с отдельным бачком. Для управления виброплитой в процессе работы на ее раме закреплена рукоятка. Существуют виброплиты с приводом от пневмодвигателя, сжатый воздух в который подается от компрессорной установки. При этом от одной компрессорной установки может питаться несколько виброплит. На одноходных (имеющих движение только вперед) виброплитах устанавливается одно-

вальный вибратор, а на реверсивных (имеющих движение вперед и назад) – двухвальный. Изменение направления движения на реверсивных виброплитах осуществляется изменением направления результирующей силы двух вибровалов с дебалансами, что реализуется поворотом одного относительно другого. Одноходные виброплиты массой 70–100 кг оснащаются, как правило, бензиновыми двигателями внутреннего сгорания, массой 100–160 кг – бензиновыми или дизельными; реверсивные виброплиты массой 12–250 кг оснащаются в основном дизельными двигателями, а массой более 300 кг – исключительно дизельными. Как правило, одноходные виброплиты имеют постоянную ширину уплотнения (не имеют уширителей), а реверсивные – переменную (имеют различные уширители).

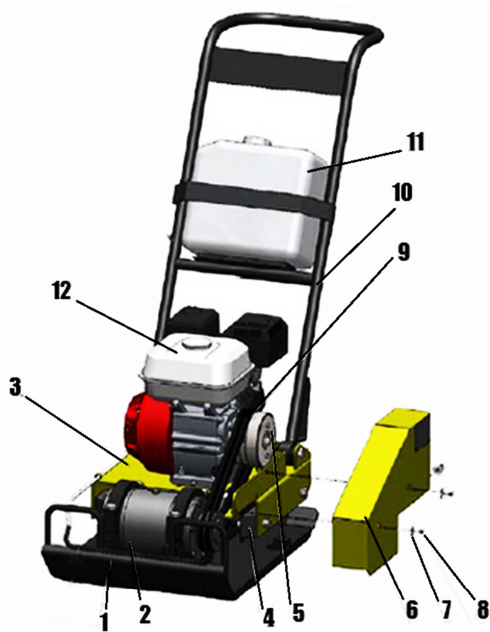


Рис. 6.1. Конструктивная схема виброплиты:

- 1 – плита; 2 – вибратор; 3 – платформа; 4 – подушка; 5 – муфта; 6 – кожух;
7 – шайба; 8 – болт; 9 – клиноременная передача; 10 – водило;
11 – бак; 12 – двигатель

Для транспортировки на место производства работ виброплиты имеют опускаемые колеса. По заказу виброплиты могут оснащаться

укрепляемой на подошву накладкой из полиуретана для уплотнения тротуарной плитки, бетонных плит и других сборных элементов пешеходных дорожек, тротуаров и проезжей части городских и парковых дорог. Для уменьшения износа подошв виброплит применяют легированные стали (для сварных подошв), стальное литье, а также литье из ковкого чугуна.

В Республике Беларусь отраслевые дорожные предприятия наладили производство средств малой механизации. Так, производственно-конструкторское машиностроительное предприятие «Белдортехника» выпускает в настоящее время две модели виброплит ПВ-1 и ПВ-2 с использованием импортных комплектующих изделий (в частности, двигателей фирмы «Honda») массой 70 кг и 120 кг соответственно. Могилевский завод «Строммашина» предлагает виброплиту УВ-04 массой 233 кг с приводом от двигателя ВСН-6Д мощностью 4,4 кВт. Гомельское СКТБ «Техноприбор» разработало легкую виброплиту с приводом от пневмодвигателя.

В табл. 6.5–6.9 приведены основные параметры некоторых виброплит различного типа, выпускаемых зарубежными фирмами.

Таблица 6.5

Виброплиты одноходные массой 70–100 кг

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
Bomag, Германия					
BP-10/36-2	72	Honda, BX120, бенз.	2,9	360	90
BP-15/45-2, BP-15/45D2	91 и 95	Honda, BX160, бенз. Yanmar, L48AE-D (диз.)	4,0 и 3,4	450	90
Vibromax, Германия					
AV-900	87	Robin, EY 15, бенз.	2,6	415	100
Stone, США					
S28A	72	Honda, GX120, бенз.; Briggs & Stratton, J/P, бенз.	2,9; 3,7	480	97

Окончание табл. 6.5

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
S38A	86	Honda, GX160, бенз.; Briggs & Stratton, J/P, бенз.	4,0; 3,7	510	90
Stow, США					
VPC 75	79	Honda, GX120, бенз.	2,9	360	90
VPC 90	91	Honda, GX160, бенз.; Briggs & Stratton, J/P, бенз.	4,0 и 3,7	500	100
NTC, Чехия					
VD 350/16RY, VD350/16R, VD350/16	105	Robin, EY 15D, бенз.; Robin EH 12D, бенз.; Honda, GX120, бенз.	2,6; 2,9; 2,9	350	81
Ingersoll-Rand, США					
BXG, BXGH, BXGЖ, BXGWH	70, 71, 73, 74	Robin, EY 15, бенз.; Honda, GX120, бенз.	2,6 и 2,9	400	92
BXB, BXBH, BXBW, BXBWH	90, 91, 93, 94	Robin, EY 20, бенз.; Honda, GX160, бенз.	3,7 и 4,0	480	92
АО «СММ», Россия (совместно с Vibromax)					
AY-900	87	Robin, EY 15, бензин	2,6	415	100
АО «Мотопром», Россия					
BY-1500	82	Briggs & Stratton Vanguard, бенз.,	2,9	450	90
Волгодонск ОЭЗ, Россия					
ОУ-80, ОУ-90	100 и 105	Honda, БХ160, бенз.	4,0	420	90
Тремик, Швеция					
MV85A	97	Honda, GX120, бенз.	2,9	520	110

Таблица 6.6

Виброплиты одноходные массой 110–180 кг

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
Weber, Германия					
VC17R, 4C17H	104, 105	Robin, EY20, бенз.; Hatz, 1820, диз.	3,7 и 3,2	480	86 и 90
VC18H, VC18Y, VC18R	139, 135, 129	Hatz, E673, диз.; Yanmar, L60D, диз.	3,9; 4,5	500	80, 81, 81
VC20H, VC20L	149, 133	Hatz, E673, диз.; Lombardini, 15L D315, диз.	3,9; 4,5	600	81
Bomag, Германия					
BP23/48, BP23/48Д, BP23/60	137, 168, 180	Honda, GX160, бенз.; Hatz, E673, диз., Hatz, E673, диз.	4,0; 3,9; 3,9	480, 480, 600	78
Vibromax, Германия					
AV 1300B, AV 1300Д	108, 130	Honda, GX160, бенз.; Hatz, E673, диз.	4,0; 3,9	500	90
Ammann, Германия					
AVP 1850	100, 117, 130	Honda, GX160, бенз.; Hatz, 1820, диз., Hatz, E673, диз.	4,0; 3,2; 3,9	500	85
NTC, Чехия					
VD 450/20RY, VD450/20R, VD450/20	120	Robin, EY 20, бенз.; Robin, EH17D, бенз.; Honda, GX 160, бенз.	3,7; 4,4; 4,0	450	81
Ingersoll-Rand, США					
BX12, BX12W, BX12WH	110, 113, 114	Robin, EY 20, бенз.; Honda, GX 160, бенз.	3,7 и 4,0	550	103
«Раскат», Россия					
ДУ-90	270	СМ-6Д, диз.	4,4	550	75
Тремix, Швеция					
MV 90A	109	Honda, GX160, бенз.	2,9	500	87
MV 140	140	Honda, GX160, бенз.	4,0	450	75

Таблица 6.7

Виброплиты реверсивные массой 120–250 кг

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
Weber, Германия					
RC48-2, RC48R-2	181 и 159	Farymann, 15Д диз., Robin, EY20, бенз.	4,3 и 3,7	480	78
Bomag, Германия					
BPR30/38, BPB30/38Д, BPB30/38Д	187, 204, 207	Honda, GX160, бенз.; Hatz, 1B20, диз., Yanmar, L48AE-Д, диз.	4,0; 3,4; 3,6	580	75
Vibromax, Германия					
AT-15	180–192	Yanmar, L48E, диз.	3,6	350–550	75
Ammann, Германия					
AV P2220	100 и 115	Honda, GX120, бенз., Hatz, 1B20, диз.	2,9 и 3,4	400	98
AV P2920	185–195 и 195–205	Honda, GX270, бенз., Hatz, 1B30, диз.	6,6 и 4,6	500–700	95
Tremix, Швеция					
MV 145	185	Honda, GX220, бенз.	4,8	450	65

Таблица 6.8

Виброплиты реверсивные массой 300–450 кг

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
Weber, Германия					
ТС-60-2	395–425	Hatz, ES79, диз.	5,9	600–800	57,5
Bomag, Германия					
BPR45/45Д	342–369 и 308–335	Yanmar, L70AE-Д, диз., Hatz, 1B30, диз.	4,4 и 4,6	450–750	80

Окончание табл. 6.8

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
BPR55/52Д	428–455 и 408–435	Hatz, 1Д418, диз., Yanmar, L100AE, диз.	5,8 и 6,6	520–820	80
Vibromax, Германия					
AT35У, AT35Н	320–342 и 340–362	Yanmar, L100AE, диз., Hatz, 1Д418, диз.	6,6 и 5,8	450–700	55
Tremix, Швеция					
MV310	324	Yanmar, L70Д, диз.	4,9	600	68

Таблица 6.9

Виброплиты реверсивные массой 600–750 кг

Марка (модель), производитель (страна)	Основные параметры				
	Масса (рабочая), кг	Двигатель		Ширина уплотнения, мм	Частота вибрации, Гц
		Фирма, марка, тип	Мощность, кВт		
Weber, Германия					
WHV6011, WHV6013	610–660	Hatz, ES786, диз.; Farymann, 43E, диз.	10,3 и 8,8	650–950	33,3
Bomag, Германия					
BPR80/60Д-2	643–693	Hatz, 1Д81Z, диз.	10,5	580–900	72
Vibromax, Германия					
AT45	510–550	Hatz, 1Д81Z, диз.	10,5	550–850	50/65
AT60	620–680	Hatz, ES786, диз.	10,3	710–900	43
ATS 6002	789–913	Hatz, 1Д70, диз.	8,9	680–1100	30,5

7. ВИБРОТРАМБОВКИ

Вибротрамбовки, как и виброплиты, предназначены для выполнения работ по уплотнению песка, глины, гравия, асфальтобетона и других дорожно-строительных материалов при производстве небольших объемов работ на ограниченном пространстве, в траншеях, вблизи зданий и сооружений. В качестве привода вибротрамбовок используют бензиновый или дизельный двигатель, приводящий в движение через трансмиссию и зубчатую передачу коленчатый вал, на котором установлен шатун, соединенный с массивным поршнем, движущемся в полости, образованной внутри опоры вибротрамбовки (рис. 7.1). Ударная сила, создаваемая поршнем, передается на подошву вибротрамбовки через систему пружин. Эффективность уплотнения вибротрамбовкой обусловлена высотой, с которой наносится удар, и длительностью его нанесения.

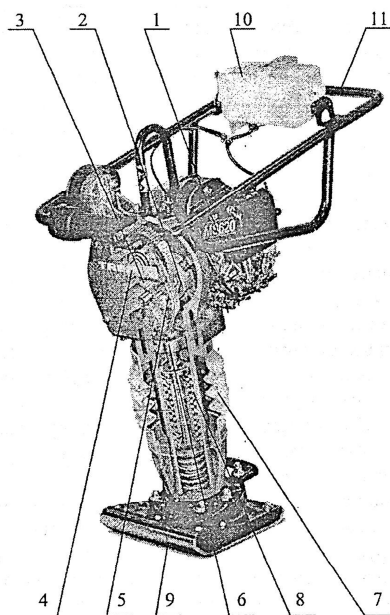


Рис. 7.1. Конструктивная схема вибротрамбовки:

- 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – трансмиссия; 3 – зубчатая передача;
4 – коленчатый вал; 5 – шатун; 6 – поршень; 7 – опора; 8 – система пружин;
9 – подошва; 10 – топливный бак; 11 – рукоятка

8. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ВИБРАЦИОННЫМ КАТКОМ

На основании анализа процесса уплотнения материалов вибрационными катками для получения ровной, плотной и устойчивой структуры уплотняемой поверхности необходимо учитывать физико-механические и реологические свойства уплотняемого материала, конструктивные особенности уплотняющей машины: статическую линейную нагрузку, частоты, амплитуды колебаний, диаметр вальца, скорость укатки, количество вибрирующих вальцов и ее режимы работы.

Для обоснования параметров и конструкции вибрационного катка построена динамическая модель и составлена расчетная схема его движения, изображенная на рис. 8.1.

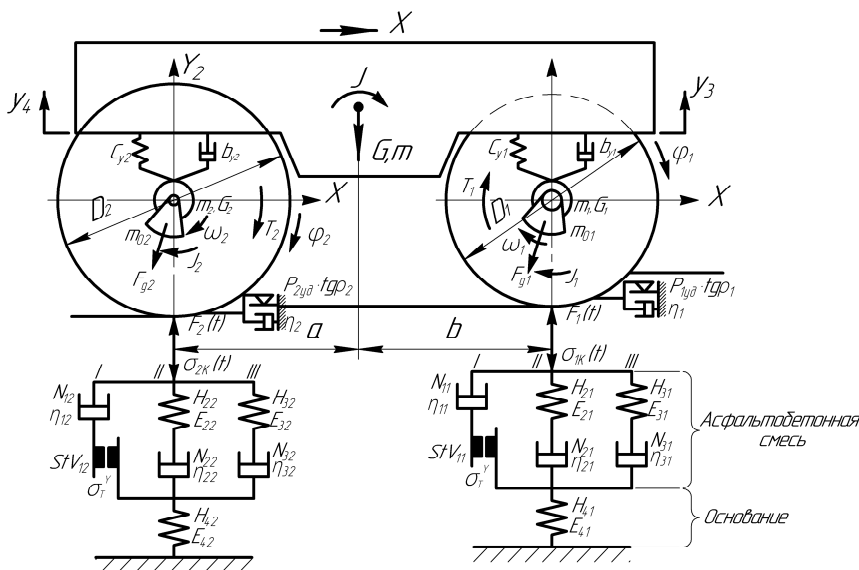


Рис. 8.1. Расчетная схема силового взаимодействия двухвальцового катка с уплотняемым материалом

На рисунке обозначены:

$J_{1,2}$ – моменты инерции вибрационных валцов;

J – момент инерции остова катка относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести;

$m, m_{1,2}$ – массы соответственно остова катка и вибрационных валцов;

G, G_i – веса соответственно остова катка, вибрационных валцов и остова катка, приходящиеся на соответствующий валец;

T_1, T_2 – крутящие моменты, приложенные извне к валцам;

F_{g1}, F_{g2} – амплитуда вынуждающей силы соответствующих дебалансов;

m_{01}, m_{02} – массы дебалансов соответствующих валцов;

$C_{y1,2}$ – коэффициенты линейной жесткости резиновых амортизаторов;

$b_{v1,2}$ – коэффициенты вязкого трения резиновых амортизаторов;

$\omega_{1,2}$ – угловые скорости вращения валов вибровозбудителей;

x – продольное перемещение катка;

y_i – вертикальное перемещение соответствующих масс катка;

$\varphi_{1,2}$ – угловые перемещения соответствующих валцов;

a, b, D_i – геометрические параметры катка;

N – модель Ньютона;

η – вязкость модели Ньютона;

H – модель Гука;

E – модуль упругости модели Гука;

StV – модель Сен-Венана;

σ_m^y – предел текучести модели Сен-Венана;

tgr_i – коэффициент трения;

$P_{i \text{ уд}}$ – давление катка на уплотняемый материал;

$F_i(t)$ – реакция на валец со стороны уплотняемого материала;

$\sigma_{ik}(t)$ – контактное давление вальца на уплотняемый материал.

В соответствии с расчетной схемой, изображенной на рис. 8.1, дифференциальные уравнения колебательной системы «остов катка» – «валцы» – «уплотняемый материал» можно записать в виде системы

$$1. \ddot{y}_1 = \frac{1}{m_1} \cdot [F_1(t) - C_{y1} (y_1 - y_3) - b y_1 (\dot{y}_1 - \dot{y}_3) - G_1 - F_{g1} \cdot \sin(\omega_1 t + \psi_1)];$$

$$\begin{aligned}
2. \ddot{y}_2 &= \frac{1}{m_2} \cdot \left[F_2(t) - C_{y_2}(y_2 - y_4) - by_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_4) - G_2 - F_{g_2} \times \right. \\
&\quad \left. \times \sin(\omega_2 t + \psi_2) \right]; \\
3. \ddot{y}_3 &= \frac{m \cdot b^2 + I}{I \cdot m} \left[C_{y_1}(y_1 - y_3) + by_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_3) - G_3 \right] - \\
&\quad - \frac{m \cdot a^2 + I}{I \cdot m} \left[C_{y_2}(y_2 - y_4) + by_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_4) - G_4 \right]; \\
4. \ddot{y}_4 &= \frac{m \cdot a \cdot b - I}{I \cdot m} \left[C_{y_2}(y_2 - y_4) + by_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_4) - G_4 \right] - \\
&\quad - \frac{m \cdot a^2 + I}{I \cdot m} \left[C_{y_1}(y_1 - y_3) + by_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_3) - G_3 \right]; \tag{8.1} \\
5. \ddot{\phi}_1 &= \frac{1}{I_1} \left(T_1 - F_1(t) \cdot a_1 - F_{k_{\tau_1}} \cdot r_{k_1} \right); \\
6. \ddot{\phi}_2 &= \frac{1}{I_1} \left(T_2 - F_2(t) \cdot a_2 - F_{k_{\tau_2}} \cdot r_{k_2} \right); \\
7. \ddot{x} &= \frac{1}{m + m_1 + m_2} \left(F_{k_{\tau_1}} + F_{k_{\tau_2}} - \frac{F_1(t) \cdot a_1}{r_{k_1}} - \frac{F_2(t) \cdot a_2}{r_{k_2}} - \right. \\
&\quad \left. - F_{\text{д1}} \cdot \cos(\omega_1 t + \psi_1) - F_{\text{д2}} \cdot \cos(\omega_2 t + \psi_2) \right),
\end{aligned}$$

где $\psi_{1,2}$ – начальные фазы колебаний.

Точка приложения равнодействующей вертикальных составляющих реакций уплотняемого материала находится на некотором расстоянии по ходу движения катка от вертикальной плоскости, проходящей через ось вальца. Величина этого расстояния зависит от диаметра вальца, вертикальной нагрузки, действующей на его ось, и физико-механических свойств материала.

Поскольку каждая точка дуги контакта ведущего вальца с материалом, кроме вертикальных, имеет и горизонтальные перемещения, направленные в сторону движения оси вальца, точка приложения равнодействующей горизонтальных составляющих реакций уплотняемого материала должна находиться в пределах зоны контакта, на некотором расстоянии от горизонтальной плоскости, про-

ходящей через наиболее деформированную поверхность материала, и направлена в сторону движения оси вальца. Равнодействующая касательных реакций должна быть приложена в той же точке, что и равнодействующая нормальных реакций.

Величина касательной силы тяги вальца определяется по формуле

$$F_{k\tau_i} = \tau_{x_i} \cdot A_{k_i}(t),$$

где τ_{x_i} – напряжения сдвига в зоне контакта вальца;

$A_{k_i}(t)$ – площадь пятна контакта вальца с уплотняемым материалом;

$i = 1, 2$ – номер вальца.

Площадь пятна контакта определяется по формуле

$$A_{k_i}(t) = L_{ABi} \cdot B,$$

где L_{ABi} – длина дуги контакта вальца с уплотняемым материалом;

B – ширина вальца.

Напряжения сдвига в зоне контакта вальца определяется по формуле [13]

$$\tau_{x_i} = P_{iyg} \cdot \operatorname{tg} \rho_i + \eta \frac{dv}{dl},$$

где v – скорость деформации;

l – обобщенный линейный размер.

Контактное давление вальца на уплотняемый материал определим по формуле

$$\sigma_{ik}(t) = \frac{F_i(t)}{A_{ki}(t)}.$$

Для реологической модели вибрационного уплотнения материала, состоящей из трех параллельно соединенных ветвей (блоков), для которой в любой момент времени соблюдаются условия [14]:

– относительная деформация уплотняемого материала

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_1(t) = \varepsilon_2(t) = \varepsilon_3(t);$$

– контактное давление

$$\sigma_k(t) = \sigma_1(t) + \sigma_2(t) + \sigma_3(t).$$

Получено дифференциальное уравнение [15] в виде

$$\begin{aligned} (\eta_2\theta_3 + \eta_3\theta_2) \cdot \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + (\eta_2 + \eta_3) \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} = \theta_2\theta_3 \cdot (n \cdot m) \cdot \frac{d^2\sigma_k}{dt^2} + \\ + (\theta_2n + \theta_3m) \cdot \frac{d\sigma_k}{dt} + [\sigma_k - \sigma_m^y], \end{aligned} \quad (8.2)$$

где θ_2, θ_3 – время быстрой и медленной релаксации напряжений в блоках II и III соответственно, с;

η_2, η_3 – вязкость смеси в блоках II и III соответственно, Па·с;

n, m – коэффициенты, постоянно изменяющиеся в процессе уплотнения;

σ_m^y – предел текучести модели Сен-Венана, блок I.

Уравнения, описывающие гармонические колебания вальцов исследуемого катка и реологические свойства асфальтобетонной смеси, принимают вид

$$\begin{aligned} L_{AB(t)i} = \frac{(m_{i+2} + m_i) \cdot g}{\sigma_{k(t)i} \cdot B} + \frac{F_{\text{дл}} \sin(\omega_i t + \psi_i)}{\sigma_{k(t)i} \cdot B} - \\ - \frac{(0,02 \cdot m_{i+2} + m_i) h_{\text{сн}(t)i}}{\sigma_{k(t)i} \cdot B} \cdot \frac{d^2\varepsilon(t)_i}{dt^2}, \end{aligned} \quad (8.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma_{k(t)i}}{dt^2} = -C_{1i}(n_i\theta_{2i} + m_i\theta_{3i}) \cdot \frac{d\sigma_{ki}}{dt} - C_{2i}[\sigma_{k(t)i} - \sigma_m^y] + \\ + \frac{C_{3i}E_0(t)_i \cdot (n_i + m_i)}{m_i\theta_2 + n_i\theta_3} \cdot \frac{d\varepsilon(t)_i}{dt} + C_{3i}E_0(t)_i \cdot \frac{d^2\varepsilon(t)_i}{dt^2}, \end{aligned}$$

где $i = 1, 2$ – номер вальца на рис. 8.1.

$E_0(t)$ – модуль деформации, Па.

$$C_1 = \frac{\theta_2 \cdot n + \theta_3 \cdot m}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m};$$

$$C_2 = \frac{1}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m};$$

$$C_1 = \frac{n + m}{n \cdot m},$$

Для решения системы дифференциальных уравнений (8.3) был разработан программный продукт для ЭВМ, алгоритм работы которой представлен на рис. 8.2, интерфейс программы ЭВМ для определения оптимальных параметров катка в зависимости от реологических свойств уплотняемой асфальтобетонной смеси представлен на рис. 8.3. Результат работы программы представлен на рис. 8.4.

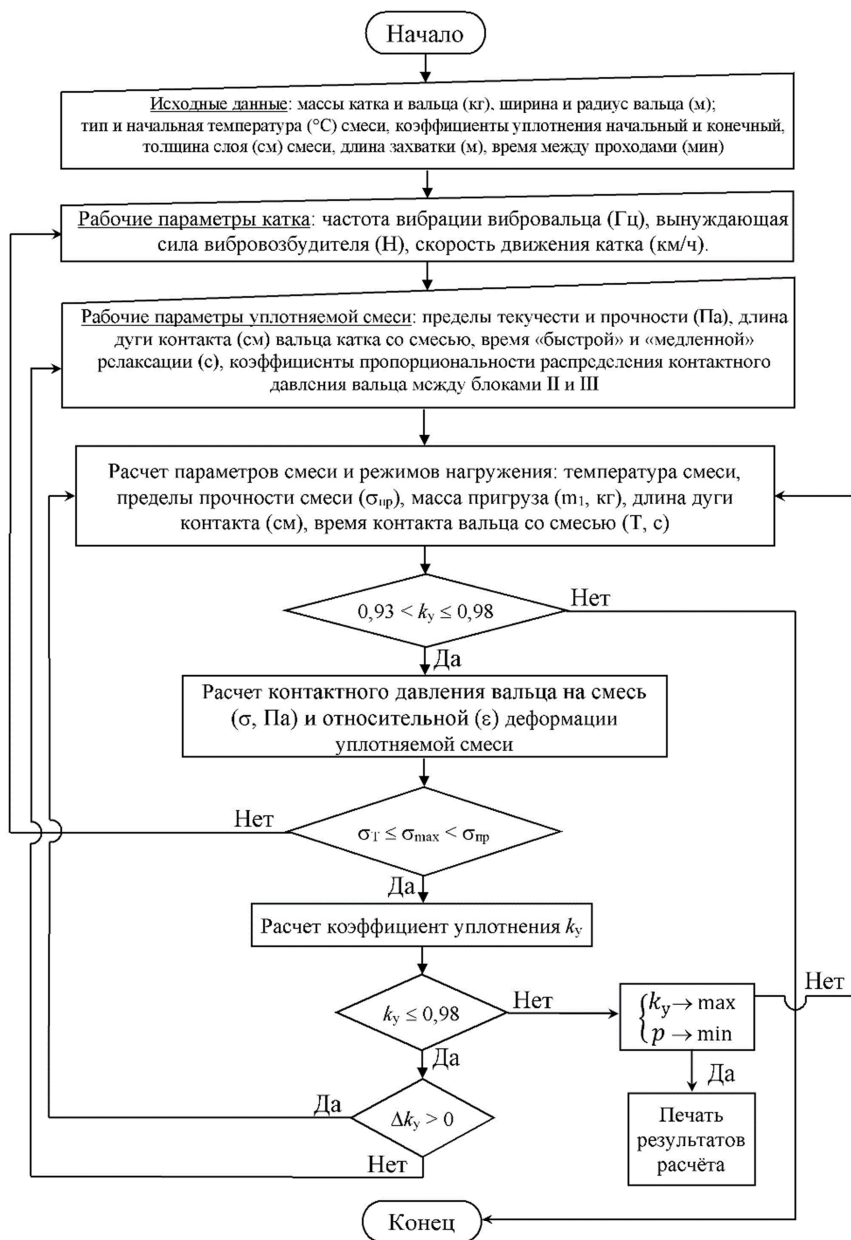


Рис. 8.2. Блок-схема алгоритма работы программы ЭВМ

Параметры уплотняемой смеси и работы катка

Параметры катка		Параметры уплотняемой смеси	
Масса катка, кг	13356	Тип смеси, А или Б	Б1
Масса вальца, кг	3020	Начальная температура, град	120
Ширина вальца, м	2,15	Толщина слоя проектная, см	6
Радиус вальца, м	0,7	Предел текучести, Па	900000
Число виброрывальцов, шт	2	Время "быстрой" релаксации, с	0,005
Частота вибрации, Гц	40	Время "медленной" релаксации, с	5
Возмущающая сила, Н	87724,2	Коэффициент n	0,2
Скорость движения катка, км/ч	1	Коэффициент m	0,8
Длина дуги контакта, см	1,8	Коэффициент уплотнения начальный	0,93
Длина захватки, м	40	Коэффициент уплотнения конечный	0,98
Время между проходами, мин	1	Модуль деформации основания, Па	50000000
* Вязкость а/б смеси, Па*с	850000	* Предел прочности, Па	2600000

Расчёт Выход

Рис. 8.3. Интерфейс программы ЭВМ

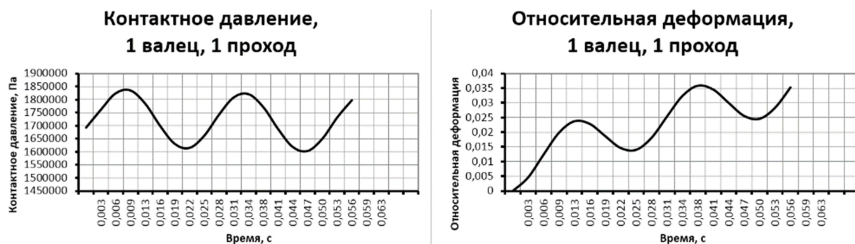


Рис. 8.4. Контактное давления вальца на уплотняемый материал и абсолютная величина деформации уплотняемого слоя материала

9. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВИБРОКАТКОВ

Соблюдение технологии работ, выполняемой катками, поддерживается функцией автоматической активации вибрации катка при начале движения и наборе определенной скорости. Современные дорожные катки оснащаются электронными системами помощи оператору, такими как интеллектуальные системы контроля уплотнения IC (Intelligent Compaction), системы контроля температуры асфальтобетона и телематические системы, обеспечивающими безошибочную и более комфортную работу оператора [16].

Система Асфальт Менеджер (фирма Bomag) позволяет непрерывно контролировать качество уплотнения материала в косвенных показателях (вибрационный или динамический модуль деформации EVib в МН/м²) [17]. Обновляемые значения параметров EVib непрерывно отображаются на экране, благодаря чему в режиме реального времени можно судить о результатах уплотнения в процессе укатки, а также выявлять мягкие участки. При этом неизменным условием эффективного функционирования системы является непрерывное измерение температуры асфальтобетона. В зависимости от степени уплотнения и температуры уплотняемого слоя могут изменяться параметры вибрации и скорость катка.

В вальце установлен механизм вибрации Variomatic 2, который работает с двумя вариантами амплитуды и одним значением частоты. Есть два центральных и два боковых эксцентрика. При смене направления вращения меняется амплитуда. На внутренней поверхности вальца имеются датчики температуры и погружения вальца. Компьютер, принимая сигналы от датчиков, регулирует уплотняющее воздействие и скорость катка.

Специалисты **Caterpillar** разработали «умную систему» для двухвальцовых катков, названную Automatic Adjustable Compaction (AAC), которая регулирует уплотняющее усилие, чтобы при каждом проходе каток выполнял уплотнение материала с оптимальной эффективностью: первые проходы выполняются с максимальным уплотняющим усилием, чтобы как можно скорее увеличить степень уплотнения материала, а затем уплотняющее усилие уменьшается, чтобы избежать переуплотнения и разрушения покрытия, т. е. обеспечить уплотнению покрытия наивысшее качество [16].

В современных дорожных катках применяются системы документирования, позволяющие вносить в проект строительства данные о параметрах техпроцесса и результатах работ катка с привязкой к GPS-координатам. Это соответствует наметившемуся тренду на внедрение BIM-технологий (BIM – Building Information Model или Modeling, англ., «информационная модель сооружения» – это цифровая база данных о сооружении или строительном проекте, управляемая с помощью компьютерной программы или комплекса программ) в дорожном строительстве и позволяет интегрировать машины в процесс цифрового моделирования объекта.

Компоненты, которые превращают асфальтовые дорожные катки в «интеллектуалов», это высокоточные системы навигации GPS/ГЛОНАСС, помогающие машине ориентироваться на местности, инфракрасные датчики для определения температуры асфальтового слоя, акселерометры для получения данных по вибрации и цветной экран монитора, на котором в режиме реального времени представляется вся важная информация для оператора.

Компания BOMAG производит катки с уникальной интеллектуальной системой контроля уплотнения BOMAG ASPHALT MANAGER [16]. Эта система сочетает измерительную систему и направленный вибратор с автоматически изменяемой эффективной амплитудой. Такие машины имеют преимущества вибрации и осцилляции и могут с успехом заменить осцилляционный каток, ведь принцип воздействия на материал направленного вибратора, работающего в горизонтальной плоскости, очень схож с классической осцилляцией, и эффект такого вибратора на практике ничем не отличается от эффекта осцилляции.

Самым современным решением в области документирования является BOMAG Connect [16]. Благодаря этой системе, информация о количестве проходов, степени уплотнения, температуре асфальтобетона доступна оператору на экране его планшета или смартфона, с привязкой к местоположению. Для этого используется штатный GPS-приемник мобильного устройства или, при необходимости получить более высокую точность геолокации, дополнительная GPS-антенна. Также технологическая информация транслируется в облачный сервер и за работой катков можно наблюдать в режиме реального времени из любой точки мира.

Благодаря функции BOMAP Connect оператор каждого катка видит на своем экране не только свое местоположение и результаты работы, но и результаты и местоположение других катков, работающих с ним.

При наличии на катке системы навигации GPS/ГЛОНАСС можно получить карту распределения плотности по всему участку, что дает возможность провести не точечный, а сплошной контроль качества уплотнения каждого слоя.

Система Ammann Compaction Expert (ACE) (фирма Ammann) на асфальтобетонном виброкатке автоматически настраивает амплитуду и частоту в соответствии с установленной рабочей скоростью катка, температурой поверхности асфальтобетона (непрерывно измеряется устройством инфракрасного типа), прочностными и деформативными характеристиками поверхности укатки [16].

Система ACE модифицируется в зависимости от типа и размера машины. Версии ACEforce и ACEpro устанавливаются на более тяжелые машины, а версия ACEecon – на некоторые модели грунтовых катков, траншейные катки и тяжелые реверсивные виброплиты.

Система ACEforce непрерывно измеряет степень уплотнения и присваивает процессу конкретные значения, которые отображаются в цифровом виде. Эта версия точно измеряет и оценивает жесткость материала и способна подтвердить достижение требуемой степени уплотнения. Кроме того, система ACEforce позволяет анализировать данные через систему документирования Ammann Documentation System (ADS).

ACEpro – это совершенная версия системы контроля степени уплотнения. Она не только измеряет степень уплотнения и позволяет анализировать данные через систему документирования ADS, но и гарантирует постоянную регулировку амплитуды и частоты вибрации как в ручном, так и в автоматическом режимах и регистрацию рабочих данных. Обе версии системы, ACEforce и ACEpro, совместимы с системами GPS всех крупных производителей для обеспечения возможности картографирования и помощи оператору.

Фирма Ammann также предлагает версии ACEforce+ и ACEpro+ (ACEplus), где объединены системы измерения и регулировки параметров уплотнения ACE и система навигации. На графическом дисплее отображаются данные о работе по уплотнению на строительной площадке, что позволяет быстро и надежно проводить ана-

лиз рабочих параметров. Система позволяет производить измерение и регистрацию различных параметров уплотнения, таких как значение жесткости kV (несущая способность материала), тенденция изменения значений kV , температура, состояние вибрации, скорость катка, эффективная амплитуда и частота, счетчик проходов, точное географическое положение, дата и время, а также позволяет производить обмен данными между машинами.

Ammann разработала телематическую систему управления оборудованием Ammann ServiceLink (рис. 9.1). Эта универсальная система отслеживает местоположение катка, его наработку, расход топлива и время простоя, и прочие важные параметры, а также позволяет планировать и управлять интервалами технического обслуживания. Благодаря этим сведениям не только гарантируется бесперебойная работа техники, но и открываются возможности для повышения производительности.

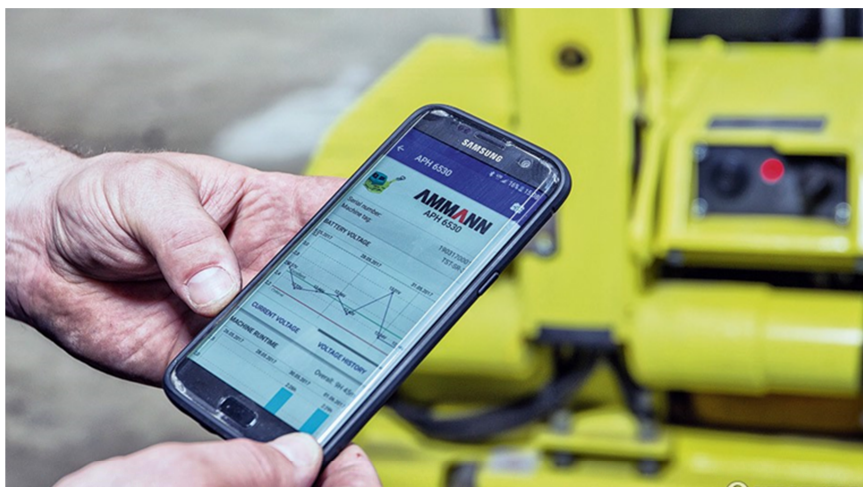


Рис. 9.1. Телематическая система управления катком Ammann ServiceLink

Система HFA (фирма I-R, США) обеспечивает высокочастотное автоматическое регулирование уплотняющего воздействия катка (DD118HF, DD138HA, DD158HFФ), использование низкочастотного (42–50) Гц и высокочастотного (57–70) Гц режимов колебаний вальца, дискретность амплитуды с автоматической настройкой час-

тоты колебаний для выбранной амплитуды (всего 8 значений), увязку рабочей скорости катка с частотой циклов нагружения материала не менее 33–39 циклов на 1 м пути катка) и др.

Caterpillar Paving Products выпустила систему непрерывного контроля уплотнения *Auto Adjustable Compaction* (AAC) для тандемных асфальтовых катков Caterpillar серии B. Система измеряет величину уплотнения, температуру верхнего слоя асфальта и регулирует амплитуду вибрации, оптимизируя величину энергии воздействия на асфальтовое покрытие, по мере уплотнения асфальта амплитуда уменьшается. На катках Caterpillar также используются системы *Cat Compaction Control* и *Accu Grade Compaction*.

Новая электронная система *Density Direct*, разработанная Volvo CE, может устанавливаться на определенные асфальтовые катки Volvo. Ее показания плотности имеют точность в пределах 1,5 % относительно значений, полученных путем взятия проб-кернов. Эта система определяет непосредственно величину плотности материала.

Система Topcon C-63 в реальном времени отображает графическую информацию о том, сколько проходов было сделано катком и позволяет осуществлять контроль уплотнения. Система C-63 с открытым модулем Sitelink3D Enterprise позволит в режиме реального времени иметь связь между машинами и офисом. С этой системой любой оператор сможет видеть то, что делает его коллега.

Компания Bomag разработала беспилотный каток модели BW 154 AP-Robomag (рис. 9.2). Каток автономно передвигается и контролирует процесс уплотнения с помощью интегрированной системы Asphalt Manager [17]. Все вводные данные: строительный участок, степень уплотнения, температурные ограничения по смеси и остальную информацию для укатки асфальта машина запрашивает в облачном сервисе, где содержится цифровая схема строительной площадки. Там же, в режиме реального времени, сохраняются сведения о технологических параметрах катка и результаты работы. Машина автоматически определяет скорость движения с учетом объема работы и температурных показателей, уплотняя стыки в режиме осцилляции.



Рис. 9.2. Беспилотный каток компании BOMAG
модели BW 154 AP-Robomag

Современные катки оснащаются телематической аппаратурой, передающей данные на центральный компьютер методами беспроводной связи и способной поддерживать связь с облачными системами хранения данных. Телематическая аппаратура обеспечивает взаимодействие между собой нескольких катков, работающих на одной строительной площадке, передает сведения о работе одного катка операторам других катков, включая общий подсчет проходов, выполненных всеми катками, и также дает возможность удаленного доступа к этой информации с компьютеров в центральном офисе компании, с телефонов и планшетов [16].

Компания JCB оснащает двухвальцовые вибрационные катки телематической системой JCB LiveLink, которая в режиме реального времени предоставляет оператору и руководству компании-владельцу все основные параметры работы катка, данные о его местоположении, составляет аналитические отчеты и диагностирует неисправности.

Литература

1. Вавилов, А. В. Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов: учеб. пособие / А. В. Вавилов [и др.]; под ред. А. В. Вавилова. – Минск: БНТУ, 2003. – 408 с.
2. Уплотнение и укатка дорожных материалов. Теория и практика фирмы Дунарас (Швеция). – Copyright Dynarac AB, 1995.
3. Шестопалов, А. А. К вопросу уплотнения дорожно-строительных материалов // Мир дорог. – 2012. – № 60. – С. 23.
4. Костельов, М. П. «Умные» виброкатки для дорожников?! / М. П. Костельов // Дорожная техника. – 2006. – 2006. – С. 30–44.
5. Маслов, В. Самоходы для качественного уплотнения / В. Маслов // Автомобильные дороги. – 2013. – № 2. – С. 152–154.
6. Валец катка : пат. RU 244816 / А. А. Головнин. – Оpubл. 27.09.1995.
7. Вибрационный каток : пат. RU 2107769 / Б. С. Козлов, П. И. Марков [и др.]. – Оpubл. 27.03.1998.
8. Вибрационный валец катка : пат. RU 2151837 / А. В. Лещинский, С. Н. Иванченко, В. В. Сидоров. – Оpubл. 27.06.2000.
9. Дорожный каток : пат. RU 2100516 / В. И. Баловнев, Н. Е. Курбатов, Г. В. Кустарев. – Оpubл. 27.12.1997.
10. Способ уплотнения дорожно-строительных материалов : пат. RU 2081962 / В. И. Окунев, А. В. Данильченко [и др.]. – Оpubл. 20.06.1997.
11. Самоходный вибрационный каток с возбудителем комбинированного действия : пат. RU 2079610 / М. Р. Буренюк, О. М. Карпов [и др.]. – Оpubл. 20.05.1997.
12. Костельов, М. П. Уплотняющая способность дорожных катков для устройства оснований и покрытий // Дорожная техника. – 2010. – № 10. – С. 33.
13. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.
14. Пермяков, В. Б. Аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком / В. Б. Пермяков, В. В. Дубков, В. С. Серебрянников // Омский научный вестник. – 2008. № 1 (164). – С. 67–71.

15. Беляев, К. В. Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей. Теория и расчет: учеб. пособие / К. В. Беляев, В. С. Серебряников. – Омск: СибАДИ, 2015. – 207 с.

16. Гладкость – сестра таланта (Часть 2) // Основные средства. – 2020. – № 8.

17. Катки компании Bomag – эффективные рабочие лошадки для укладки асфальта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.komek.ru/staty/dorozhnye-katki-bomag/> (15.09.2020).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Классификация и устройство дорожных катков.....	4
2. Конструкция вибрационного катка.....	9
3. Конструкция дорожного катка комбинированного действия	13
4. Основные сведения о вальцах	17
5. Вибрационные вальцы	20
6. Виброплиты.....	38
7. Вибротрамбовки	49
8. Аналитическое описание и моделирование процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком	50
9. Автоматические системы виброкатков	58
Литература	64

Учебное издание

**ВИБРАЦИОННАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ
И УСТРОЙСТВА ДОРОЖНЫХ ОСНОВАНИЙ
И ПОКРЫТИЙ**

Пособие для студентов специальностей 1-36 11 01
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины
и оборудование» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Составители:

ВАВИЛОВ Антон Владимирович
ШАВЕЛЬ Анатолий Андреевич
ГАРОСТ Митрофан Митрофанович
БЕЖИК Александр Александрович

Редактор *Е. О. Германович*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 09.03.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,89. Уч.-изд. л. 3,05. Тираж 100. Заказ 675.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.