

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 625.768.1

doi: 10.30987/2782-5957-2023-6-63-74

ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЩЕТОК ПОДМЕТАЛЬНО-УБОРОЧНЫХ МАШИН НА СТАДИИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Юрий Витальевич Штефан^{1✉}, Светлана Валерьевна Барашкова²

^{1,2} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

¹ shtephan_y_v@mail.ru, Author-ID: 483876;

² sveta-confetta@mail.ru

Аннотация

Цель исследования – разработка и обоснование технологии ремонта цилиндрических щеток с заменой традиционных кассетных сборных проставочных конструкций на беспроставочные и оценка влияния формы поперечного сечения ворсины на эффективность формирования призмы волочения перед ворсиной. Задача, решению которой посвящена статья: расчетное обоснование технологии замены традиционных щеток подметально-уборочных машин на современные беспроставочные; определение и оптимизация параметров ворсоемкости цилиндрической щетки; лабораторное моделирование зависимости массы удаляемого смета от относительного расстояния между ворсинами.

Методы исследования: расчетно-аналитические методы адаптации математических зависимостей показателей эффективности процесса подметания на стадии эксплуатации отремонтированной машины с заменой щеток и оптимизация показателей производительности машины за счет увеличения объема призмы смёта.

Новизна работы. Расчетным методом выполнено обоснование изменения конструкции цилиндрической щетки при замене изношенных элементов цилиндрической щетки на беспроставочные. Представлены результаты лабораторного исследования влияния относительного расстояния между ворсинами на величину объема призмы смёта.

Результаты исследования. Проведен анализ технологических методов, используемых для ремонта навесного рабочего оборудования дорожных машин. Показано, что наиболее перспективным для ремонта с увеличением и оптимизацией щеточного оборудования является набор щеточных дисков без проставок, изготовленных из полипропиленового ворса и основания. Разработан технологический процесс в виде маршрутной карты по ремонту цилиндрической щетки и щеточных дисков рабочего оборудования подметально-уборочной машины.

Выводы: расчетами обоснована эффективность технологии ремонта рабочего оборудования ПУМ с заменой традиционной кассетной щетки на беспроставочную типа «Билайн». Повышение эффективности процесса подметания обеспечивается оптимизацией показателей ворсоемкости цилиндрической щетки, уменьшением затрат на деформацию такого ворса и снижению потерь на трение ворса об очищаемую поверхность. Экспериментально установлено влияние относительного расстояния между ворсинами на величину массы образующейся перед условно жесткой ворсиной массы песчаного конуса смёта.

Ключевые слова: технология, ремонт, оборудование, машина, расчет, ворсоемкость, объем, призма волочения.

Ссылка для цитирования:

Штефан Ю. В. Обоснование замены и разработка технологии ремонта цилиндрических щеток подметально-уборочных машин на стадии их эксплуатации / Ю. В. Штефан, С. В. Барашкова // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 6. – С. 63-74. doi: 10.30987/2782-5957-2023-6-63-74.

Original article

Open Access Article

JUSTIFICATION OF REPLACEMENT AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY TO REPAIR CYLINDRICAL BRUSHES OF STREET SWEEPERS AT THE STAGE OF THEIR OPERATION

Yury Vitalyevich Shtefan^{1✉}, Svetlana Valeryevna Barashkova²

^{1,2} Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

¹ shtefan_y_v@mail.ru, Author-ID: 483876;

²sveta-confetta@mail.ru

Abstract

The study objective is to develop and justify the technology to repair cylindrical brushes with the replacement of traditional cassette prefabricated space plates with non-space ones and to assess the influence of the shape of pile cross-section on the effectiveness of forming the drawing prism in front of the pile. The task to which the paper is devoted is the computational justification of the technology to replace traditional sweeper brushes with modern non-space ones; determination and optimization of the parameters of the cylindrical brush pile capacity; laboratory modeling of the dependence of the removed swept stuff mass on the relative distance between piles.

Research methods: computational and analytical methods for adapting mathematical dependencies of the sweeping efficiency indicators at the stage of operation of a repaired machine with replacement of brushes and optimization of machine performance indicators by increasing the volume of the swept stuff prism.

The novelty of the work. The calculation method is used to justify the change in the design of a cylindrical brush when replacing worn elements of a cylindrical brush with non-space ones. The results of a laboratory study of the effect of the relative distance be-

tween the piles on the volume of the swept stuff prism are presented.

Study results. Technological methods used for the repair of mounted working equipment of road machines are analyzed. It is shown that the most promising for repair with an increase and optimization of brush equipment is a set of brush discs without spacers made of polypropylene pile and base. A technological process is developed in the form of a route map for the repair of a cylindrical brush and brush discs of the working equipment of a sweeper.

Conclusions: calculations justify the effectiveness of the technology to repair the working equipment of sweepers with the replacement of a traditional cassette brush with a non-space one of Beeline type. Increasing the sweeping efficiency is ensured by optimizing the pile capacity of the cylindrical brush, reducing the cost of deformation of such a pile and reducing the loss of pile friction on the surface to be swept. The effect of the relative distance between the piles on the mass of the sand formed in front of the conditionally rigid pile is experimentally found out.

Keywords: technology, repair, equipment, machine, calculation, pile capacity, volume, drawing prism.

Reference for citing:

Shtefan YuV, Barashkova SV. Justification of replacement and development of technology to repair cylindrical brushes of street sweepers at the stage of their operation. *Transport Engineering*. 2023; 6:63-74. doi: 10.30987/2782-5957-2023-6-63-74.

Введение

С уходом с рынка международных компаний и производителей подметально-уборочных машин (далее по тексту ПУМ) особенно актуальным является замена импортных запасных частей отечественными аналогами. При этом необходимо сохранить, а если получится и повысить технико-эксплуатационные показатели использования таких ПУМ [1]. В разное время вопросами расчетов элементов ПУМ занимались такие ученые, как Филатов А. П., Гуськов А. М., Гусев Л. М., Хоминич В. В., Карабан Г. Л., Ермилов А. Б. и другие. Но до сих пор эти разрозненные математические модели не позволяют обосновывать рекомендации по практическому примене-

нию результатов при работе щетки в разных условиях и комплексно оценить влияние всех параметров на эффективность подметания. Следовательно, разработка технологии производства качественных элементов рабочего оборудования, подверженного наиболее интенсивному изнашиванию, является особенно актуальной [2]. Необходимо выполнить расчетное подтверждение улучшения эффективности процесса подметания для возможности экономического обоснования основных параметров ворсоемкости цилиндрической щетки при одновременном повышении эффективности за счет увеличения объема призмы волочения.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Современный рынок материалов для щеточного оборудования крайне широк в мировых масштабах, но представлен на отечественном рынке весьма ограниченным набором производителей по видимому из-за сложности процесса производства таких щеток и различия требований эксплуатирующих организаций при подметании различных дорожных покрытий: бетонных, асфальтобетонных или полов промышленных предприятий. В итоге производителям приходится иметь разные щетки в виде сменного рабочего оборудования и хранить их на складе в ожидании, когда придет черед ими работать. В качестве объекта исследований выбрана комбинированная дорожная машина МКДУ-3 на базе КАМАЗ 6520 (самосвал), который укомплектовывают центральной цилиндрической щеткой ЦЩ-2500 производителя навесного оборудования ТоМЕЗ.

В данной работе выполнена разработка технологии ремонта рабочего оборудования ПУМ, проведены лабораторные эксперименты по определению массы объема удаляемого плоской ворсиной смета, а полученные при этом эмпирические зависимости учтены в процессе расчета эффективности процесса подметания при оптимизации основных ее параметров. Составлена технологическая последовательность операций по ремонту рабочего оборудования в виде замены кассетных цилиндрических щеток на беспроставочные, а показатели ворсоёмкости цилиндрической щетки позволили выявить эффективность технологии и определить некоторые экономические показатели технологии.

Составлена технологическая последовательность операций по ремонту рабочего оборудования в виде замены кассетных цилиндрических щеток на беспроставочные, а показатели ворсоёмкости цилиндрической щетки позволили выявить эффективность технологии и определить некоторые экономические показатели технологии.

Результаты

Как известно, ворс на цилиндрической щетке может размещаться равномерно, в пучках (щетки собраны из 6-8 метелок). На практике используют 2 принципиальные схемы машин [3]:

1) перемещение смета в бункер с помощью различных транспортирующих устройств;

2) поступление смета в бункер по пневматическому транспортеру.

В расчеты подметально-уборочных, как и в расчеты землеройных машин, обычно включают: определение рациональных параметров процесса взаимодействия рабочих органов с дорожным покрытием и нагрузок на оси машин; выбор базовой машины; расчет систем транспортирования смета, разгрузки и его обеспыливания, тягово-динамические расчеты, определение баланса мощности и производительности, расчеты устойчивости, маневренности, управляемости [4].

При взаимодействии цилиндрической щетки с дорожным покрытием можно выделить 4 характерных положения отдельных прутков ворса. В начале контакта очередного прутка ворса с дорогой (положение I) под действием растягивающей центробежной силы он занимает радиальное положение под углом β_1 к вертикаль-

ной оси. По мере дальнейшего поворота щетки с угловой скоростью ω происходит изгиб прутка и накопление в нем потенциальной энергии упругой деформации (положение II). При этом ворс перемещает своим концом загрязнение вдоль дорожного покрытия. В конечный момент контакта с дорогой прутки находятся в изогнутом состоянии (положение III). Затем резко разгибается, отбрасывает загрязнения и смет со скоростью V под углом $\alpha = 20^\circ$ к горизонту и вновь занимает радиальное положение (положение IV). За время возврата прутка ворса в радиальное положение щетка успевает совершить поворот на некоторый угол. Эти теоретические предположения легли в основу выполненного нами расчета для сравнения формируемого объема призмы волочения перед ворсинами разной формы сечения.

Не смотря на широкое применение щеток различных конструкций (дисковых, лотковых, пучковых, «Билайн», ленточных) и различных диаметров (от 350 до 915 мм), до сих пор обоснование выбора рациональных параметров вызывает большие затруднения для эксплуатирующих организаций. Среди технико-эксплуатационных параметров можно выделить те, которые будут влиять на эффек-

тивность уборки смёта с очищаемой поверхности:

- упругость ворса, его толщина, длина, ворсоемкость щетки;
- площадь пятна контакта щетки с дорожным покрытием;
- скорость движения машины в зависимости от частоты вращения щетки;
- усилие прижатия и др.

Сегодня при выполнении сложных оптимизирующих процессы производства запчастей для автомобилей и дорожных машин используются различные программные продукты, такие как Компас, *SolidWorks* или АРМ *WinMachine* или другие программные продукты. Но здесь следует учитывать не только особенности

напряженно-деформированного состояния конструкции цилиндрической щетки и самой ворсины, но и эффективность размещения ворсин на поверхности щетки.

От эффективности процесса уборки дорожного покрытия в итоге будет зависеть и безопасность дорожного движения [5, 6] через коэффициент сцепления колеса с покрытием дороги, и эффективность эксплуатации самой машины. Следовательно, разработка технологии ремонта наиболее подверженного интенсивному изнашиванию рабочего оборудования подметально-уборочной машины, является важным не только для ремонтного производства, но и транспортной системы страны в целом.

Разработка технологии ремонта цилиндрических щеток

Производитель бескаркасных щеток завод Техполимер предлагает потребителю сотовые беспроставочные щетки типа «Билайн». Как указано в рекламных проспектах, эффективность замены типовых щеток сборных дисковых с проставками на беспроставочные «Билайн» повышает эффек-

тивность процесса подметания в полтора раза в сравнении с традиционными дисками на металлическом кольце. Позиционирование осуществляется двумя шипами, между которыми пропускают упорный выступ щеточного вала (рис. 1).

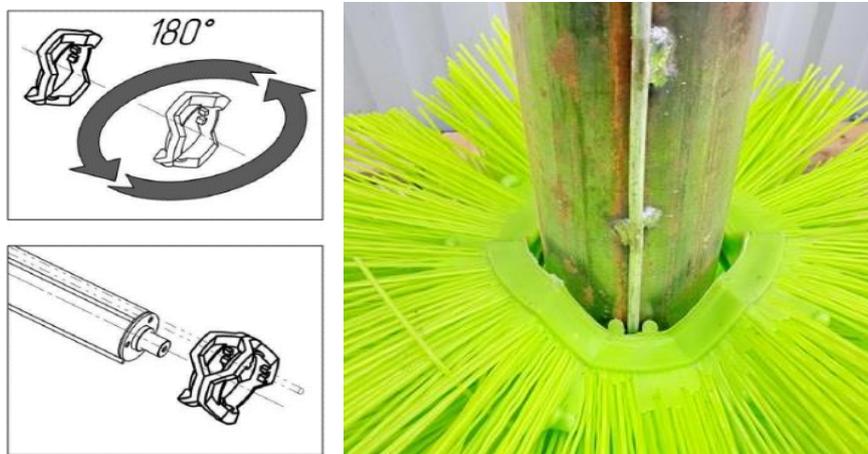


Рис. 1. Позиционирование сборных элементов на щеточном валу цилиндрической щетки
Fig. 1. Positioning of prefabricated elements on the brush shaft of a cylindrical brush

Коммунальная щетка укомплектовывается щеточными дисками «Билайн» имеет такую же сотовую конструкцию, но отличается пустыми блоками сот, что снижает ее прочностные характеристики.

Полностью собранный вал коммунальной щетки, укомплектованный щеточ-

ными дисками типа «Билайн», отличается от щетки с усиленными дисками:

- облегченная конструкция рабочего механизма;
- компактность при транспортировке, что влечет уменьшение расходов на доставку.

Однако, этот тип дисков не рекомендуется использовать в сильные морозы и при тяжелых условиях подметания.

Нами разработан технологический процесс сборки таких цилиндрических ще-

ток для выполнения замены их в процессе ремонта коммунальной подметально-уборочной машины, представленный на рис. 2.

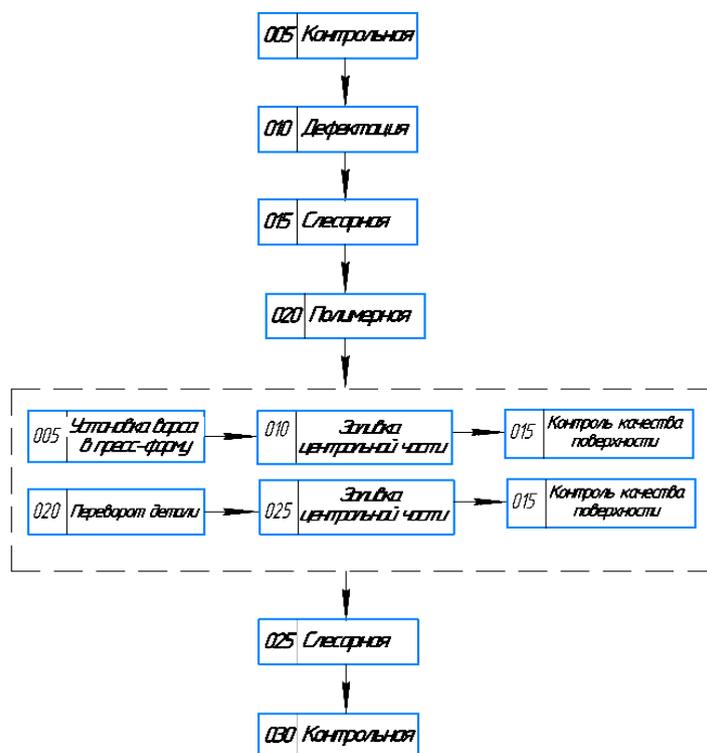


Рис. 2. Технологический процесс ремонта рабочего оборудования ПУМ
 Fig. 2. Technological process of repair of PUM working equipment

При этом учтены результаты выполненных расчетов с оптимизацией процесса подметания с учетом оптимальной ворсоемкости цилиндрической щетки. Как видно на схеме, начало процесса идет с контрольной операции, где необходимо оценить величину остаточной длины свободной длины ворсины и при диаметре барабана в 550 мм остаточная длина ворсины составляет 300 мм. В процессе ремонтных работ особое внимание должно уделяться контрольным операциям, поскольку рабочее оборудование машины работает всегда во влажных условиях [7]. Результаты проектирования технологического процесса ремонта характеризуются такими показателями, как время цикла (сумма машинного времени 7,34 с., технологического времени изготовления беспроставочного диска с ворсинками с использованием технологии литья на станке термопластавтомата

ТПА-*HUSKY XL-300* – 12,02 с. и подготовительно-заключительного времени 2 с.), производительность станка при температуре литья 553 К – 118,2 см³/с, общее количество дисков на щетке 57, общая трудоемкость ремонта составляет 5,2 чел.-ч, в том числе полимерной операции (020) – 2 чел.-ч. Каждый последующий диск на вал насаживается с поворотом на 180° вокруг перпендикуляра у оси подметающего катка, что учтено в слесарной операции (015 и 025) трудоемкостью по 1 чел.-ч. на каждую операцию. Общая себестоимость ремонта одной единицы по результатам расчета технико-экономических показателей новой технологии – 24,6 тыс. руб., в том числе 6900 руб. на расходные материалы и 1440 руб. – зарплата производственным рабочим. Постоянные расходы при этом заложены в расчет 5131,8 руб. в ценах 2022 года.

Определение эффективности расстановки ворсин цилиндрической щетки путем определения объема призмы волочения

Показателем эффективности подметальной щетки является её производительность, которую оценивают либо площадью

$$\Pi = L v_{щ} \sin \gamma = 2,5 \cdot 30 \sin 30 = 37,5, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (1)$$

либо массой загрязнения (смёта) Π (кг/с), удаляемого с очищаемой поверхности в единицу времени:

$$\Pi = L v_{щ} \delta_{см} \sin \gamma = 2,5 \cdot 30 \cdot 4 \sin 30 = 150, \text{ г/с}, \quad (2)$$

где L – длина щетки, м; $v_{щ}$ – поступательная скорость оси барабана, м/с; $\gamma = 30^\circ$ – угол между продольной осью машины и осью вращения барабана щетки; $\delta_{см}$ – плотность распределения смёта на покры-

$$V_{щет} = V_B i_{вор} = 5,70012 \cdot 10^{-9} \cdot 8820 = 0,000008, \text{ м}^3 \quad (3)$$

где V_B – объём смёта, эвакуируемый в среднем одной ворсиной за один оборот щетки;

$$i_B = \frac{2L\pi K_{рв}}{d_B \beta K_K} = \frac{2 \cdot 2,5\pi 2,25}{0,0023 \cdot 0,995 \cdot 1,75} = 8820$$

Для угла сектора β справедливо выражение [9]:

$$\beta = 2,6 \arccos \left(1 - \frac{\Delta l}{r_{щ}} \right) = 2,6 \arccos \left(1 - \frac{0,02}{0,275} \right) = 57,2 \quad (4)$$

где $r_{щ}$ – радиус щетки по концам недеформированных ворсин, м; Δl – деформация ворса, зависящая от его жёсткости, состояния дорожного покрытия и степени его загрязнения ($\Delta l = 0,015 \dots 0,025$ м).

$$\Pi_{щет} = V_B i_{вор} n_{щет} = 5,70012 \cdot 10^{-9} \cdot 8820 \cdot 11,2 = 0,0000563, \quad (6)$$

где $n_{щет} = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{70}{2 \cdot \pi} = 11,2 \text{ с}^{-1}$ – частота вращения щетки.

Для максимальной производительности щетки справедливы выражения для щетки с равномерным расположением ворсин по поверхности барабана, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$\Pi_{щет} = \frac{K_{инт} V_B L \pi n_{щет}}{d_B \arccos \left(r_{щ} - \frac{\Delta l}{r_{щ}} \right)} = \frac{0,34 \cdot 5,70012 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \pi 11,2}{0,0023 \arccos \left(0,44 - \frac{0,02}{0,44} \right)} = 0,0009, \quad (8)$$

где V_B – объём смёта перед каждой ворсиной по формуле 10, $r_{щ}$ – радиус щетки (половина диаметра барабана), м; L – длина щетки (2,5 м); Δl , $r_{щ}$ – те же, что и в формуле 4.

Толщина слоя загрязнения определена условно исходя из допустимого каче-

$$V_B = V_{ж} + V_C + V_F = (3,8 + 1,9 + 0,00012)10^{-9} = 5,70012 \cdot 10^{-9}, \quad (10)$$

где $V_{ж}$ – объём призмы смёта, образующийся перед жёсткой ворсиной; V_C – объём призмы смёта, образующийся дополни-

покрытия Π , ($\text{м}^2/\text{с}$), очищаемого в единицу времени [8]:

тии, $\text{кг}/\text{м}^2$, (принята $4 \text{ г}/\text{м}^2$); $\rho_{см} = 1300 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность смёта.

Полный объём смёта $V_{щет}$, убираемого щеткой за один оборот

$i_{вор}$ – количество ворсин, расположенных на цилиндрической поверхности барабана щетки,

Для производительности щетки $\Pi_{щет}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) будет справедливо выражение:

$$\Pi_{щет} = V_{щет} n_{щет} \quad (5)$$

или

$$\Pi_{щет} = \frac{0,77 V_B L \pi K_{рв} n_{щет}}{d_B K_K \arccos \left(r_{щ} - \frac{\Delta l}{r_{щ}} \right)} \quad (7)$$

Объединив все числовые компоненты двух последних уравнений одним коэффициентом $K_{инт} = \frac{0,77 \cdot K_{рв}}{K_K} = \frac{0,77 \cdot 2}{4,5} = 0,34$,

можно записать, что

ства уборки дорожного покрытия и плотности условного смёта – песка:

$$h = \frac{\delta_{см}}{\rho} = \frac{0,004}{1300} = 0,000003. \quad (9)$$

Общий объём призмы смёта V_B формулируется следующим образом:

призму смёта из-за формы поперечного сечения ворсины.

Принимая в качестве допущения общепринятую схему образования призмы

$$V_{\text{ж}} = \frac{r_{\text{осн}} \tan \varphi_{\text{отк}}}{3} \left[\frac{r_{\text{осн}}^2}{2} \left(\frac{\pi}{90^\circ} \sin^{-1} \frac{d}{2r_{\text{осн}}} - \frac{d}{2r_{\text{осн}}} \right) \sqrt{r_{\text{осн}}^2 - \frac{d^2}{4}} \right] =$$

$$= \frac{0,0025 \cdot \tan 35}{3} \left[\frac{0,0025^2}{2} \left(\frac{\pi}{90^\circ} \sin^{-1} \frac{0,0023}{2 \cdot 0,0025} - \frac{0,0023}{2 \cdot 0,0025} \right) \sqrt{0,0025^2 - \frac{0,0023^2}{4}} \right] = 3,8 \cdot 10^{-9}, \quad (11)$$

где $r_{\text{осн}}$ – радиус основания полуконуса; $\varphi_{\text{отк}} = 35^\circ$ – угол естественного откоса смёта; d – диаметр ворсины, м; h – толщина слоя загрязнения;

волочения перед двигающейся вертикальной плоской ворсиной, можно записать:

L – путь ворсины в смёте; $k_{\text{рых}} = 0,75$ Па – коэффициент разрыхления смёта.

Радиус основания полуконуса нашли по формуле:

$$r_{\text{осн}} = \sqrt[3]{\frac{6 d h L K_{\text{рых}}}{\pi \tan \varphi_{\text{отк}}}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,0023 \cdot 0,000003 \cdot 3 \cdot 0,75}{\pi \tan 35}} = 0,0025. \quad (12)$$

Длина пути, преодолеваемого концом ворсины в смёте

$$L = 2 \left(r_{\text{б}} + \frac{v}{\omega} \right) \sin^{-1} \frac{\sqrt{r_{\text{б}}(r_{\text{б}} - h)}}{r_{\text{б}}} =$$

$$= 2 \left(0,44 + \frac{6,9}{70,57} \right) \sin^{-1} \frac{\sqrt{0,44(0,44 - 0,000003)}}{0,44} = 1,28, \quad (13)$$

где v – переносная скорость оси вращения барабана; $r_{\text{б}}$ – радиус траектории конца вращающейся ворсины.

В случае для основания конуса смёта справедливо соотношение:

$$F_{\text{осн}} = F \pm \Delta \quad (14)$$

Форма неплюской лобовой поверхности ворсины представляет собой дугу, т.е. часть концентрической окружности. Для площади сегмента круга, ограниченного этой дугой и хордой, в первом приближении можно принять

$$\Delta F = \frac{1}{15} \left(r_{\text{д}} - \sqrt{r_{\text{д}}^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \left[6b + 8 \sqrt{\frac{b^2}{4} + \left(r_{\text{д}} - \sqrt{r_{\text{д}}^2 - \frac{b^2}{4}} \right)} \right] =$$

$$= \frac{1}{15} \left(1,2 - \sqrt{1,2^2 - \frac{0,0023^2}{4}} \right) \left[6 \cdot 0,0023 + 8 \sqrt{\frac{0,0023^2}{4} + \left(1,2 - \sqrt{1,2^2 - \frac{0,0023^2}{4}} \right)} \right] =$$

$$= 1,73 \cdot 10^{-9}, \quad (15)$$

где $r_{\text{д}}$ – радиус кривизны дуги (принята 1,2 м); b – ширина ворсины или пучка ворсин по фронту.

Высота призмы волочения:

$$h_{\text{приз}} = 2\sqrt{bh \tan \varphi K_{\text{рых}}} = 2\sqrt{0,0023 \cdot 0,000003 \tan 0,38 \cdot 0,75} = 0,00021, \quad (16)$$

где $\varphi = \beta_c = \frac{57,2}{2,6} = 22^\circ = \frac{\pi 22}{180} = 0,38$,

Тогда объем конуса будет определяться в м³:

$$V_F = \frac{1}{3} \Delta F h_{\text{приз}} = \frac{1}{3} \cdot 1,73 \cdot 10^{-9} \cdot 0,00021 = 0,00012 \cdot 10^{-9} \quad (17)$$

В результате лабораторных экспериментов было получено кубическое уравнение относительно t/d , по которому нашли

относительный объем смёта, принимая $K_{\text{см}} = 0,37$.

$$K_{\text{см}} = 0,0264 \left(\frac{t}{d}\right)^3 - 0,1872 \left(\frac{t}{d}\right)^2 + 0,0371 \frac{t}{d} + 2,2071 \quad (18)$$

где t – шаг расстановки ворсин; d – диаметр ворсины.

По результатам расчета относительное увеличение объема призмы волочения $V_{\text{убр}} / V_{\text{исх}}$, вызванное влиянием соседних

$$V_c = \left(\frac{V_{\text{убр}}}{V_{\text{исх}}}\right) (V_F + V_{\text{ж}}) K_{\text{см}} = 1,34(3,8 + 0,00012)10^{-9} \cdot 0,37 = 1,9 \cdot 10^{-9}. \quad (19)$$

Таким образом, мы выявили закономерности: при увеличении количества размещаемых на поверхности цилиндрической щетки ворсин возрастает производительность процесса подметания. Эффек-

ворсин, для отношения шага ворсин к диаметру $t/d = 1,26$ получен на уровне 1,34.

Объем призмы смёта в результате действия соседних ворсин определили по формуле:

тивность замены традиционного круглого сечения ворсины на плоскую позволило подтвердить возможное увеличение объема призмы волочения, формируемой перед каждой ворсиной, в 1,5...1,7 раз.

Обсуждение результатов

Проведенные в работе исследования влияния характерного размера ворсины на величину объема призмы волочения на специально сконструированном лабораторном стенде на примере песка. Эксперимент по выявлению количественных характеристик влияния расстояния между ворсинами, расположенными на одной цилиндрической образующей (поперечного шага расстановки), на эффективность про-

цесса подметания состоял в замере суммарной массы стабильной призмы волочения, образующейся перед плоскими и жёсткими (на данном этапе) ворсинами, движущимися в массе смёта. При этом установлена зависимость относительного расстояния между ворсинами от относительного увеличения объема призмы волочения, представленная на рис. 3.

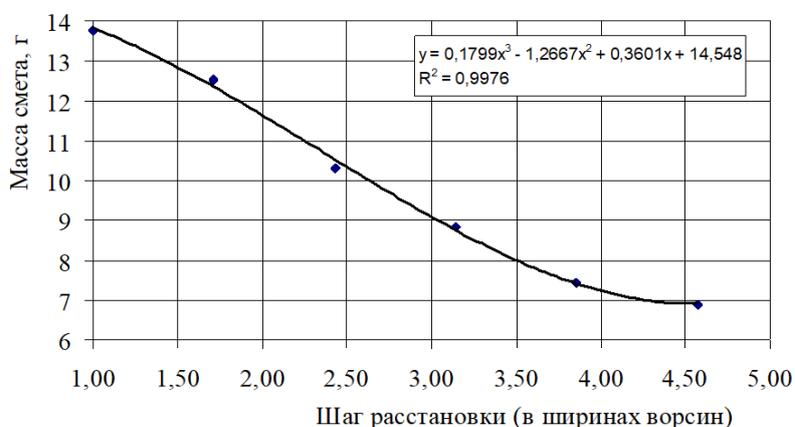


Рис. 3. Зависимость относительной массы удаляемого смёта от относительного расстояния t/d между ворсинами

Fig. 3. The dependence of the relative mass of the removed estimate on the relative distance t/d between the villi

Следует отметить, что на эффективность процесса подметания комбинированной дорожной машиной, как и другими видами ПУМ, влияет именно показатели цилиндрической щетки, в то время как задача лотковых щеток – подавать смет на цилиндрическую, которая в свою очередь и будет обеспечивать чистоту очищаемой поверхности. Здесь особую важность обр-

тает способ заброса готового смёта в бункер: вакуумный, механический; материал, из которого изготовлен сам ворс: обычно это полипропилен марки ВА-204Е – морозостойкий материал при экструзивной технологии литья; конструкция самой щетки: кассетная, проставочная, беспроставочная, с металлическим или пластмассовым несущим каркасом и др. Преимущества бес-

проставочных конструкций щеток перед традиционными кассетными – возможность демонтажа в тяжелых зимних условиях, повышенный ресурс и качество уборки, упрощенные технологии рециклинга при утилизации изношенных щеток, а недостаток – весьма громоздкие при транспортировке и хранении, что может отразиться на себестоимости ремонта при необходимости транспортировки их на большие расстояния. Выполненные нами расчеты, автоматизированные в программном комплексе *MathCAD*, позволили не только определить эффективность процесса подметания при равномерном размещении ворсин по поверхности щетки, в сравнении этих показателей при закреплении их в пучках традиционных кассетных конструкций, но и сравнить с альтернативным способом изготовления бескаркасных щеток типа «Билайн».

При расстоянии между ворсинами или пучками, большем 4,6, объём смёта, удаляемый ворсиной, перестаёт зависеть от расстояния до соседних ворсин (см. рис. 3), поэтому приведенная зависимость пе-

Выводы

1. Полученная в лабораторных опытах эмпирическая зависимость была преобразована в кубическое уравнение для удобства дальнейших расчетов.

2. По результатам выполненных расчетов установлены оптимальные рабочие скорости машины, ворсоёмкость и расстояние до очищаемой поверхности. При этом получили, что при увеличении рабочей скорости машины выше 35 км/ч сильно увеличивать приходится диаметр щётки и частоту ее вращения. При уменьшении радиуса барабана, уменьшается угол сектора барабана, в котором закреплённые ворсины одновременно касаются очищаемой поверхности

3. Количество ворсин при размещении их равномерно существенно отличается от размещения ворсин в пучках, что влияет на показатель ворсоёмкости. Ворс, собранный в пучки, увеличивает аэродинамическое сопротивление вращения щетки, что требует увеличения затрат мощности на привод.

рестает работать. Полученную зависимость преобразовали математически в кубическое уравнение (18).

Таким образом, преимущества замены беспроставочными конструкциями цилиндрической щетки традиционно применяющихся в процессе их ремонта кассетных (наборных) щеток покрывают недостатки не только возможностью более полной утилизации, но и повышением эффективности процесса очистки покрытий такими щетками. Как показали наши расчеты, увеличение объема призмы волочения перед каждой ворсиной происходит за счет влияния соседних ворсин и повышения жесткости каждой ворсины, благодаря ее специфичной форме, отличающейся от традиционной – круглого сечения. Кроме того, уменьшение потерь на трение достигается также благодаря уменьшению площади контакта ворсины с покрытием. Как известно, возможность вторичного использования перерабатываемых в процессе ремонта деталей машин положительно сказывается на себестоимости ремонта и изготовления запасных частей [10].

4. Максимальные показатели производительности центральной цилиндрической щетки, полученные в результате сравнения разных конструкций, это 10,07 м²/с при объеме призмы смёта $1,38 \cdot 10^{-8}$ м³. Если ворсины размещены в пучках по семь ворсин в каждом, то производительность снижается, а объем призмы волочения увеличивается до $18 \cdot 10^{-8}$ м³.

5. Порядок цифр, полученных для влияния формы поперечного сечения ворсины на общий объем призмы волочения, это объем конуса смёта 10^{-13} м³, следовательно, ждать значительного увеличения объема призмы волочения при замене традиционных кассетных щеток на бескаркасные типа «Билайн» здесь не приходится.

6. Повышение эффективности процесса подметания происходит за счет оптимизации размещения ворсин по поверхности щетки; благодаря сокращению затрат мощности на деформацию ворса; увеличения равномерности их расположения,

снижения площади контакта с поверхностью очищаемой поверхности, а значит сокращению потерь на трение и сокращению аэродинамических потерь при увеличении частоты вращения щетки.

7. Наибольшее влияние на величину коэффициентов эффективности расстановки ворсин по длине щетки $K_1 = 0,852$ и по окружности в поперечном сечении щетки $K_2 = 0,914$ оказывает величина прижатия щетки в виде расстояния от оси барабана

до очищаемой поверхности и свободная длина ворсины – переменная величина из-за интенсивного износа, вызванного трением.

8. Разработанная технология замены проставочных кассетных цилиндрических щеток на беспроставочные позволяет реализовать ее на стадии плановой замены изношенных щеток ПУМ на примере МКДУ-3. Себестоимость ремонта составила 24,6 тыс. руб./шт.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Асанов А.А., Ереско С.П., Жубрин В.Г., Трофимова С.А. Технологии и оборудование для содержания зимних дорог и аэродромов в Арктике. *Арктика 2019: традиции, инновации, экология, безопасность, проблемы коренных малочисленных народов* : материалы Междунар. научно-практической конф. Красноярск, 17–18 мая 2019 года. Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск, 2019. С. 42–45.
2. Диски щеточные беспроставочные, дисковые щетки Билайн, Техполимер Групп (Республика Беларусь): официальный сайт. URL: <http://www.techpolymer.com/index.php/instruktsiya-po-sborke>
3. Комбинированные дорожные машины, ОАО КОРМЗ: официальный сайт. 2023. <http://kormz.ru/products.html>.
4. Межосевая подметальная щетка ОМП-253, Меркатор-групп: официальный сайт. <https://merkatorgroup.ru/upload/iblock/e11/omp-253.pdf>.
5. Патент № 2683542 Российская Федерация, МПК E01H 1/05. Подметальный агрегат и щеточное устройство коммунальной дорожной машины: № 2018118075 : заявл. 16.05.2018: опубл.:

- 11.02.2021, бюл. №5 / Халецкий А.Б., Дорохин С.А., Панферов В.П.; заявитель и патентообладатель : Акционерное общество "Коминвест-АКМТ". – 14 с.
6. Протасов Н. Обзор КДМ отечественного производства. – Текст : электронный. Основные средства. 2019. №12. Электронный журнал. URL: <https://os1.ru/article/13744-obzor-kdm-otechestvennogo-proizvodstva-vsesezonnye-mashiny> (дата обращения: 19.03.2023). Дата публикации: 20 декабря 2019.
7. Chohan J.S., Kumar R., Singh S. Chapter 11 - Insights of extrusion-based polymer additive manufacturing technology. In *Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series, Innovative Processes and Materials in Additive Manufacturing*, 2023. P. 259-269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-86011-6.00005-2>.
8. Vieira A.L.N., Campilho R.D.S.G., Silva F.J.G., Faria N.M.S., Ferreira L.P. Design of a thermoplastic micro over injection machine for the automotive component industry. *Procedia Manufacturing*. 2021.Vol. 55. P. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.009>.

REFERENCES

1. Asanov AA, Yeresko SP, Zhubrin VG, Trofimova SA. Technologies and equipment for maintenance of winter roads and airfields in the Arctic. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, May 17-18, 2019: Arctic 2019: Traditions, Innovations, Ecology, Security, Problems of Aboriginal Peoples. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2019.
2. Non-adjustable brush discs by Beeline, Technopolymer Group [Internet] [Republic of Belarus] Available from: <http://www.techpolymer.com/index.php/instruktsiya-po-sborke>
3. Combined road vehicles, KORMZ [Internet] [place unknown] Available from: <http://kormz.ru/products.html>.

4. Axial sweeping brush OMP-253, Mercator-group [Internet] [place unknown] Available from: <https://merkatorgroup.ru/upload/iblock/e11/omp-253.pdf>.
5. Khaletsky AB, Dorokhin SA, Panferov VP. Patent No. 2683542 Russian Federation, IPC E01H 1/05. Sweeping unit and brush device of the municipal road vehicle: No. 2018118075. 2021 Feb 12.
6. Protasov N. Review of domestic multipurpose road maintenance vehicles. *Osnovnie Sredstva* [Internet]. 2019;2. Available from: <https://os1.ru/article/13744-obzor-kdm-otechestvennogo-proizvodstva-vsesezonnye-mashiny> (date of application: 03/19/2023). Publication date: December 20, 2019.
7. Chohan JS, Kumar R, Singh S. Chapter 11 - Insights of extrusion-based polymer additive manu-

facturing technology. In Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series, Innovative Processes and Materials in Additive Manufacturing [Internet]; 2023. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-86011-6.00005-2>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков, Е. Д. Современные тенденции развития подметально-уборочных машин / Е. Д. Щербаков, Д. С. Перетрухин, А. А. Феденев // Высокие технологии в строительном комплексе, № 2, 2019. – С. 129–132.
2. Штепа, Д. С. Методика совершенствования подметально-уборочной машины" ПУМА" на базе ОАО" КОРМЗ" / Д. С. Штепа // Россия молодая. Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово, 16–19 апреля 2019 года. – Кемерово, 2019. – С. 40506–40506.
3. Немальцин, А.С. Анализ конструкции щеточного оборудования подметально-уборочной техники / А. С. Немальцин, А. В. Алехин // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2 – № 2. – С. 221.
4. Khmara, L. Basic indicators system for technical and economic assessment of efficiency of earthmoving machines with innovative equipment / L. Khmara // Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. – 2020. – Vol. 2, No. 88, pp. 5–23. – DOI 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.5.
5. Булатов, С. В. Анализ факторов, влияющих на вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий // Транспортное машиностроение. – 2022. № 6 – С. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2022-6-42-47>.
6. Малиновский, М. П. О важности учёта увода шин и крена несущей системы при расчёте критической скорости по опрокидыванию грузового

8. Vieira ALN, Campilho RDSG, Silva FJG, Faria NMS, Ferreira LP. Design of a thermoplastic micro over injection machine for the automotive component industry. Procedia Manufacturing. 2021;55:56–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.009>.

го автомобиля // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура, № 4 (34), 2022. URL: https://www.adimadi.ru/madi/article/download/1167/pdf_681.

7. Мухин, В. В. Ремонт деталей дорожно-строительных машин, работающих во влажной среде / В. В. Мухин // Ремонт. Восстановление. Модернизация., № 2, 2021. С. 9–12. DOI: 10.31044/1684-2561-2021-0-2-9-12.
8. Баловнев, В. И. Машины для содержания городских и автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 1-2 / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, А. Г. Савельев. – Москва : ТЕХПОЛИГРАФЦЕНТР [и др.], 2013. Кн.1 : Содержание дорог в летний период. – 333 с. – ISBN 978-5-94385-093-6.
9. Погонина, А. М. Уплотнение мусора в современных технологиях обслуживания ВС / А. М. Погонина, С. А. Павлов, А. С. Баранов // Авто-тракторостроение и автомобильный транспорт : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Минск, 24 мая – 10 2022 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 78–82.
10. Яконцева, О. В. Использование нетканного материала в составе асфальтобетона / О. В. Яконцева, Г. К. Пугин // Знания молодых: наука, практика и инновации : сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых, Киров, 12 марта 2021 года. – Киров: Вятский ГАТУ, 2021. – С. 157–159.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Shcherbakov ED, Peretruxhin DS, Fedenev AA. Modern tendency in the development of sweeper-cleaning machines. High Technologies in Construction Complex. 2019;2:129-132.
2. Shtepa DS. Methods for improving PUMA sweeper on the basis of KORMZ. Collection of Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, April 16-19, 2019: Young Russia. Kemerovo; 2019.
3. Nermalcin AS, Alekhin AV. Analysis of the design of brush equipment for sweeping and cleaning equipment. Science and Education. 2019;2(2):221.
4. Khmara L. Basic indicators system for technical and economic assessment of efficiency of earthmoving machines with innovative equipment. Bulletin of Kharkov National Automobile and High-

way University. 2020;2(88):5–23. DOI 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.5.

5. Bulatov SV. Analysis of factors affecting the likelihood of road accidents. Transport Engineering. 2022;6:42-47. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2022-6-42-47>.
6. Malinovsky MP. On the importance of accounting the tire slip and the carrier system roll when calculation of the rollover critical speed for a vehicle. Avtomobil?. Doroga. Infrastruktura. 2022;4(34). URL: https://www.adimadi.ru/madi/article/download/1167/pdf_681.
7. Mukhin VV. Repair of parts of road-building machines operating in a humid environment. Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. 2021;2:9-12. DOI: 10.31044/1684-2561-2021-0-2-9-12.

8. Balovnev VI, Danilov RG, Saveliev AG. Machines for the maintenance of urban and automobile roads. Moscow: TECHPOLIGRAFTSENTR; 2013.
9. Pogonina AM, Pavlov SA, Baranov AS. Compaction of garbage in modern technologies of aircraft maintenance. Collection of Scientific Papers of the International Scientific and Practical Conference, May 24–10, 2022: Automobile Production and

Transport. Minsk: Belarusian National Technical University; 2022.

10. Yakontseva OV, Pugin GK. The use of non-woven material as a part of asphalt concrete. Collection of Scientific Papers of the XX International Scientific and Practical Conference of Graduate Students and Young Scientists, March 12, 2021: Knowledge of the Young: Science, Practice and Innovation. Kirov: Vyatka GATU; 2021.

Информация об авторах:

Штефан Юрий Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» учреждения образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», 125319, Ленинградский проспект 64, г. Москва, Россия, тел. 8-499-155-03-86, E-mail: shtephan_y_v@mail.ru, тел. 8-903-123-13-27, международные идентификационные номера автора Shtefan, Y. V. Research- ID-Web of Science T-2184-2017, Author-ID-РИНЦ 483876, SPIN-код автора:

7856-2194, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7882-4873>.

Барашкова Светлана Валерьевна – аспирант кафедры «Дорожно-строительные машины» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, факультет «Дорожные и технологические машины (ФДМ)»; аспирант учреждения образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», 125319, Ленинградский проспект 64, г. Москва, Россия, тел. 8-499-155-07-97, E-mail: sveta-konfetta@mail.ru.

Shtefan Yury Vitalyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Repair of Cars and Road Machines at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University; E-mail: shtephan_y_v@mail.ru; phone: 8-903-123-13-27; Research- ID-Web of Science T-2184-2017, Author-ID-RSCI 483876, SPIN-код

автора: 7856-2194, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7882-4873>.

Barashkova Svetlana Valeryevna – Post-graduate of the Department of Road-building Machines at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University; phone: 8-499-155-07-97, E-mail: sveta-konfetta@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 27.03.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 26.05.2023. Рецензент – Агуреев И.Е., доктор технических наук, профессор Тульского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 27.03.2023; approved after review on 15.05.2023; accepted for publication on 26.05.2023. The reviewer is Agureev I.E., Doctor of Technical Sciences, Professor of Tula State University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.