

## УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЁТОЧНОГО ВОРСА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ

С.Д. Игнатов, С.И. Цехош\*  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия  
\* tsehosh.lyubov@yandex.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Статья посвящена актуальной проблеме увеличения эксплуатационного ресурса щеточного рабочего органа (ЩРО) и повышения качества уборки. В работе рассмотрены факторы, влияющие на качество уборки дорожного покрытия и ресурс щеточного ворса.

**Методы и материалы.** Представлены результаты исследования процесса взаимодействия ворса ЩРО с очищаемой поверхностью дорожного полотна. Дана математическая модель процесса взаимодействия ходового и рабочего оборудования с опорной поверхностью. Моделирование осуществлялось при помощи программного продукта MATLAB, расширение Simulink. Выявлены факторы, которые способствуют снижению эффективности рабочего процесса коммунальной машины.

**Результаты.** В результате моделирования были получены графики изменения деформации ворса и силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности во времени. При обработке полученных экспериментальных данных были построены графики зависимостей деформации щеточного ворса от силы прижатия ЩРО в сборе и для двух, трех, четырех дисков. Для дальнейшего математического моделирования определены коэффициенты жесткости ворса ЩРО при различных нагрузках. Осуществлена аппроксимация экспериментальной зависимости деформации щеточного ворса от силы прижатия, получено уравнение регрессии.

**Заключение.** В результате выполненной работы определены упругие характеристики ворса ЩРО. В процессе сравнения экспериментальных и теоретических данных, полученных в результате анализа математической модели, установлено, что расхождения между ними менее 10%. Данные результаты позволили подтвердить адекватность математической модели процесса взаимодействия ЩРО с очищаемой поверхностью.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** щеточный рабочий орган, щеточные диски, ворс, сила прижатия, коэффициент жесткости, деформация.

© С.Д. Игнатов, С.И. Цехош



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ELASTIC CHARACTERISTICS OF BRUSH PILE ON THE MUNICIPAL MACHINE WORKING EQUIPMENT

**S.D. Ignatov, S.I. Tsekhosh\*,**

Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia

\* tsekhosh.lyubov@yandex.ru

### ABSTRACT

**Introduction.** The paper describes the actual problem of increasing the operating life of the brush working body (BWB) and improving the cleaning quality. Moreover, the authors discuss the factors affecting the quality of the road surface cleaning and the brush pile resource.

**Materials and methods.** The research presents the results of the interaction process of the BWB pile with the cleaned surface of the roadway. In addition, the authors demonstrate the mathematical model of the interaction process with the basic surface. The simulation is carried out using the MATLAB software and Simulink extension. The authors also identify the factors that contribute the efficiency reduction of the municipal machine working process.

**Results.** As a result of the simulation, the authors obtained the graphs of the pile deformation changing and the BWB pressing force changing. When processing the experimental data the researches also obtained the graphs of the brush pile plotted deformation from the BWB contact force and from 2, 3, 4 disks. For further mathematical modeling the authors determined the stiffness of the BWB pile under various loads. Therefore, the paper presents the approximation of the experimental dependence of the brush pile deformation on the pressing force and shows the regression equation.

**Conclusion.** In conclusion, the authors determined the elastic characteristics of the BWB pile. By the comparing process of the experimental and theoretical data obtained from the mathematical model analysis, the authors found that the difference between them was less than 10%. The obtained results allowed confirming the mathematical model adequacy of the interaction process between the BWB pile and the cleaning surface.

**KEYWORDS:** brush working body (BWB), brush disks, pile, pressing force, stiffness coefficient, deformation.

© S.D. Ignatov, S.I. Tsekhosh



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Во время проведения дорожно-уборочных работ движение коммунальных машин по опорной поверхности происходит под воздействием многочисленных внешних факторов, влияющих на рабочий процесс, например неровности рельефа, степень загрязнения поверхности и т.п. Неровность опорных поверхностей является основным источником неуправляемых колебаний машины, амплитуды и ускорения которых достигают значительных величин. Перечисленные факторы оказывают негативное влияние на рабочий процесс коммунальной машины и могут стать причиной значительных экономических потерь [1,2,3]<sup>1</sup>. Актуальность проблемы обусловлена повышением износа ворса ЩРО из-за неуправляемых перемещений рабочего органа, вызванных воздействиями микрорельефа очищаемой поверхности на ходовое оборудование. Целью данной статьи является определение коэффициентов жесткости ворса ЩРО при различных нагрузках. Эти коэффициенты в дальнейшем будут использованы при подтверждении адекватности математической модели рабочего процесса коммунальной машины.

Задачи исследования:

1. Экспериментально установить значения параметров, характеризующих упругие свойства ворса ЩРО.
2. Получить экспериментальные зависимости деформации щётчного ворса от силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности.
3. Определить упругие характеристики ворса ЩРО.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Одной из наиболее распространенных коммунальных машин в настоящее время является подметально-уборочная, оборудованная ЩРО. Основной задачей этой машины является уборка различных поверхностей (асфальтированных и бетонных дорог, дворовых территорий и др.) от загрязнений различного рода.

Анализ предыдущих исследований показал, что эффективность рабочего процесса подметально-уборочных машин в значительной степени зависит от таких факторов, как состояние ворса ЩРО и величина силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности [4,5,6]. В первом приближении может показаться, что повысить эффективность уборочного процесса можно за счет увеличения силы прижатия. Однако этот способ позволит добиться лишь временного повышения эффективности коммунальной машины вследствие того, что избыточное увеличение силы прижатия приведет к повышенному износу ворса ЩРО и, как следствие, в скором времени к неравномерной очистке поверхности.

Для достижения максимального эффекта от уборки необходимо обеспечить оптимальную силу прижатия ЩРО к очищаемой поверхности, причем с учетом типа ворса и материала, из которого он изготовлен.

Сила прижатия ЩРО к очищаемой поверхности описывается выражением [7]

$$F = 0,17 \cdot E \cdot J \cdot \frac{S^6}{Y_K^8} \cdot i_{щ} \cdot \arccos\left(\frac{Y_K + R_b}{R_b}\right), \quad (1)$$

где  $F$  – сила прижатия;  $E$  – модуль упругости ворса (для стального прутка  $E=2,1 \cdot 10^5$  МПа; для синтетического ворса  $E=7,1 \dots 8 \cdot 10^3$  МПа;  $J$  – момент инерции поперечного сечения прутка относительно оси, перпендикулярной плоскости вращения,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $R_b$  – радиус барабана цилиндрической щетки, на которой крепится ворс;  $i_{щ}$  – общее число ворса в цилиндрической щетке [9].

$$Y_K = S - h, \quad (2)$$

<sup>1</sup> Лепеш Г.В., Иванова Е.С. Расчет характеристик трения в задачах анализа внутрибаллистических процессов. / Вторые Окуневские чтения // Сборник трудов международной научно-практической конференции. С-Петербург: БГТУ. 2001. С. 56–67.

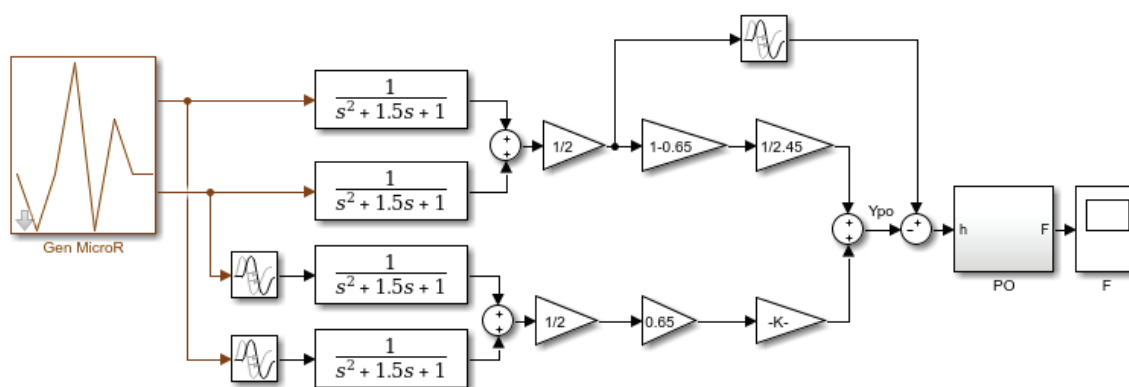


Рисунок 1 – Структурная схема математической модели процесса неуправляемого изменения вертикальной координаты ЩРО

Figure 1 – Structural diagram of the mathematical model of the unmanaged changing process in the BWB vertical coordinate

где  $Y_k$  – расстояние между ободом барабана и поверхностью дороги;  $S$  – свободная длина прутка ворса, м;  $h$  – деформация ворса щетки, м. Уравнение приведено для цилиндрической щетки с синтетическим ворсом.

Взаимодействие микрорельефа с ходовым оборудованием, а также уравнения геометрических связей элементов машины описаны в предшествующих работах [10]. На рисунке 1 представлена структурная схема математической модели процесса неуправляемого изменения вертикальной координаты ЩРО из-за воздействия микрорельефа очищаемой поверхности на ходовое оборудование коммунальной машины [11, 12]<sup>2, 3, 4</sup>.

Особенность рабочего процесса подметально-уборочной машины состоит во взаимодействии ворса ЩРО с очищаемой поверхностью (рисунок 2) [13,14]. Если неровности на очищаемой поверхности отсутствуют, то контакт ворса с ней по всей длине ЩРО постоянный, сила прижатия ЩРО не изменяется, так же как и деформация [15, 16]. В том случае, если под осью ЩРО появляется возвышенность, ворс в

разной степени деформируется, сила прижатия при этом увеличивается, собственно как и износ контактного участка [17,18]. Если же под осью ЩРО появляется выбоина, ворсинки моментально выпрямляются, деформация становится нулевой (без учета остаточной деформации), так же как и сила прижима. Вследствие этого загрязнения в выбоинах остаются неубранными, что снижает эффективность рабочего процесса.

Для составления адекватной математической модели рабочего процесса подметально-уборочной машины необходимо экспериментально установить значения параметров, характеризующих упругие свойства ворса ЩРО.

Объектом эксперимента являлся ЩРО подметально-уборочной машины на базе трактора МТЗ-82.1. Эксперимент был проведен в статике [19]. Перед началом эксперимента были сняты опорные катки с ЩРО трактора МТЗ-82.1. На рисунке 3 представлена экспериментальная площадка.

<sup>2</sup> Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование: учебное пособие для вузов. М.: Архитектура. 2005. 344 С.

<sup>3</sup> Тетерина И.А., Летопольский А.Б. Модель процесса взаимодействия элементов ходового оборудования дорожной уборочно-подметальной машины с неровностями микрорельефа // Наука сегодня: задачи и пути их решения: Международная научно-практическая конференция. Вологда: Маркер, 2016. С.37 – 38.

<sup>4</sup> Тетерина И.А., Летопольский А.Б. Модель взаимодействия ЩРО с обрабатываемой поверхностью // Наука XXI века: открытия, инновации, технологии: Международная научно-практическая заочная конференция. Смоленск: НОВОЛЕНКО, 2016. С. 73–75.

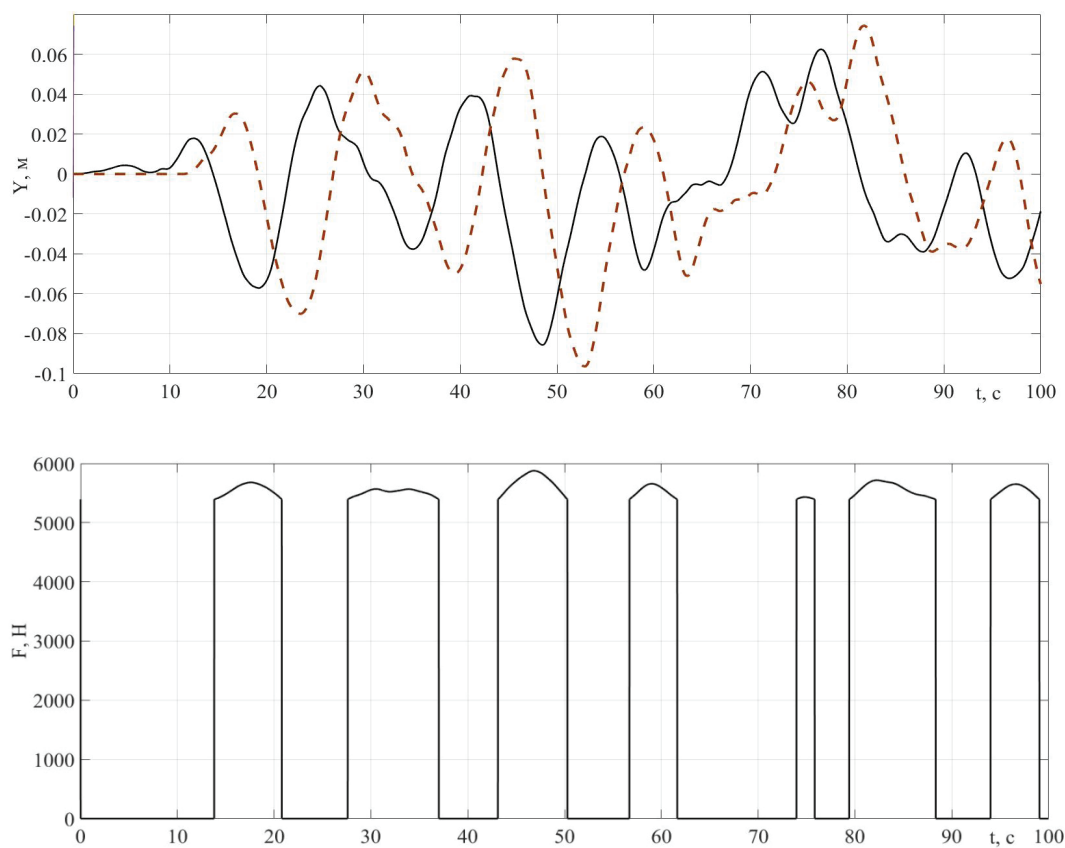


Рисунок 2 – Графики зависимостей вертикальных координат (а) и силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности (б) от времени работы  
1– вертикальная координата ЩРО, 2 – вертикальная координата очищаемой поверхности

Figure 2 – Graphs of dependencies of the vertical coordinates (a) and the BWB pressing force to the cleaning surface (b) from the working period; 1 – BWB vertical coordinate, 2 – cleaning surface vertical coordinate



Рисунок 3 – Экспериментальная площадка  
а – щёточный рабочий орган, пригруженный тарированным грузом;  
б, в – измерение деформации щёточного ворса при помощи индикатора часового типа

Figure 3 – Experimental plant: a – brush working body, loaded with calibrated cargo; b, c – measurements of the BWB deformation using a dial gauge

При проведении эксперимента было использовано следующее оборудование: тарированные грузы, индикатор часового типа. После очередного пригруза ЩРО тарированным грузом определялась вертикальная координата контрольной точки на раме ЩРО, что позволяло судить о величине деформации ворса.

Масса пригруза изменялась в диапазоне от 25 до 225 кг, вследствие чего наблюдалась деформация щёточного ворса от 0,4 до 8,3 мм. Данные представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1  
Результаты эксперимента №1  
TABLE 1  
No. 1 experiment's results

| Количество дисков ЩРО | $m$ , кг | $F$ , Н | $h$ , мм | $\Delta F$ , Н | $\Delta h$ , мм | $C$ , Н/мм |
|-----------------------|----------|---------|----------|----------------|-----------------|------------|
| 46                    | 0        | 0       | 0        | 0              | 0               | 0          |
|                       | 25       | 245,25  | 0,4      | 245,25         | 0,4             | 613,1      |
|                       | 50       | 490,5   | 1        | 245,25         | 0,6             | 408,8      |
|                       | 75       | 735,75  | 1,5      | 245,25         | 0,5             | 490,5      |
|                       | 100      | 981     | 2        | 245,25         | 0,5             | 490,5      |
|                       | 125      | 1226,3  | 2,8      | 245,25         | 0,8             | 306,6      |
|                       | 175      | 1716,8  | 5,8      | 490,5          | 3               | 163,5      |
|                       | 225      | 2207,3  | 8,3      | 490,5          | 3,5             | 140,1      |

Полученные в результате эксперимента данные позволили определить статическую упругую характеристику ЩРО.

В результате обработки полученных экспериментальных данных был построен график зависимости деформации щёточного ворса от силы прижатия (рисунок 4).

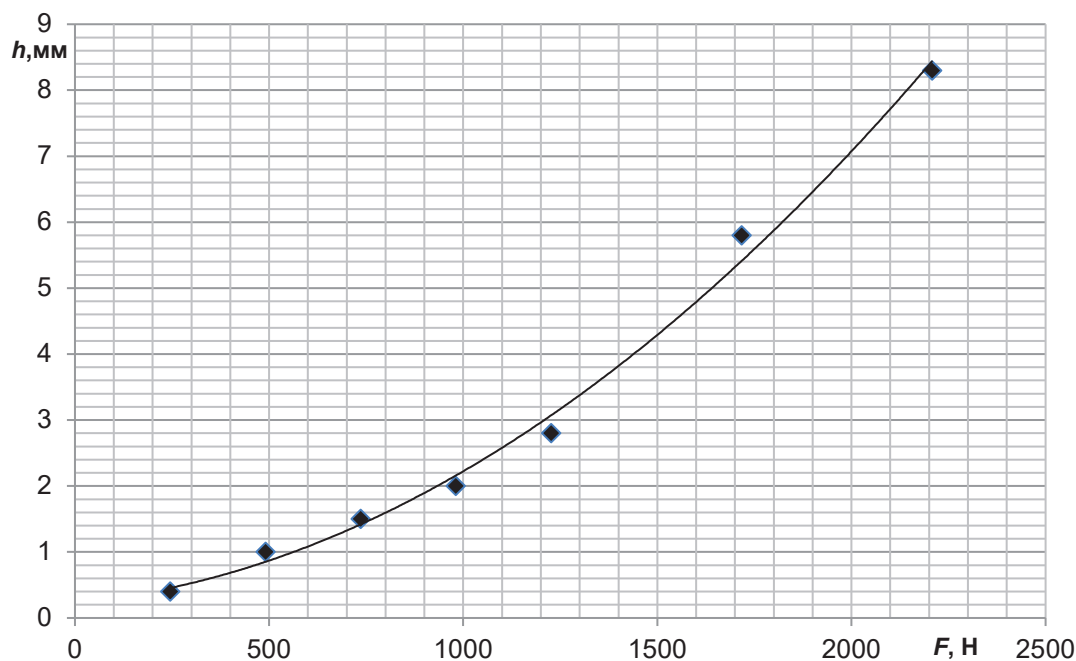


Рисунок 4 – Экспериментальная зависимость  $h = f(F)$  и её аппроксимация

Figure 4 – Experimental  $h = f(F)$  dependence and its approximation



Экспериментальная зависимость деформации щётчного ворса от силы была аппроксимирована следующим уравнением регрессии

$$h = 0,000001 \cdot F^2 + 0,0006 \cdot F + 0,2309 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации при этом  $R^2 = 0,994$ .

В дальнейшем коэффициент жесткости был определен по формуле

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta h}, \quad (4)$$

где  $C$  – коэффициент жесткости дисков щётчного рабочего органа, Н/мм;  $\Delta F$  – приращение силы, Н;  $\Delta h$  – приращение деформации, мм. По данным таблицы 1 был построен график зависимости коэффициента жесткости от деформации ворса ЩРО (рисунок 5).

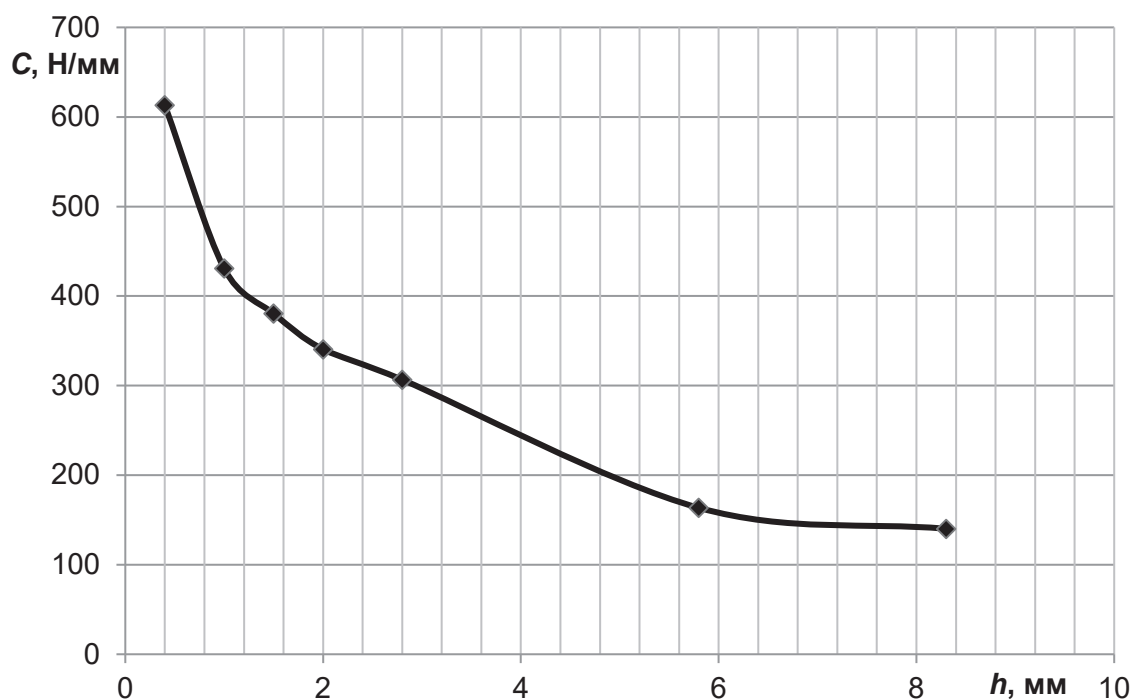


Рисунок 5 – Экспериментальная зависимость  $C=f(h)$

Figure 5 – Experimental  $C = f(h)$  dependence

Так как в разных конструкциях ЩРО используется разное количество ворсовых дисков, было принято решение провести эксперимент с разным количеством дисков.

Пригруз дисков осуществлялся в диапазо-

не от 0 до 20 кг. Полученные в результате эксперимента данные позволили определить статическую упругую характеристику ворсовых дисков. Данные занесены в таблицу 2.

ТАБЛИЦА 2  
Результаты эксперимента №2  
TABLE 2  
No. 2 experiment's results

| Количество ворсовых дисков | $m$ , кг | $F$ , Н | $h$ , мм | $\Delta F$ , Н | $\Delta h$ , мм | $C$ , Н/мм |
|----------------------------|----------|---------|----------|----------------|-----------------|------------|
| 4                          | 0        | 0       | 0        | 0              | 0               | 0          |
|                            | 10       | 98,1    | 1,04     | 98,1           | 1,04            | 94,3       |
|                            | 12,5     | 122,63  | 2,01     | 24,53          | 0,97            | 25,3       |
|                            | 15       | 147,15  | 2,84     | 24,52          | 0,83            | 29,5       |
|                            | 17,5     | 171,68  | 3,44     | 24,53          | 0,6             | 40,9       |
|                            | 20       | 196,2   | 3,75     | 24,52          | 0,31            | 79,1       |
| 3                          | 0        | 0       | 0        | 0              | 0               | 0,0        |
|                            | 10       | 98,1    | 1,66     | 98,1           | 1,66            | 59,1       |
|                            | 12,5     | 122,63  | 3,82     | 24,53          | 2,16            | 11,4       |
|                            | 15       | 147,15  | 5,72     | 24,52          | 1,9             | 12,9       |
|                            | 17,5     | 171,68  | 6,8      | 24,53          | 1,08            | 22,7       |
|                            | 20       | 196,2   | 7,02     | 24,52          | 0,22            | 111,5      |
| 2                          | 0        | 0       | 0        | 0              | 0               | 0,0        |
|                            | 10       | 98,1    | 0,56     | 98,1           | 0,56            | 175,2      |
|                            | 12,5     | 122,63  | 1        | 24,53          | 0,44            | 55,8       |
|                            | 15       | 147,15  | 2        | 24,52          | 1               | 24,5       |
|                            | 17,5     | 171,68  | 4        | 24,53          | 2               | 12,3       |
|                            | 20       | 196,2   | 8,5      | 24,52          | 4,5             | 5,4        |

В результате обработки экспериментальных данных для разного количества дисков были построены графики зависимости деформации щётчного ворса от силы прижатия (рисунок 6).



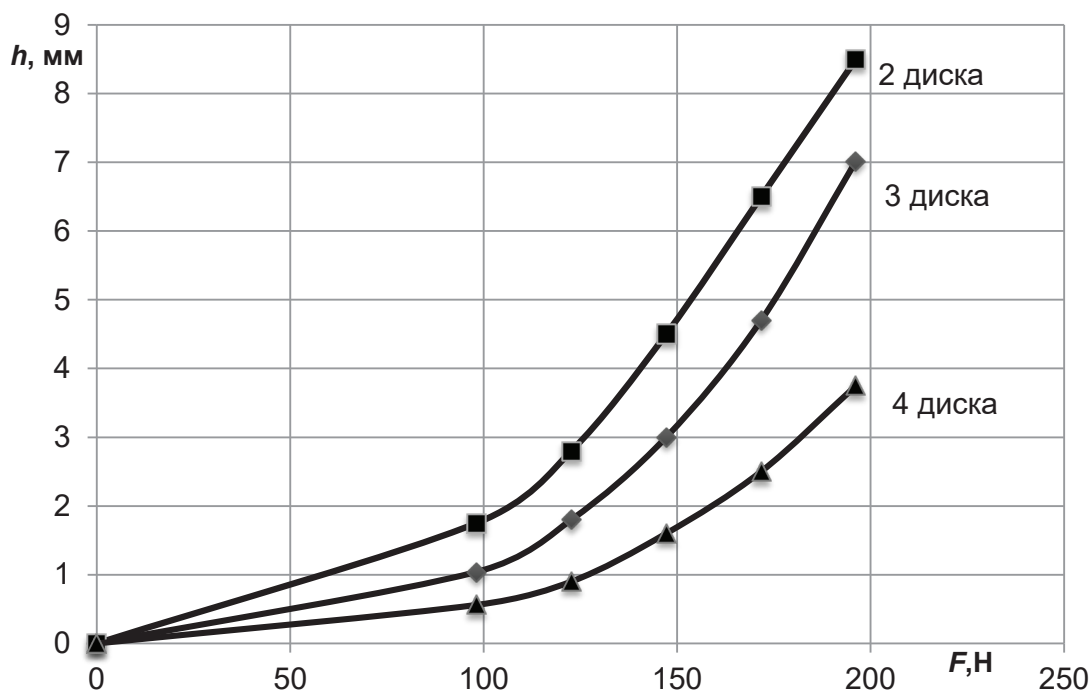


Рисунок 6 – Экспериментальная зависимость  $h=f(F)$

Figure 6 - Experimental  $h = f(F)$  dependence

Кроме того, был построен график зависимости коэффициента жесткости от деформации вorsa щётчных дисков (рисунок 7).

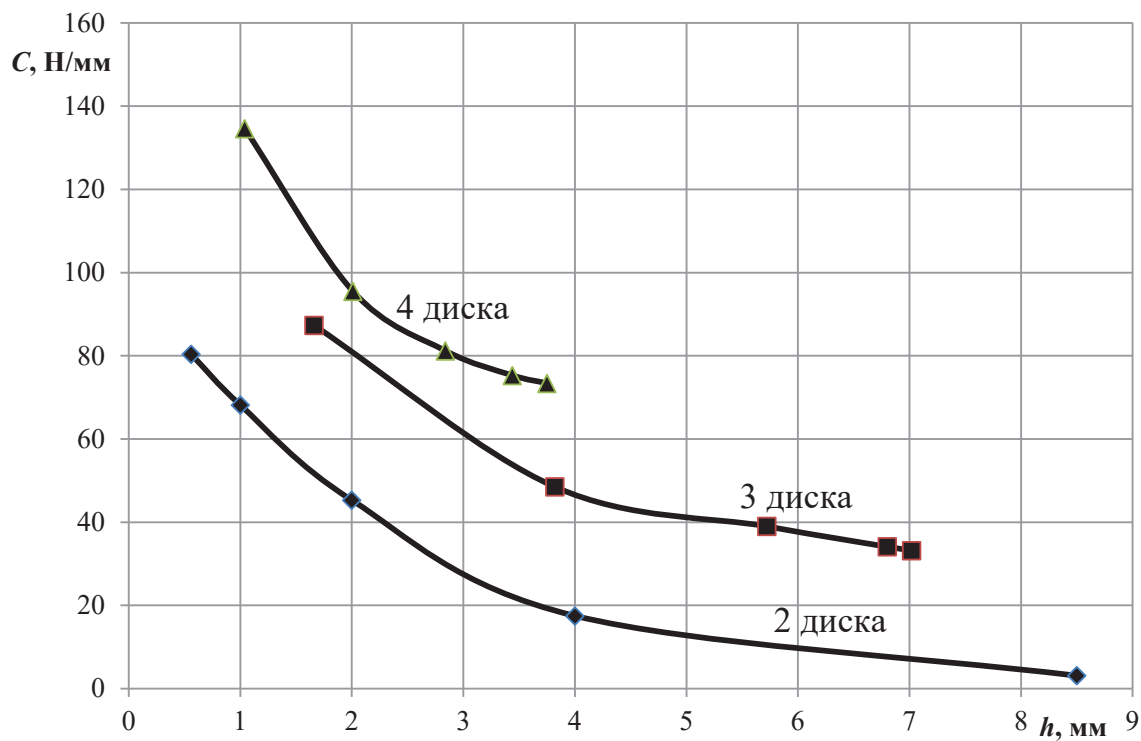


Рисунок 7 – Экспериментальная зависимость  $C=f(h)$

Figure 7 – Experimental  $C = f(h)$  dependence

Новизна заключается в выявленных экспериментальных зависимостях деформации ворса от силы прижатия как ЩРО в сборе, так и для двух, трех и четырех дисков. Были определены коэффициенты жесткости ворса ЩРО при различных нагрузках.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполненной работы экспериментально установлены значения параметров, характеризующих упругие свойства ворса ЩРО. Получены экспериментальные зависимости деформации щёточного ворса от силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности. Определены характеристики ворса ЩРО. Эти данные необходимы для составления математической модели рабочего процесса коммунальной машины и подтверждения ее адекватности.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Лепеш А.Г. Функционирование и ресурс щеток коммунальной уборочной техники // Вестник Российской академии естественных наук. 2011. вып. 15 №4. 128–130 с.
2. Лепеш А.Г. Прогнозирование изнашивания щеток коммунальных машин // Техника-технологические проблемы сервиса. 2010. № 2(12). С. 25–34.
3. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В., Воронцов И.И. Методика экспериментального определения износостойкости щёточного ворса коммунальной уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2011. №2(16). С. 6–18.
4. Ершов В.И., Барахтанов Л.В. Вероятностные характеристики микропрофиля пересеченной местности. М: Машиностроение. 1971. №4. С.117–119.
5. Афанасьев В.Л., Хачарутов А.А. Статические характеристики микропрофилей автомобильных дорог и колебаний автомобиля // Автомобильная промышленность. 1996. № 2. С. 21–23.
6. Куксов М.П., Нижегородов А.И. К построению математической модели рабочего процесса подметально-уборочной машины // Вестник ИрГТУ. 2013. № 12. С. 88–91.
7. Куксов М.П. Определение рациональных режимов работы малогабаритной коммунальной машины для летнего содержания дворовых территорий с использованием математического моделирования // Вестник ИрГТУ. 2015. №3. С. 44–48.
8. Лепеш Г.В., Лепеш А.Г. К вопросу эффективности щёточных агрегатов коммунальной

уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2013. № 3(25). С. 43–47.

9. Лепеш Г.В. Имитационное моделирование процесса высокоскоростного трения и изнашивания // Техника-технологические проблемы сервиса. 2013. № 3(25). С. 35–42.

10. Лепеш Г.В., Лепеш А.Г. Разработка методики рационального выбора характеристик рабочего процесса коммунальной уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2012. № 1 (19). С. 24–31.

11. Игнатов С.Д., Цехош С.И. Совершенствование системы управления коммунальной машины // Вестник СибАДИ. 2018. вып. 15 №2. С. 207–216.

12. Корчагин П.А. Математическая модель динамической системы // Вестник СибАДИ. 2013. №4. С. 91–95.

13. Паненко В.В., Математические методы планирования эксперимента: сборник трудов. Новосибирск: Наука, 1981. 257 с.

14. Корчагин П.А., Тетерина И.А. Математическая модель сложной динамической системы «возмущающие воздействия машина - оператор» // Вестник СибАДИ. 2015. №5. С.118–123.

15. Лепеш А.Г. Научные основы повышения производительности подметальных агрегатов коммунальных машин // Инновации. 2011. № 6. С. 136–139.

16. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В. Математическое моделирование силового взаимодействия щеток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техника-технологические проблемы сервиса. 2010. №3(13). С. 32–38.

17. Лепеш А.Г. К определению силового взаимодействия щёток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техника-технологические проблемы сервиса. 2011. №1(15). С.30–35.

18. Лепеш А.Г. Имитационное моделирование рабочего процесса коммунальной уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2011. №3(17). С.32–41.

19. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. 247 с.

## **REFERENCES**

1. Lepesh A.G. Funkcionirovanie i resurs shchetok kommunal'noj uborochnoj tekhniki [Functioning and resource utility brushes cleaning equipment]. *Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk*, 2011, no 4, pp.128–130 (in Russian).

2. Lepesh A.G. Prognozirovanie iznashivaniya shchetok kommunal'nyh mashin [Predicting the wear of municipal machine brushes]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2010, no 2, pp. 25–34 (in Russian).

3. Lepesh A.G., Lepesh G.V., Voroncov I.I. Metodika ehksperimental'nogo opredeleniya iznosostojkosti shchetochного vorsa kommunal'noj uborochnoj tekhniki [Method of experimental determination of wear resistance of brush pile of municipal cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2011, no 2, pp. 6–18 (in Russian).

4. Ershov V.I., Barakhtanov L.V. *Eroyatnostnye-harakteristiki-mikroprofilya-peresechennoj-mestnosti* [Probability characteristics of the white-rough terrain]. Moscow, Mechanical Engineering. 1971. pp.117–119 p (in Russian).

5. Afanasev V.L. Sticheskie karakteristiki mikroprofilej avtomobil'nyh dorog i kolebanij avtomobilya [Static characteristics of micro roads and automobile vibrations]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1996, no 2, pp. 21–23 (in Russian).

6. Kuksov M.P. K postroeniyu matematicheskoy modeli rabocheho processa podmetalno-uborochnoj mashiny [Construction of the mathematical model of the sweeper working process]. *Vestnik ISTU*, 2013, no12, pp. 88–91 (in Russian).

7. Kuksov M.P. Opredelenie racionalnyh rezhimov raboty malogabaritnoj kommunalnoj mashiny dlya letnego soderzhaniya dvorovyh territorij s ispolzovaniem matematicheskogo modelirovaniya [Determination of rational modes of the small-sized communal machine operation for summer maintenance of yard territories using mathematical modeling]. *Vestnik ISTU*, 2015, no 3, pp. 44–48 (in Russian).

8. Lepesh G.V., Lepesh A.G. K voprosu ehffektivnosti shchetochnyh agregatov kommunalnoj uborochnoj tekhniki [To the question of the brush units' effectiveness of communal cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2013, no 3, pp. 43–47 (in Russian).

9. Lepesh G.V. Imitacionnoe modelirovanie processa vysokoskorostnogo treniya i iznashivaniya [Simulation of high-speed friction and wear process]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2013, no 3, pp. 35–42 (in Russian).

10. Lepesh G.V., Lepesh A.G. Razrabotka metodiki racionalnogo vybora karakteristik rabocheho processa kommunalnoj uborochnoj tekhniki [Development of methods for the rational selection of work process characteristics of

the municipal cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2012, no1, pp. 24–31 (in Russian).

11. Ignatov S.D., Cekhosh S.I. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya kommunal'noj mashin [Improvement of the control system of municipal vehicles]. *Vestnik SibADI*, 2018, no 2, pp. 207–216 (in Russian).

12. Korchagin P.A. Matematicheskaya model dinamicheskoy sistemy [Mathematical model of dynamical system]. *Vestnik SibADI*, 2013, no 4, pp. 91–95 (in Russian).

13. Panenko V.V. *Matematicheskie-metody-planirovaniya-ehksperimenta* [Mathematical methods of experiment planning]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 257 p. (in Russian).

14. Korchagin P.A. Matematicheskaya model' slozhnoj dinamicheskoy sistemy "vozmushchayushchie vozdejstviya - mashina-operator" [Mathematical model of the complex dynamic system "disturbing effects - machine-operator"]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 5, pp. 118–123 (in Russian).

15. Lepesh A.G. Nauchnye osnovy povysheniya proizvoditel'nosti podmetal'nyh agregatov kommunal'nyh mashin [Scientific basis for improving the performance of the sweeper units utility vehicles]. *Innovacii*, 2011, no 6, pp. 136–139 (in Russian).

16. Lepesh A.G., Lepesh G.V. Matematicheskoe modelirovanie silovogo vzaimodejstviya shchetok kommunal'nyh mashin s dorozhnym pokrytiem [Mathematical modeling of power interaction of the municipal machines' brushes with a road surface]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2010, no 3, pp. 32–38 (in Russian).

17. Lepesh A.G. K opredeleniyu silovogo vzaimodejstviya shchyotok kommunal'nyh mashin s dorozhnym pokrytiem [To the definition of the force interaction of brushes utility vehicles and the road surface]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2011, no 1, pp. 30–35 (in Russian).

18. Lepesh A.G. Imitacionnoe modelirovanie rabocheho processa kommunal'noj uborochnoj tekhniki [Simulation workflow utilities cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2011, no 3, pp. 32–41 (in Russian).

19. Adler Yu. P. *Planirovanie-ehksperimenta-pri-poiske-optimalnyh-uslovij* [Planning of experiment when searching optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1971. 247 p. (in Russian).

**Поступила 09.01.2019, принята к публикации 22.02.2019.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

Игнатов Сергей Дмитриевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур», ORCID: 0000-0003-1891-8744, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: isdavvadon@mail.ru).

Цехош Софья Ивановна – аспирантка кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника», ORCID: 0000-0002-4904-4173, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: tsekhosh.lyubov@yandex.ru).

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Ignatov Sergey Dmitrievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering for the Construction and Service of Oil and Gas Complexes and Infrastructures, ORCID: 0000-0003-1891-8744, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: isdavvadon@mail.ru).*

*Tsekhosh Sofiya Ivanovna – Postgraduate Student of the Automation of Production Processes and Electrical Engineering Department, ORCID:*

*0000-0002-4904-4173, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: tsekhosh.lyubov@yandex.ru).*

#### **ВКЛАД СОАВТОРОВ**

Игнатов С.Д. Выявлены факторы, которые способствуют снижению эффективности рабочего процесса коммунальной машины. Руководство проведением эксперимента. Проверка и корректировка статьи. Заключение.

Цехош С.И. Анализ состояния вопроса. Описана математическая модель процесса неуправляемого изменения вертикальной координаты ЩРО. Определен коэффициент жесткости ворса. Проведен эксперимент на базе СибАДИ. Осуществлен анализ экспериментальных и теоретических результатов. Оформление готового варианта статьи.

#### **AUTHORS CONTRIBUTION**

*Ignatov S.D. revealed the factors that contribute to reducing the efficiency of the municipal machine workflow, led the experiment, checked and corrected the paper and wrote the conclusion.*

*Tsekhosh S.I. analyzed the state of the question, described the mathematical model of the uncontrollable changing process in the BWB vertical coordinates, determined the stiffness coefficient of the pile, conducted the experiment on the SibADI basis, carried out the analysis of experimental and theoretical results and compiled the finished version of the paper.*