

УДК 625.768.1: 621.22: 62-25

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ УРАВНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ С ПАРАЛЛЕЛОГРАММНОЙ ПОДВЕСКОЙ ЩЕТОЧНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

С.Д. Игнатов, С.И. Цехош*

ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

* tsehosh.lyubov@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматривается вопрос повышения эффективности коммунальной машины, отмечено влияние величины прижимной силы щеточного рабочего органа к обрабатываемой поверхности на износ щетки и, как следствие, на качество уборки дорожного полотна.

Методы и материалы. Представлены результаты исследования процесса изменения вертикальной координаты щеточного рабочего органа коммунальной машины в зависимости от перемещения штока гидроцилиндра привода. Проведен анализ существующих типов подвесок щеточного рабочего органа, в результате которого установлен факт наиболее частого использования трехточечной и параллелограммной подвесок, схемы которых приведены в статье.

Результаты. Представлены уравнения геометрических связей элементов коммунальной машины, которые могут быть использованы при составлении математической модели рабочего процесса. Составлена кинематическая схема коммунальной машины с подвеской щеточного рабочего органа с учетом таких параметров, как длины плеч рычагов, вертикальное перемещение шарниров, ход штока, углы поворотов рычагов, расстояния между шарнирами. Подробно описаны методики и ход эксперимента по определению зависимости перемещения щеточного рабочего органа от перемещения штока гидроцилиндра привода. Представлены фотографии отдельных фрагментов экспериментальных исследований.

Заключение. На основании полученных данных построен график экспериментальной и теоретической зависимостей перемещения щеточного рабочего органа от перемещения штока гидроцилиндра привода. Анализ полученных графиков подтвердил адекватность уравнений геометрических связей, что позволяет использовать эти уравнения при составлении математической модели процесса управления положением щеточного рабочего органа, а также для определения оптимального значения прижимной силы щеточного рабочего органа к обрабатываемой поверхности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: параллелограммная подвеска, уравнения геометрических связей, коммунальная машина, щеточный рабочий орган, перемещения штока гидроцилиндра привода.

© С.Д. Игнатов, С.И. Цехош

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF EQUATIONS' ADEQUACY OF GEOMETRIC CONNECTIONS IN THE MUNICIPAL MACHINE WITH THE BRUSH WORKING BODY PARALLELOGRAPHIC SUSPENSION

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

Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

* tsekhosh.lyubov@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The authors arise the question of increasing the efficiency of the municipal machine. Moreover, the influence of the clamping force of the brush body on the surface and on the brush deterioration and, as a consequence, on the quality of the roadway cleaning is highlighted in the article.

Methods and materials. The results of the changing process of the brushing tool vertical coordinate in the municipal machine were presented, depending on the displacement of the hydraulic cylinder rod. The analysis of the existing types of the brushing working body suspension was carried out. As a result of such analysis, the authors established the most frequent usage of the three-point and parallelogram suspensions, the schemes of which were also presented in the article.

Results. The equations of geometrical connections of the municipal machine elements, which could be used in mathematical model, are presented. In addition, the kinematic diagram of the municipal machine with the brush working body suspension is drawn up. Therefore, the presented model takes into account such parameters as the length of the levers' arms, the linear movements of the hinges, the rod stroke, the levers' angles and the distances between the hinges. The methods and the course of the experiment for determining the displacement dependence of the brush body from the displacement of the hydraulic cylinder rod are described. The authors also present the photographs of the experimental research fragments.

Discussion and conclusions. On the basis of the obtained data, the authors construct the experimental and theoretical dependences' graph of the brush body displacement and the actuator hydraulic cylinder rod displacement. The analysis of such graphs confirms the adequacy of the geometric constraint equations and also proves that these equations could be used in the mathematical model of the position controlling process of the brush operating body and also for determination the optimum value of the brush working element clamping force to the surface.

KEYWORDS: parallelogram suspension, equations of geometric constraints, municipal machine, brushwork element, displacement of the actuator cylinder rod.

© S.D. Ignatov, S.I. Tsekhosh



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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам дорожно-уборочных работ. Во множестве городов нашей страны возводится огромное количество многоквартирных домов и жилых массивов, в связи с этим создается большое количество дворовых зон, проезжих частей, поэтому вопрос о качестве содержания дорог является актуальным.

Помимо применения ручного труда главным является использование уборочных коммунальных машин, оснащенных щёточным рабочим органом (ЩРО), от технического состояния которого зависит эффективность уборки.

Из множества факторов, влияющих на процесс уборки дорожного покрытия, можно выделить неровности микрорельефа, так как именно они вызывают неуправляемые перемещения ЩРО в вертикальной плоскости. При контакте щетки с препятствием (возвышенностью) износ ворса из-за повышенных сил трения о дорожное полотно увеличивается, при отрицательном изменении вертикальной координаты полотна – наоборот, отсутствует контакт щетки с полотном и, как следствие, происходит снижение качества уборки. В связи с этим необходимо обеспечить постоянный прижим ЩРО к обрабатываемой поверхности.

Помимо микрорельефа на качество уборки дорожной поверхности влияет износ щетки, который чаще всего является неравномерным по длине ЩРО. На износ щеточного ворса, а также на качество уборки поверхности оказывает прижимная сила, которая может регулироваться гидроприводом.

Для анализа рабочего процесса коммунальной машины необходимо составить уравнения геометрических связей, которые войдут в укрупненную математическую модель рабочего процесса.

Для этого необходимо:

1. Проанализировать типы подвесок ЩРО.
2. Определить геометрические параметры элементов подвески ЩРО.
3. Разработать кинематическую схему подвески ЩРО.
4. Составить уравнения геометрических связей подвески ЩРО.
5. Провести сравнительный анализ экспериментальных и теоретических результатов, подтвердить адекватность полученных уравнений.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для составления уравнений геометрических связей были рассмотрены основные типы подвесок (рисунок 1). Существует несколько типов подвесок, из них наибольшее применение получили трехточечная и параллелограммная. В данных типах подвесок подъем и опускание ЩРО осуществляется гидроцилиндром навесной системы трактора [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Трехточечная подвеска изменяет угол наклона рабочего органа и не обеспечивает параллельного подъема щетки и опорных катков (рисунок 1, а). Но этот недостаток можно устранить, если убрать опорные катки. Конструкция при этом становится менее металлоёмкой. На тракторах типа МТЗ на сегодняшний день используется параллелограммная подвеска с опорными катками (рисунок 1, б). Этот тип подвески помимо повышенной жёсткости и прочности обеспечивает параллельный подъем–опускание ЩРО.

Для составления уравнений геометрических связей элементов коммунальной машины была составлена кинематическая схема с параллелограммной подвеской ЩРО (рисунок 2).

В результате анализа кинематической схемы (см. рисунок 2) были составлены уравнения геометрических связей (формулы (1) – (6)) при следующих принятых допущениях:

1. Рассматривается приближенная геометрия подвески РО.
2. Рассматривается изменение вертикальной координаты средней части ЩРО ($Y_{щ,общ.}$).
3. Угол захвата ЩРО в расчетах не учитывается.
4. Машина представлена упрощенно в виде многозвенника, отражающего раму машины, ходовое оборудование, подвеску рабочего органа, ЩРО.
5. Звенья многозвенника абсолютно жесткие.
6. Элементы ходового оборудования от опорной поверхности не отрываются.

$$Y_1 = h_{шт} \left(\frac{b}{a} \right); \quad (1)$$

$$\varphi_3 = \varphi_1 \cdot \frac{b}{v}; \quad (2)$$

$$\varphi_1 = \frac{h_{шт}}{a \cdot \cos \alpha}; \quad (3)$$

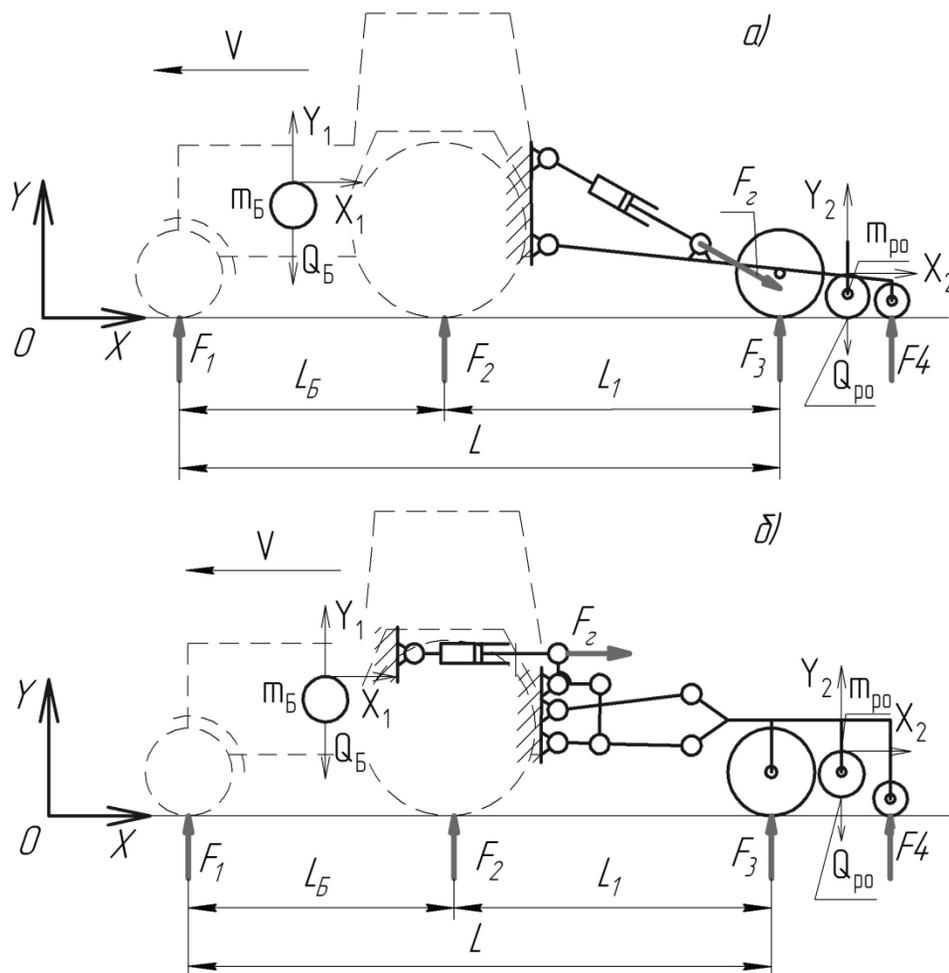


Рисунок 1 – Виды подвесок щётчного рабочего органа на базе трактора МТЗ-82.1 с опорными катками:

а – с трехточечной подвеской; б – с параллелограммной подвеской;

L – расстояние от переднего колеса до рабочего органа; L_1 – расстояние от заднего колеса до рабочего органа;

$L_б$ – расстояние между передним и задним колесом машины; $Q_б$ – вес трактора; $Q_{по}$ – вес рабочего оборудования;

$m_б$ – масса базы, $m_{по}$ – масса рабочего оборудования; $F_б$ – усилие гидроцилиндра; F_1 ;

F_2 – реакции дорожного полотна на ходовое оборудование; V – вектор скорости;

F_3 – реакция поверхности на рабочее оборудование; X_1, Y_1 – координаты центра тяжести базовой машины; X_2 ;

Y_2 – координаты центра тяжести рабочего оборудования

Figure 1 – Types of the brush body suspensions on the base of the MTZ-82.1 tractors with track rollers:

a – with a three-point suspension; b – with a parallelogram suspension; L – distance from the front wheel to the working body;

L_1 – distance from the rear wheel to the working body, $L_б$ – distance between the front and rear wheels of the machine;

$Q_б$ – tractor's weight; $Q_{по}$ – working equipment weight; $m_б$ – base weight; $F_б$ – hydraulic cylinder force;

F_1, F_2 – roadway reaction to the running

equipment; V – velocity vector; F_3 – surface reaction to the working equipment;

X_1, Y_1 – coordinates of the gravity center on the base machine;

X_2, Y_2 – coordinates of the gravity center on the working equipment

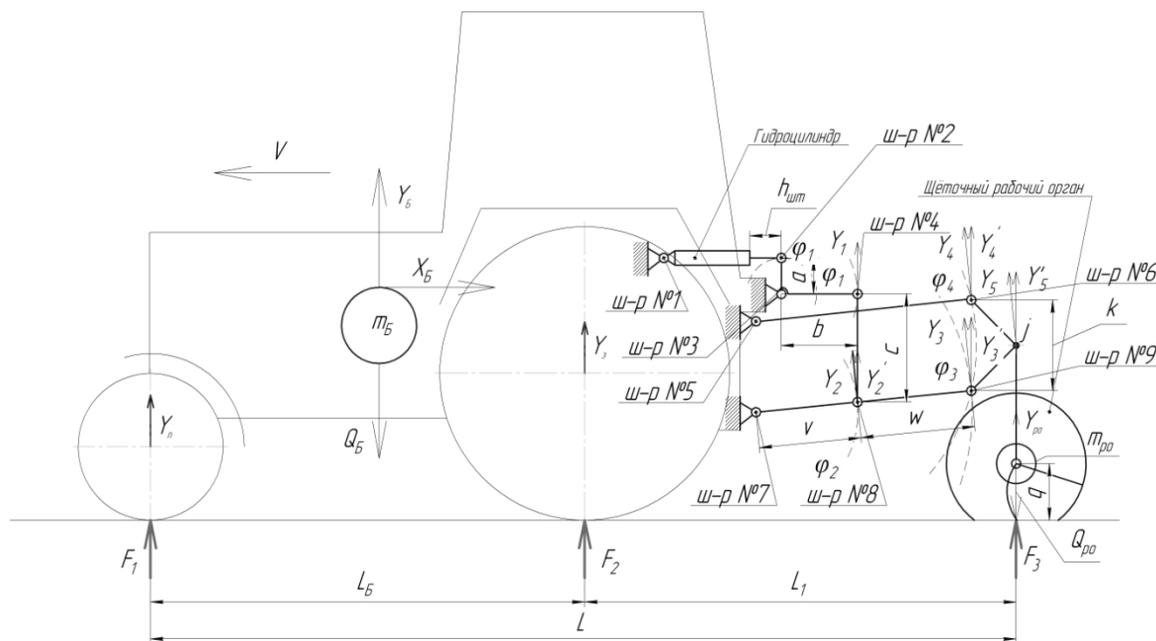


Рисунок 2 – Кинематическая схема коммунальной машины с параллелограммной подвеской щеточного рабочего органа:

- Y_1 – вертикальное перемещение шарнира № 4; Y_{po} – вертикальное перемещение рабочего органа;
- Y_n – вертикальное перемещение переднего ходового оборудования;
- Y_3 – вертикальное перемещение заднего ходового оборудования; Y_2 – вертикальное перемещение шарнира № 2;
- Y_2 – проекция вертикального перемещения шарнира № 2 на ось координат;
- Y_3 – вертикальное перемещение шарнира № 3;
- Y_3 – проекция вертикального перемещения шарнира № 3 на ось координат;
- Y_4 – вертикальное перемещение шарнира № 6;
- Y_4 – проекция вертикального перемещения шарнира № 6 на ось координат;
- X_B, Y_B – координата центра тяжести трактора; φ_1, φ_4 – угол поворота верхнего рычага; φ_2, φ_3 – угол поворота нижнего рычага;
- $h_{шп}$ – ход штока; b – длина плеча рычага; a – длина плеча рычага; c – длина вертикальной тяги;
- q – расстояние от оси щётки до очищаемой поверхности;
- k – расстояние между шарниром № 5 и шарниром № 3;
- v – расстояние между шарниром № 7 и шарниром № 8; w – расстояние между шарниром № 8 и шарниром № 9;
- α – угловое перемещение шарнира № 8

Figure 2 – Kinematic diagram of the municipal machine with parallelogram suspension of the brush working body

- Y_1 – vertical movement of No. 4 hinge; Y_{po} – vertical movement of the working element;
- Y_n – vertical movement of the forward running equipment; Y_3 – vertical movement of the back running equipment;
- Y_2 – vertical movement of No. 2 hinge; Y_2 – projection of the vertical movement of the hinge No. 2 on the coordinate axis; Y_3 – vertical movement of No. 3 hinge; Y_3 – the projection of the vertical movement of the hinge No. 3 on the coordinate axis; Y_4 – vertical movement of No. 6 hinge; Y_4 – the projection of the vertical movement of hinge No. 6 on the coordinate axis;
- X_B, Y_B – coordinate of the tractor center gravity; φ_1, φ_4 – angles of the upper lever rotation;
- φ_2, φ_3 – angles of the lower lever rotation; h_{shp} – stroke of the rod; b – arm length; a – length of the lever arm;
- c – length of the vertical thrust; q – distance from the brush axis to the surface;
- k – distance between No. 5 hinge and No. 3 hinge; v – distance between No. 7 hinge and No. 8 hinge;
- w – distance between No. 8 hinge and No. 9 hinge; α – angular movement of No. 8 hinge.

$$\varphi_3 = \left(\frac{h_{шп}}{a} \cdot \frac{b}{v} \right); \quad (4)$$

$$Y_4 = \varphi_3(v + \omega); \quad (5)$$

$$Y_{po} = Y_4 = \left(\frac{h_{шп}}{a \cdot \cos \alpha} \cdot (v + \omega) \right). \quad (6)$$

Для подтверждения адекватности полученных уравнений геометрических связей был

проведён эксперимент [12,13,14,15,16,17,18,19,20,21]. Объектом эксперимента являлась коммунальная машина на базе трактора МТЗ–82.1. На рисунке 3 представлена экспериментальная площадка.

Перед началом эксперимента были сняты опорные катки с щётки трактора МТЗ–82.1. Рассматривалась зависимость вертикального перемещения ЩРО от хода штока гидроцилиндра подъема–опускания ЩРО. На штоке гидроцилиндра была сделана отметка, отно-

сительно которой были зафиксированы контрольные точки. На ось щетки был прикреплен репер, который перемещался на фоне разлинованного планшета. В процессе эксперимента рабочий орган опускался на фоне планшета, при этом фиксировался ход штока гидроцилиндра.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При опускании ЩРО фиксировалось перемещение штока гидроцилиндра в диапазоне 115 мм – 200 мм. Величины перемещений правой и левой стороны ЩРО отличаются, так как щётка устанавливается с определенным углом захвата. Результаты эксперимента сведены в таблицу.

Таблица
РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЩЕТКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШТОКА
ГИДРОЦИЛИНДРА ПРИВОДА
Table

RESULTS OF THE BRUSH DISPLACEMENT DEPENDING ON THE DISPLACEMENT
OF THE HYDRAULIC CYLINDER ROD

Перемещение штока, $h_{шт}$, мм	Вертикальное перемещение щетки справа, $Y_{щл}$, мм	Вертикальное перемещение щетки слева, $Y_{щл}$, мм	Вертикальное перемещение щетки общее, $Y_{щ, общ}$, мм
115	700	635	667,5
125	600	585	592,5
135	490	525	507,5
150	400	475	437,5
165	300	415	357,5
180	200	350	300,0
200	180	270	225,0

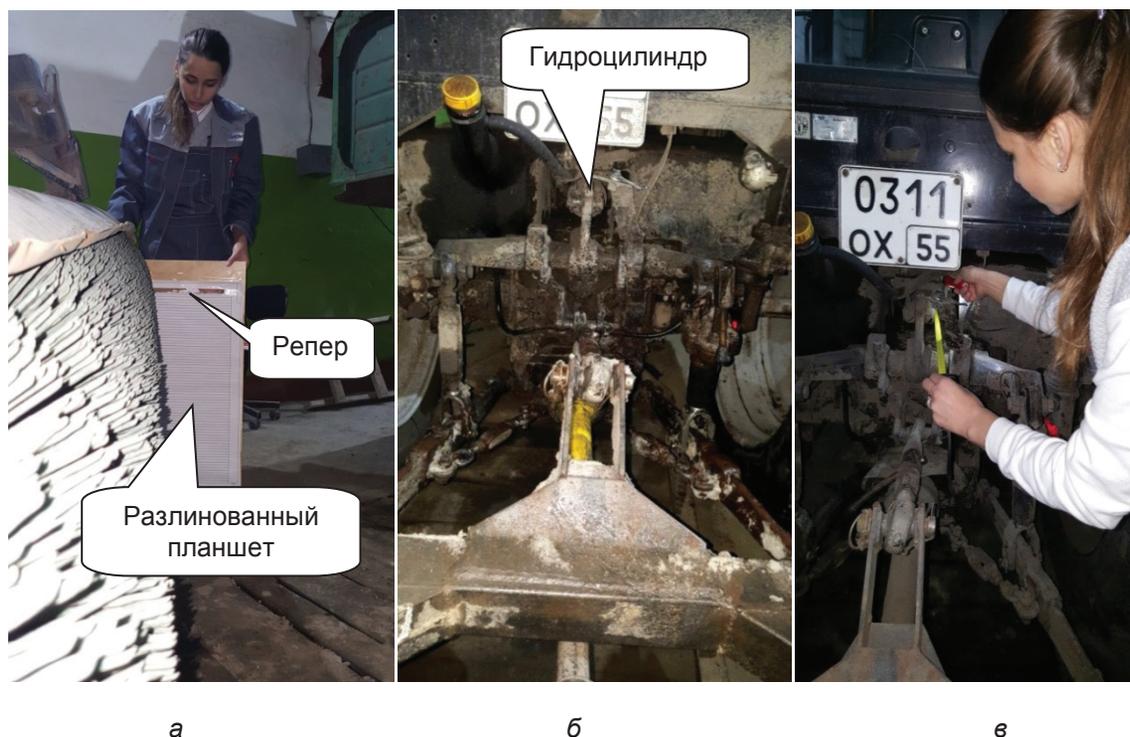


Рисунок 3 – Экспериментальная площадка:
а – регистрация данных перемещения щеточного рабочего органа на фоне планшета;
б – расположение гидроцилиндра привода рабочего оборудования;
в – измерение перемещения штока гидроцилиндра

Figure 3 – Experimental platform: a - registration of the data of the brush body movement on the the tablet background; b – arrangement of the hydraulic cylinder of the working equipment, c – measurement of the hydraulic cylinder rod displacement

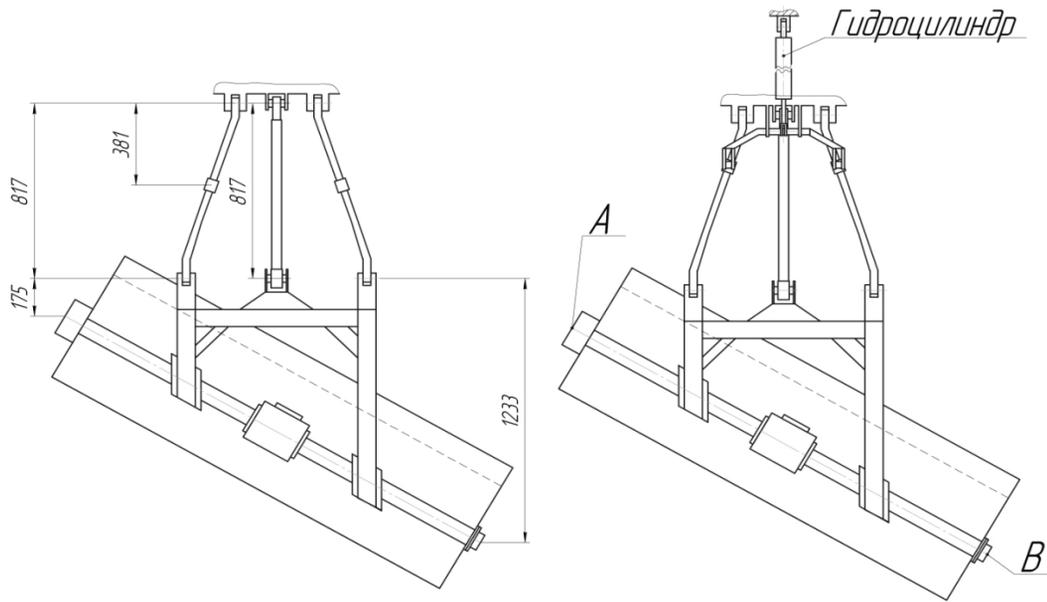


Рисунок 4 – Геометрические параметры элементов подвески щётчного рабочего органа, A, B – точки, перемещения которых измерялись и рассчитывались
 Figure 4 – Geometrical parameters of the brush body suspension elements A, B – measured and calculated displacement points

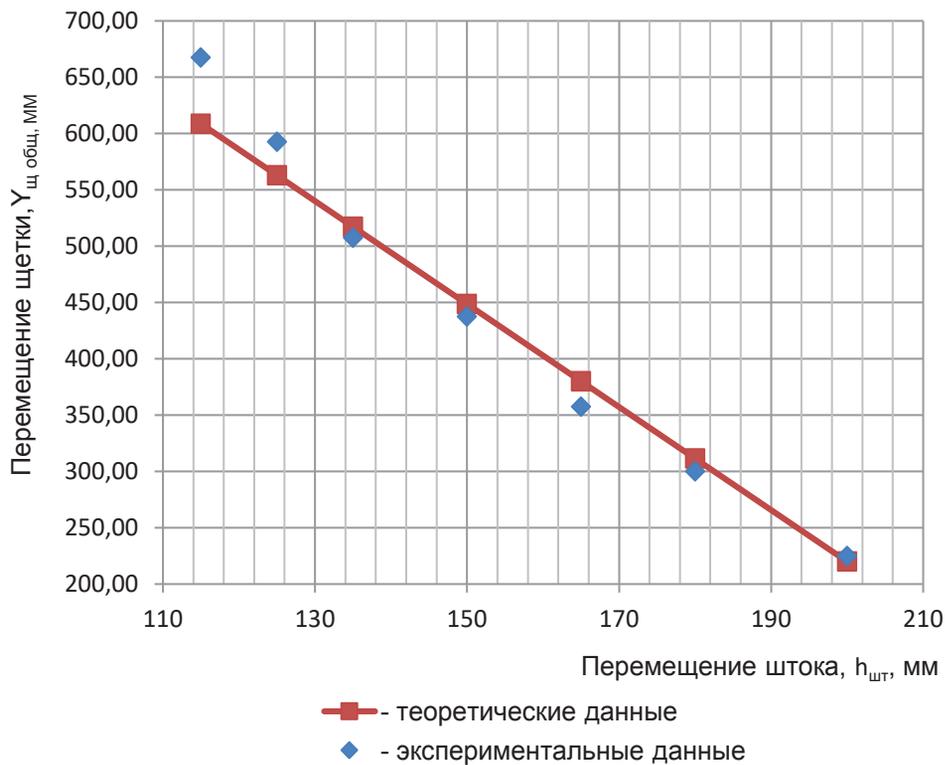


Рисунок 5 – Экспериментальная и теоретическая зависимости перемещения щетки от перемещения штока гидроцилиндра привода

Figure 5 – Experimental and theoretical dependences of the brush displacement from the hydraulic cylinder rod displacement

Для подтверждения адекватности уравнений геометрических связей проводилось измерение геометрических параметров элементов подвески ЩРО коммунальной машины на базе трактора МТЗ–82.1 (рисунок 4).

В результате обработки полученных экспериментальных данных был построен график экспериментальной и теоретической зависимости (уравнение 6), вертикального перемещения щетки от перемещения штока гидроцилиндра (рисунок 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнения экспериментальных и теоретических данных, полученных в результате анализа уравнений геометрических связей, установлено, что расхождение между ними составило менее 9%. Это позволяет утверждать, что полученные уравнения, связывающие перемещения штока гидроцилиндра и ЩРО, адекватны.

Составленные уравнения геометрических связей позволят в дальнейшем разработать математическую модель процесса управления положением ЩРО, которая может быть использована для определения оптимального значения прижимной силы ЩРО к обрабатываемой поверхности. Это обеспечит равномерный износ щёточного ворса рабочего органа и повысит качество уборки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.С., Беляев Н.В., Беляев В.В. Система автоматизации эскизного проектирования автогрейдера: монография. Омск: СибАДИ, 2009. 133 с.
2. Щербаков В.С., Беляев Н.В., Скуба П.Ю., Автоматизация проектирования планировочных машин на базе колесных тракторов: монография. Омск: СибАДИ, 2013. 125 с.
3. Лазута И.В. Система автоматизации моделирования бульдозерного агрегата // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. № 8. С. 72.
4. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М.: Машиностроение, 1994. 432 с.
5. Васильев А.А. Дорожные машины. М.: Машиностроение, 1987. 416 с.
6. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы. М. Омск, 2001. 528 с.
7. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. М.: Машиностроение, 1977. 288 с.
8. Кошелев Ю.В., Согин А.В., Соколов Д.А., Шаров Д.В. Методика определения сил сопро-

тивления движению отвала снегоуборочной техники // Фундаментальные исследования. 2014. № 8–5. С. 1048–1052 .

9. Кокорин А.В., Сухарев Р.Ю. Математическая модель процесса управления рабочим органом дорожной фрезы // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. № 10. С. 147 .

10. Лазута И.В., Лазута Е. Ф. Динамическая модель бульдозера с полужесткой подвеской // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 1. С.41 .

11. Хмара Л.А. Научное сопровождение строительных и дорожных машин: исследование, расчет, создание, выбор, использование // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. 2015. № 7–8. С .209 .

12. Радченко С.Г. Многофакторные планы экспериментов для совместного проведения оптимизации и моделирования // Математические машины и системы. 2013. № 3. С. 124 .

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

14. Крупин А.Е., Зуйков Д.В. Отсевание факторов при планировании эксперимента // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического университета. 2014. № 4. С. 62 .

15. Лапач С.Н., Радченко С.Г. Основные проблемы построения регрессионных моделей // Математические машины и системы. 2012. № 4. С. 125 .

16. Налимов В.В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 260 с.

17. Лапач С.Н. Планирование в пассивном эксперименте // Математические машины и системы. 2013. № 4. 156 С.

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

19. Попов С.А. Повышение точности оценивания на основе планирования эксперимента // Вестник Новгородского государственного университета. 2016. № 4. С. 53 .

20. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных. М.: Мир, 1980. 595 с.

21. Панфилов Г.В., Недошивин С.В., Калинин С.С. Планирование и первичная обработка результатов статического машинного эксперимента на основе множественного корреляционно-регрессионного анализа

// Известия ТулГУ. Технические науки. 2014.

№ 7. С. 20 .

REFERENCES

1. Shcherbakov V.S., Belyayev N.V., Belyayev V.V. Sistema avtomatizatsii eskiznogo proyektirovaniya avtogreydera [Automated design sketch automation system]. Omsk, SibADI, 2009. 133 p. (in Russian)

2. Shcherbakov V.S., Belyayev N.V., Skuba P.YU. Avtomatizatsiya proyektirovaniya planirovochnykh mashin na baze kolesnykh traktorov [Automation of planning machines based on wheeled tractors]. Omsk, SibADI, 2013. 125 p. (in Russian)

3. Lazuta I.V. Sistema avtomatizatsii modelirovaniya buldozernogo agregata [Automation system for the dozer unit modeling]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009, no 8, pp. 72. (in Russian)

4. Balovnev V.I. Modelirovaniye protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhno-stroitelnykh mashin [Design of processes of co-operating with the environment of the trailbuilders' working organs]. Moscow, Engineer, 1994. 432 p. (in Russian)

5. Vasilyev A.A. Dorozhnyye mashiny [Travelling machines]. Moscow, Engineer, 1987. 416 p. (in Russian)

6. Balovnev V.I. Dorozhno-stroitelnyye mashiny i komplekсы [Trailbuilders and complexes]. Omsk, 2001. 528 p. (in Russian)

7. Fedorov D.I. Rabochiye organy zemleroynykh mashin [Working organs of earthmovers]. Moscow, Engineer, 1977. 288 p. (in Russian)

8. Koshelev YU.V., Sogin A.V., Sokolov D.A., SHarov D.V., Metodika opredeleniya sil soprotivleniya dvizheniyu otvala snegouborochnoy tekhniki [Method of determining the forces of resistance to the movement of the snowplow blade]. Fundamental'nye issledovaniya, 2014, no 8-5, pp.1048-1052. (in Russian)

9. Kokorin A.V., Suharev R.YU. Matematicheskaya model processa upravleniya rabochim organom dorozhnoy frezy [Mathematical model of the management process of the road mill working body]. Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009, no10, pp. 147. (in Russian)

10. Lazuta I.V., Lazuta E.F. Dinamicheskaya model buldozera s poluzhestkoj podveskoj [Dynamic semi-stiffer bulldozer model]. Vestnik SibADI, 2015, no1, pp. 41. (in Russian)

11. Hmara L.A. Nauchnoe soprovozhdenie stroitel'nyh i dorozhnyh mashin: issledovanie, raschet, sozdanie, vybor, ispol'zovanie [Scientific support of construction and road machines: research, calculation, creation, selection, usage]. Vestnik Pridneprovskoy gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury, 2015, no 7-8, pp. 209. (in Russian)

12. Radchenko S.G. Mnogofaktornyye planyi eksperimentov dlya sovmestnogo provedeniya optimizatsii i modelirovaniya [Multifactorial plans for experiments on joint optimization and modeling]. Matematicheskie mashiny i sistemy, 2013, no 3, pp. 124. (in Russian)

13. Adler YU.P., Markova E.V., Granovskiy YU.V. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy [Planning an experiment by searching for optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1971. 247 p. (in Russian)

14. Krupin A.E., Zuykov D.V. Otseivaniye faktorov pri planirovanii eksperimenta [Screening factors by planning an experiment]. Vestnik Nizhegorodskij gosudarstvennyj inzhenerno-ehkonomicheskij universitet, 2014, no 4, pp. 62. (in Russian)

15. Lapach S.N., Radchenko S.G. Osnovnyye problemy postroeniya regressionnykh modeley [Main problems of building regression models]. Matematicheskie mashiny i sistemy, 2012, no 4, pp. 125. (in Russian)

16. Nalimov V.V. Teoriya eksperimenta [Theory of experiment]. Moscow, Nauka, 1971. 260 p. (in Russian)

17. Lapach S.N. Planirovanie v passivnom eksperimente [Planning in a passive experiment]. Matematicheskie mashiny i sistemy, 2013, no 4, pp. 156. (in Russian)

18. Panenko V.V. Matematicheskiye metody planirovaniya eksperimenta [Mathematical methods of experiment planning]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 257 p. (in Russian)

19. Popov S.A. Povyishenie tochnosti otsenivaniya na osnove planirovaniya eksperimenta [Improving estimation accuracy based on experiment planning]. Vestnik Novgorodskij gosudarstvennyj universitet, 2016, no 4, pp. 53. (in Russian)

20. Dzhonson N., Lion F. Statistika i planirovaniye eksperimenta v tekhnike i nauke: metody obrabotki dannykh [Statistics and experiment planning in engineering and science: data processing methods]. Moscow, Mir, 1980. 595 p. (in Russian)

21. Panfilov G.V., Nedoshivin S.V., Kalinin S.S. Planirovanie i pervichnaya obrabotka rezultatov staticheskogo mashinnogo eksperimenta osnove mnojestvennogo korrelyatsionno-regressionnogo

analiza [Planning and initial processing of the results of the static computer experiment based on multiple correlation and regression analysis]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki, 2014, no 7, pp. 20. (in Russian)

Поступила 28.09.2018, принята к публикации 21.12.2018.

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: isdavadon@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: tsehosh.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: isdavadon@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: tsehosh.lyubov@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Игнатов С.Д. Определены геометрические параметры элементов подвески ЩРО. Составлен план эксперимента на базе СибАДИ. Руководство проведением эксперимента. Проверка и корректировка статьи. Заключение.

Цехош С.И. Анализ состояния вопроса. Разработана кинематическая схема подвески ЩРО. Составлено уравнение геометрических связей элементов коммунальной машины. Проведен эксперимент на базе СибАДИ. Осуществлен анализ экспериментальных и теоретических результатов. Оформление готового варианта статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

Ignatov S.D. The geometric parameters of the SCHRO suspension elements are determined. The experiment plan is developed on the basis of SibADI. The supervision of the experiment is conducted. The checking and correction of the article is made. The conclusion is written.

Tsekhosh S.I. The issue status is analyzed. The kinematic scheme of the SZRO suspension has been developed. The equation of geometrical connections of the municipal machine elements is made. The experiment is conducted on the basis of SibADI. The experimental and theoretical results is analyzed. The preparation of the finished version of the article is carried out.