УДК 625.76.08: 620.16

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ

С.И. Цехош
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Статья посвящена актуальной проблеме увеличения эксплуатационного ресурса щеточного рабочего оборудования и повышения качества уборки. В работе рассмотрены факторы, влияющие на интенсивность износа щеточного рабочего органа и соответственно на экономические потери.*

Методы и материалы. *Для представления связей между подсистемами, участвующими в рабочем процессе, была разработана блок-схема рабочего процесса коммунальной машины, включающая базовую машину, рабочее оборудование, ходовое оборудование, гидропривод, дорожное покрытие, которое отражает влияние неровностей микрорельефа на вертикальную координату рабочего органа. Представлена математическая модель процесса взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием. Моделирование осуществлялось при помощи программного продукта MATLAB, расширение Simulink. Неровности микрорельефа дорожного полотна описаны рекуррентными уравнениями, задаются корреляционные функции случайного процесса.*

Результаты. *В результате моделирования были установлены статические и динамические зависимости перемещения передней и задней оси базовой машины, перемещения центра оси щеточного рабочего органа от изменения координат микрорельефа. Результаты эксперимента подтвердили адекватность математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием.*

Обсуждение и заключение. *Сделан вывод о том, что вследствие изменения вертикальной координаты дорожного полотна происходит изменение давления на щетку, что приводит к изменению силы трения ворса о дорожное полотно. При наезде щеткой на препятствия износ щетки увеличивается. При отрицательном изменении вертикальной координаты полотна происходит снижение качества уборки. Гидравлическая система управления коммунальной машины предназначена для регулирования положения в вертикальной плоскости рабочего органа относительно дорожного полотна и обеспечения оптимального значения прижимной силы, что позволяет повысить надежность и эксплуатационный срок службы щетки.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *щеточный рабочий орган, ходовое оборудование, взаимодействие с микрорельефом, коммунальная машина, ступенчатая неровность, износ.*

ВВЕДЕНИЕ

При дорожно-уборочных работах движение коммунальных машин по рельефу дороги протекает под воздействием многочисленных и разнообразных внешних факторов, влияющих на рабочий процесс: неровности опорных поверхностей, загрязненность поверхности.

Неровность опорных поверхностей является основным источником непрерывных колебаний машины, амплитуды и ускорения которых достигают значительных величин. При проектировании и проведение испытаний коммунальных машин необходимо располагать характеристиками опорных поверхностей.

Перечисленные факторы оказывают негативное влияние на процесс работы рабочего органа, снижают работоспособность техники и, как следствие, могут стать причиной значительных экономических потерь.

Актуальность проблемы обусловлена неуправляемым перемещением рабочего органа из-за воздействий рельефа дорожного полотна.

Целью данной статьи является подтверждение адекватности математической модели коммунальной машины.

Задачи исследования:

1. Изучить процесс неуправляемого перемещения рабочего органа при изменении неровностей микрорельефа.

2. Построить графики переходных процессов характерных точек базовой машины и рабочего органа при наезде передними и задними колесами на ступенчатую неровность.
3. Провести сравнительный анализ экспериментальных и теоретических переходных процессов, подтвердить адекватность математической модели.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для представления связей между подсистемами машины, участвующими в рабочем процессе коммунальной машины, была составлена блок-схема рабочего процесса (рисунок 1).

Рисунок 1 – Блок-схема рабочего процесса коммунальной машины
Figure 1 – Block diagram of the communal machine's working process

Подсистема ходового оборудования, воспринимая возмущающие воздействия со стороны микрорельефа дороги С1, в свою очередь воздействует на раму базовой машины С2. Далее воздействие передается на рабочее оборудование С3. Рабочее оборудование изменяет свое положение в пространстве – изменяется сила прижима С5. Дорожное покрытие С6 в зависимости от вида покрытия и параметров конструкции коммунальной щетки влияет на изгиб ворса щеточного рабочего органа. Ниже представлена структурная схема системы управления гидропривода коммунальной машины (Рисунок 2).

Рисунок 2 – Структурная схема системы управления
Figure 2 – Block diagram of the control system

Математическая модель процесса взаимодействия микрорельефа с ходовым оборудованием была описана ниже представленными уравнениями 1,2,3 [1,2,3].

$$Y_{PO} = (1- K_б)\ Y_П + K_б \cdot Y_З; \quad (1)$$

$$Y_З = Y_П (t - \tau_L)\ K_б \cdot Y_З, \quad (2)$$

где Y_{PO} – вертикальная координата рабочего органа; $K_б$ – коэффициент базы; $Y_П$ – вертикальная координата передней оси; $Y_З$ – вертикальная координата задней оси; τ_L – время запаздывания.

$$\tau_L = \frac{L}{V}, \quad (3)$$

где τ_L – время запаздывания; L – длина базы; V – поступательная скорость машины,

$W_s = \frac{1}{s^2 + 1{,}5s + 1}$ – передаточная функция колеса.

Микрорельеф, описанный корреляционной функцией случайного процесса, с достаточной степенью точности аппроксимируется функциональной зависимостью [4]:

$$R_q(X_s) = A_1 e^{-\alpha_1 |x_s|} + A_2 e^{-\alpha_2 |x_s|} \cdot \cos(\beta_{q_0} \cdot X_s), \quad (4)$$

где $R_q(X_s)$ – нормированная корреляционная функция микрорельефа, для которой при $X_s = 0,\ A_1 + A_2 = 1$; α_1 и α_2 – коэффициенты, характеризующие затухание корреляции микрорельефа; β_{q0} – коэффициент, характеризующий периодическую составляющую микрорельефа. В качестве исходных данных микрорельефа был выбран тип цементобетонного покрытия.

Для формирования модели на ЭВМ стохастического процесса используют рекуррентные уравнения [4,5]:

$$Z(l_{мк}) = a_0 \cdot x(n) + a_1 \cdot x(n-1) + d_1 \cdot z(n-1) + d_2 \cdot z(n-2); \quad (5)$$

$$a_0 = \sigma \cdot C; \quad (6)$$

$$a_1 = \sigma \cdot \frac{C_0}{C}; \quad (7)$$

$$d_1 = 2 \cdot \rho \cdot \cos\gamma_0; \quad (8)$$

$$d_2 = -p^2; \quad (9)$$

$$C_0 = \rho \cdot (\rho^2 - 1)\cos\gamma_0; \quad (10)$$

$$C_1 = 1 - \rho^4; \quad (11)$$

$$\rho = e^{-\gamma}; \quad (12)$$

$$\gamma = \alpha \cdot n; \quad (13)$$

$$C = \sqrt{C_1 \pm \sqrt{\frac{C_1^2 - 4 \cdot C_0^2}{2}}}; \quad (14)$$

$$\gamma_0 = \beta \cdot n. \quad (15)$$

Микрорельеф описан статически. Статические характеристики взяты из предшествующих источников [6]. В литературе приведены усредненные значения параметров статических функций.

На рисунке 3 представлена в изображениях simulink структурная схема математической модели процесса взаимодействия микрорельефа с ходовым оборудованием, которая позволила получить результаты, представленные в качестве примера на графиках (рисунки 3,4,5) [7,8,9,10,11,12]. На рисунках 4 а, б показаны перемещения передней и задней оси в вертикальной плоскости трактора МТЗ-82.1. Рисунок 4 в показывает перемещение рабочего оборудования (щетки).

Рисунок 3 – Структурная схема математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым оборудованием
Figure 3 – Structural diagram of mathematical model of the microrelief's interaction with running equipment

а

б

в

Рисунок 4 – Результаты моделирования:
а – перемещение передней оси базовой машины; б – перемещение задней оси базовой машины; в – перемещение центра оси щеточного рабочего органа.
Figure 4 – Simulation results: a - moving the front axle of the base machine; b - moving the rear axle of the base machine; c - displacement of the axle's center of the brush body.

Математическая модель взаимодействия микрорельефа с колесным двигателем и рабочим оборудованием позволила получить результаты расчетов, приведенных на рисунках 5,6.

Рисунок 5 – Наезд задними колесами на единичную ступенчатую неровность
Figure 5 – Acceleration by rear wheels on a single stepped unevenness

Рисунок 6 – Наезд передними колесами на единичную ступенчатую неровность
Figure 6 – Acceleration by front wheels on a single stepped unevenness

Полученный результат был подтвержден экспериментально, данные сведены в таблицу 1.

Эксперимент осуществлялся как в статике, так и в динамике [13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24]. Перед началом эксперимента были сняты опорные катки с щетки трактора МТЗ-82.1. Для подтверждения построенной математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием был проведён эксперимент: подсистема микрорельеф – базовая машина. На поверхности была сформирована единичная ступенчатая неровность, по которой осуществлялся наезд и съезд, что позволило измерить в статике и снять на видео в динамике процесс наезда и съезда машины. На ось щетки был прикреплен репер, который перемещался на фоне разлинованного планшета.

В качестве контрольных точек бралась точка подвеса рабочего оборудования и ось щеточного оборудования. Были сняты переходные процессы и статические характеристики [25,26]. Для проведения эксперимента применялись следующие приборы: ступенчатая неровность, разлинованный планшет, репер, индикатор часового типа, видеокамера.

Ход эксперимента:

В статике

После наезда на неровность и съезда с неровности измерялись вертикальные координаты осей колес и рабочего органа.

Таблица 1
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Table 1
MEASUREMENTS' RESULTS OF MOVEMENT OF THE RUNNING EQUIPMENT ELEMENTS

Переднее колесо	Высота оси ходового оборудования (без препятствия), см		Высота оси ходового оборудования (с препятствием), см		Высота оси рабочего оборудования (без наезда), см		Высота оси рабочего оборудования (при наезде), см	
	левое колесо	правое колесо	левое колесо	правое колесо	левое колесо	правое колесо	левое колесо	правое колесо
	45	46	59	59	26	24	19	17
Заднее колесо	Высота оси ходового оборудования (без препятствия), см		Высота оси ходового оборудования (с препятствием), см		Высота оси рабочего оборудования (без наезда), см		Высота оси рабочего оборудования (при наезде), см	
	левое колесо	правое колесо	левое колесо	правое колесо	левое колесо	правое колесо	левое колесо	правое колесо
	71	70	85	83	26	24	49	46

В динамике

1) На ось щетки был прикреплен репер, который перемещался на фоне планшета. Опорные катки щетки сняты.

2) На фоне планшета осуществлялся наезд передними колесами трактора на ступенчатую неровность, в этот момент снимался на видеокамеру переходный процесс перемещения оси щетки.

3) Осуществлялся съезд передних колес машины с неровности.

4) Наезд задними колесами на ступенчатую неровность, фиксировалось вертикальное перемещение щетки.

5) Осуществлялся съезд задних колёс машины с неровности.

На экспериментальной площадке (Рисунок 7) выполнялся первый этап эксперимента, были осуществлены наезды передними и задними колесами трактора на неровность (ступенька выстой 150 мм), при этом осуществлялась съёмка изменения положения оси щетки на фоне планшета, динамический процесс деформации ворса щеточного органа, его вдавливание в поверхность.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При наезде трактора передними колесами на ступенчатую неровность было зафиксировано опускание щетки как с левой, так и с правой стороны на 70 мм.

При наезде трактора задними колесами на ступенчатую неровность центр задней оси поднимался на 135 мм. При наезде трактора задним колесом на ступеньку был зафиксирован подъем щетки левой стороной на 230 мм, а правой стороной на 220 мм (таблица 2).

Таблица 2
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОСЕЙ ТРАКТОРА И ЩЕТКИ
Table 2
MEASUREMENTS' RESULTS OF THE TRACTOR AND THE BRUSH AXES' DISPLACEMENT

Наезд задними колесами, мм	Левое колесо	Правое колесо	Среднее значение
перемещение задней оси, мм	140	130	135
перемещение щетки, мм	230	220	225
Наезд передними колесами, мм	Левое колесо	Правое колесо	Среднее значение
перемещение передней оси, мм	155	145	150
перемещение щетки, мм	70	70	70

а б в г

Рисунок 7 – Экспериментальная площадка:
а – установка ступенчатой неровности перед передними колесами трактора МТЗ-82.1,
б – наезд передними колёсами на препятствие, в – измерение деформации щеточного ворса при помощи часового индикатора, г – перемещение прикрепленного репера, на фоне разлинованного планшета
Figure 7 – Experimental platform:
a – installation of a stepped unevenness in front of the front wheels of the tractor MTZ-82.1,
b – acceleration by the front wheels on the obstacle, c – measuring of the brush nape deformation with the help of the hour indicator, d – moving the attached frame against flattened tablet

Новизна заключается в математической модели, выявленных зависимостях перемещения элементов машины при различных видах неровностей под элементами ходового оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе сравнения экспериментальных данных и полученных на математической модели установлено, что расхождения менее 10%. Полученные результаты позволили подтвердить адекватность математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием.

Вследствие изменения вертикальной координаты дорожного полотна происходит изменение давления на щетку, что приводит к изменению силы трения ворса о дорожное полотно. При наезде щеткой на препятствие износ щетки увеличивается, при отрицательном изменении вертикальной координаты полотна происходит снижение качества уборки.

Гидравлическая система управления коммунальной машины предназначена для регулирования положения в вертикальной плоскости рабочего органа относительно дорожного полотна и обеспечения оптимальной прижимной силы, что позволяет повысить надежность и эксплуатационный срок службы щетки [27]. Этот вывод носит характер гипотезы, суть которой заключается в том, что увеличение силы прижатия щетки приведет к ускоренному износу ворса щетки. Окончательно правомерность этого вывода будет подтверждена в результате эксплуатационных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.С., Беляев Н.В., Беляев В.В. Система автоматизации эскизного проектирования автогрейдера: монография / В.С. Щербаков, Н.В. Беляев, В.В. Беляев. Омск: СибАДИ, 2009. 133 с.

2. Щербаков В.С., Беляев Н.В., Скуба П.Ю., Автоматизация проектирования планировочных машин на базе колесных тракторов: монография / В.С. Щербаков, Н.В. Беляев, П.Ю. Скуба. Омск: СибАДИ, 2013. 125 с.

3. Щербаков В.С., Руппель А.А., Лазута И.В., Милюшенко С.А. Моделирование землеройно-транспортных машин в среде MATLAB-SIMULINK: методические указания к выполнению лабораторных работ / В.С. Щербаков., А.А. Руппель, И.В. Лазута, С.А. Милюшенко. Омск: СибАДИ, 2010. 41 с.

4. Харченко М.А., Корреляционный анализ: учебное пособие для вузов / М.А. Харченко. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. 31 с.

5. Ершов В.И., Барахтанов Л.В., Вероятностные характеристики микропрофиля пересеченной местности / В.И. Ершов, Л.В. Барахтанов. М: Машиностроение. 1971. №4. 117–119 с.

6. Афанасьев В.Л. Статические характеристики микропрофилей автомобильных дорог и колебаний автомобиля / В.Л. Афанасьев, А.А. Хачарутов. Автомобильная промышленность. 1996. № 2. 21-23 с.

7. Щербаков В.С., Руппель А.А., Глушец В.А. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электрических систем в среде MATLAB Simulink: учебное пособие / В.С. Щербаков, А.А. Руппель, В.А. Глушец. Омск: СибАДИ, 2003. 160 с.

8. Щербаков В.С., Руппель А.А., Основы моделирования систем автоматического регулирования и электрических систем в среде MATLAB, Simulink: учебное пособие / В.С. Щербаков, А.А. Руппель. Омск: Изд-во РИО Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 2006. 168 с.

9. Щербаков В.С., Составление структурных схем землеройно-транспортных машин как объектов автоматизации: учебное пособие / В.С. Щербаков. Омск: СибАДИ, 2001. 47 с.

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

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

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

13. Адлер Ю.П., Введение в планирование эксперимента: учебное пособие / Ю.П. Адлер. М: Металлургия, 1968. 155 с.

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

15. Баловнев В.И. Обработка и планирование эксперимента при исследовании дорожных машин: учебное пособие / В.И. Баловнев, Ю.В. Завадский, В.Ю. Мануйлов М.: МАДИ, 1983. 59 с.

16. Ермаков С.М., Бродский В.З., Жиглявский А.А. Математическая теория планирования эксперимента: учебное пособие / С.М. Ермаков, В.З. Бродский, А.А. Жиглявский. М.: Физматлит, 1983. 392 с.

17. Любченко Е.А., Планирование и организация эксперимента: учебное пособие/ Е.А. Любченко, О.А. Чуднова. Владивосток: Издательство ТГЭУ, 2010. 156 с.

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

19. Останин А.Н., Тюленев В.П., Романов А.В., Петровский А.А., Применение математических методов и ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента: учебное пособие / А.Н. Останин, В.П. Тюленев, А.В. Романов, А.А. Петровский. Минск: Вышэйшая школа, 1989. 218 с.

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

21. Спирин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 257 с.

22. Корчагин П.А., Реброва И.А., Тетерина И.А. Определение параметров, влияющих на функционирование системы виброзащиты оператора дорожной уборочно-подметальной машины // Известия ТулГУ. Технические науки. №3. 2016. С. 249–255.

23. Тетерина И.А. Модель взаимодействия ЩРО с обрабатываемой поверхностью / И.А. Тетерина, А.Б. Летопольский // Наука XXI века: открытия, инновации, технологии: Международная научно-практическая заочная

конференция. – Смоленск: НОВОЛЕНСО, 2016. С. 73–75.

24. Корчагин П.А. Динамическое воздействие на оператора одноковшового экскаватора Текст. / П.А. Корчагин // Строительные и дорожные машины. 2007. №2. С. 36–37.

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

26. Реброва И.А., Планирование эксперимента: учебное пособие / И.А. Реброва. Омск: СибАДИ, 2010. 106 с.

27. Алексеева Т.В., Математическое моделирование элементов гидроприводов строительных и дорожных машин: методические указания/ Т.В.Алексеева, В.С.Щербаков, Б.П.Воловиков. Омск: СибАДИ, 1986. 34 с.

IMPROVEMENT OF THE MUNICIPAL MACHINE'S CONTROLLING SYSTEM

S.I. Zachos

ABSTRACT

Introduction. *The article is devoted to the urgent problem of increasing the operational resource of brushing working equipment and improving the quality of cleaning. The research considers factors which could affect the intensity of the brush working element wearout and, accordingly, the economic losses.*
Materials and methods. *To represent the connections between the subsystems participating in the working process, the block diagram of the communal machine's working process is developed,which include the following components : base machine, working equipment, running gear, hydraulic drive, road surface, so this diagram reflects the influence of the microrelief unevenness on the vertical coordinate of the working machine body. In addition, the mathematical model of the interaction process of the microrelief with running and working equipment is presented. Simulation is carried out with the help of the software product MATLAB with the Simulink extension. The unevenness of the microrelief of the roadway is described by recurrent equations, also the correlation functions of the random process are specified.*
Results. *As a result of the simulation, static and dynamic dependencies of the front and rear axes movement of the base machine, the displacement of the brush body's axis center from the changing coordinates of the microrelief are established. Similarly,the results of the experiment confirmed the adequacy of the mathematical model of the microrelief's interaction with the running and working equipment are demonstrated in the research.*
Discussion and conclusion. *It is concluded that due to the change in the vertical coordinate of the roadway, the pressure on the brush also changes and leads to the change in the frictional force pile on the roadway. Therefore, when the brush hits different obstacles the wearout of the brush increases.*
With a negative change in the vertical coordinate of the road, the quality of cleaning process is reduced. As can be seen,the hydraulic control system of the communal machine is designed to regulate the position in the vertical plane of the working machine body due to the road and to ensure the optimum value of the clamping force, which would increase the reliability and service of the brush.

KEYWORDS: *brushwork body, running equipment, interaction with the microrelief, communal machine, stepped irregularity, road wear.*

REFERENCES

1. Shcherbakov V.S., Belyaev N. In. Belyaev V.V. *Sistema-avtomatizacii-ehskiznogo-proektirovaniya-avtogrejdera* [The System of automation of conceptual design of motor grader]. Omsk, SibADI, 2009. 133 p.

2. Shcherbakov V.S., Belyaev N. In. Scuba P.Yu. *Avtomatizaciya-proektirovaniya-planirovochnyh-mashin-na-baze-kolesnyh-traktorov* [Computer-aided design planning of machines on the basis of wheel tractors]. Omsk, SibADI, 2013. 125 p.

3. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A., Lasota I.V., MalyshenkoS. A. *Modelirovanie-zemlerojno-transportnyh-mashin-v-srede- MATLAB-SIMULINK* [Modeling of earth-moving machines in the MATLAB-SIMULINK]. Omsk, SibADI, 2010. 41 p.

4. Kharchenko, M.A. *Korrelyacionnyj-analiz* [Correlation analysis: a textbook for high schools]. Voronezh,VSU, 2008. 31 p.

5. Ershov V.I., Barakhtanov L.V. Eroyatnostnye-harakteristiki-mikroprofilya-peresechennoj-mestnosti [The Probability characteristics of the white-rough terrain]. Moscow, *Mechanical Engineering,* 1971. pp.117-119

6. Afanas'ev V.L. Staticheskie harakteristiki mikroprofile avtomobil'nyh dorog i kolebanij avtomobilya [Static characteristics of micro roads and automobile vibrations]. *Automotive industry*, 1996, no. 2, pp. 21-23.

7. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A. Glushets V.A. *Osnovy-modelirovaniya-sistem-avtomaticheskogo-regulirovaniya-i-ehlektricheskih-sistem-v-srede-MATLAB-simulink* [The fundamentals of simulation of automatic control systems and electrical systems in MATLAB Simulink]. Omsk, SibADI, 2003. 160 p.

8. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A. *Osnovy-modelirovaniya-sistem-avtomaticheskogo-regulirovaniya-i-ehlektricheskih-sistem-v-srede-matlab-simulink* [Fundamentals of simulation of automatic control systems and electrical systems in MATLAB, Simulink: textbook]. Omsk, RIO Russian correspondence Institute of textile and light industry, 2006. 168 p.

9. Shcherbakov V.S. *Sostavlenie-strukturnyh-skhem-zemlerojno-transportnyh-mashin-kak-obektov-avtomatizacii*

[Preparation of structural schemes of earthmovers as automation objects]. Omsk, SibADI, 2001. 47 p.

10. Korchagin P.A. Matematicheskaya model' dinamicheskoj sistemy [Mathematical model of dynamical system]. *Vestnik SibADI,* 2013, no. 4, pp. 91-95.

11. Korchagin P.A. Matematicheskaya model' slozhnoj dinamicheskoj sistemy "vozmushchayushchie vozdejstviya - mashina- operator" [Mathematical model of a complex dynamic system "disturbing effects - machine-operator"]. *Vestnik SibADI,* no. 5, 2015, pp.118-123.

12. Teterina I.A. *Model' processa vzaimodejstviya ehlementov hodovogo oborudovaniya dorozhnoj uborochno-podmetal'noj mashiny s nerovnostyami mikrorel'efa* [Model of the process of interaction between the elements of running equipment of a road sweeper and the unevenness of the microrelief]. Vologda: Marker, 2016. 37-38 p.

13. Adler Yu. P. *Vvedenie-v-planirovanie-ehksperimenta* [Introduction to planning of experiments]. Moscow, Metallurgy, 1968. 155 p.

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

15. Balovnev V.I. *Obrabotka-i-planirovanie-ehksperimenta-pri-issledovanii-dorozhnyh-mashin* [Processing and planning of experiment in the study of road machines]. Moscow, MADI, 1983. 59 p.

16. Yermakov S.M., Brodskiy V.Z., Zhigljavsky A. A. *Matematicheskaya-teoriya-planirovaniya-ehksperimenta* [Mathematical theory of experiment planning]. Moscow, Fizmatlit, 1983. 392 p.

17. Lyubchenko, E.A., *Planirovanie-i-organizaciya-ehksperimenta* [Planning and organization of the experiment]. Vladivostok, TGEU, 2010. 156 p.

18. Nalimov V.V. *Teoriya-ehksperimenta* [Theory of experiment].Moscow, Nauka, 1971. 260 p.

19. Ostanin A. N., Tyulenev V.P., Romanov A.V., Petrovsky A.A. *Primenenie-matematicheskih-metodov-i-ehvm-planirovanie-i-obrabotka-rezultatov-ehksperimenta* [Application of mathematical methods and computers. Planning and processing of experiment results]. Minsk, Vysheishaya SHKOLA, 1989. 218 p.

20. Panenko V.V. *Matematicheskie-metody-planirovaniya-ehksperimenta* [Mathematical methods of experiment planning]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 257 p.

21. Spirin N.A. Lavrov, V.V. *Metody-planirovaniya-i-obrabotki-rezultatov-inzhenernogo-ehksperimenta* [Methods of planning and processing of results of engineering experiments]. Yekaterinburg, GOU VPO UGTU-UPI, 2004. 257 p.

22. Korchagin P.A., Rebrova I.A., Teterina I.A. Opredelenie parametrov, vliyayushchih na funkcionirovanie sistemy vibrozashchity operatora dorozhnoj uborochno-podmetal'noj mashiny [Determination of the parameters influencing the functioning of the vibration protection system of the road sweeper operator]. *Proceedings of Tula State University. Technical science*, 2016, no.3, pp. 249-255.

23. Teterina I.A. *Model' vzaimodejstviya SHCHRO s obrabatyvaemoj poverhnost'yu* [The model of the interaction of the SSR with the surface being treated]. Smolensk: NOVOLENSO, 2016. pp.73-75.

24. Korchagin P.A. Dinamicheskoe vozdejstvie na operatora odnokovshovogo ehkskavatora [Dynamic impact on the operator of a single bucket excavator]. *Construction and road machines*, 2007, no. 2, pp.36-37.

25. Johnson N. *Statistika-i-planirovanie-ehksperimenta-v-tekhnike-i-nauke* [Statistics and experiment planning in technology and science: methods of data processing]. Moscow, Mir, 1980. 595 p.

26. Rebrov A. I. *Planirovanie-ehksperimenta* [Design of experiments]. Omsk, SibADI, 2010. 106 p.

27. Alekseeva T. V. *Matematicheskoe-modelirovanie-ehlementov-gidroprivodov-stroitelnyh-i-dorozhnyh-mashin* [Mathematical modeling of elements of hydraulic drives of building and road machines]. Omsk, SibADI, 1986. 34 p.

Поступила 16.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Цехош София Ивановна (Россия, г. Омск) – аспирантка кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО "СибАДИ" (644080 г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: tsehosh.lyubov@yandex.ru).

Zachos Sofia Ivanovna (Russia, Omsk) – graduate student of the Department "Automation of Production Processes and Electrical engineering" (644080, Omsk, 5 Mira Ave., e-mail: tsehosh.lyubov@yandex.ru).