

## РАЗДЕЛ II

# ТРАНСПОРТ

УДК 625.76

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПИТАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ

Д.С. Алешков, Н.Ю. Аюпова

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия «СибАДИ», Омск, Россия

**Аннотация.** В статье представлена методика проведения экспериментальных исследований движения снежной частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя. Также приведены результаты экспериментальных исследований траектории движения частицы в физической модели питателя фрезерно-роторного снегоочистителя, на основании которых были получены уравнения регрессии, описывающие движение частицы в питателе по заданным параметрам. Проведено сравнение полученных результатов с результатами имитационного эксперимента, на основании которого делается вывод об адекватности математической модели.

**Ключевые слова:** фрезерно-роторный снегоочиститель, экспериментальные исследования, уравнения регрессии.

#### Введение

Наряду с математическими моделями при проектировании технических систем широко применяются физические модели. Математические модели позволяют осуществлять имитационное моделирование процессов функционирования технических систем во времени, анализировать кинематические характеристики, определять действующие величины сил и их изменения во времени [1, 2].

Обычно математические модели технических систем представляют собой системы нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка. Однократное решение та-

кой системы на ЭВМ требует значительных временных затрат, при этом единственным способом проверить адекватность математической модели и результатов ее решения является использование реального объекта или его физической модели, которая может быть построена на основе проведения экспериментов непосредственно на самом физическом объекте [3, 4].

Для проверки работоспособности предлагаемой математической модели работы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя (рис. 1) были проведены экспериментальные исследования.



Рис. 1. Питатель фрезерно-роторного снегоочистителя

### Проведение эксперимента и определение уравнения регрессии

В результате предыдущих исследований была составлена математическая модель и в результате ее численного решения на ЭВМ получены траектории движения снежных частиц в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя, изменение вектора абсолютной скорости снежной частицы и сил, действующих на снежную частицу в питателе [5, 6, 7, 8].

В данной статье описан однофакторный эксперимент, проведенный на масштабной физической модели, в качестве которой использовалась модель фрезерно-роторного снегоочистителя, коэффициент подобия данной физической модели составляет  $k = 1$ .

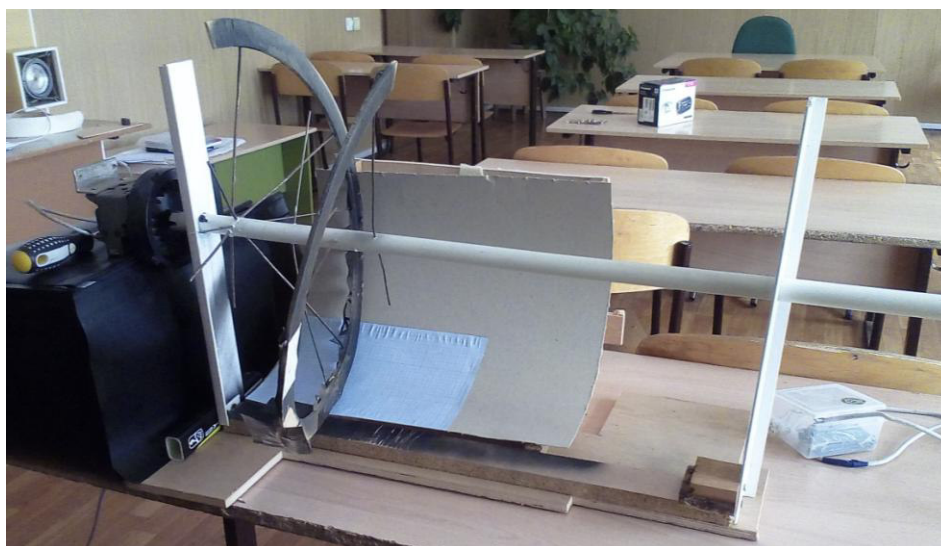


Рис. 2. Исследуемая физическая модель питателя фрезерно-роторного снегоочистителя

Варьируемыми параметрами являлась угловая скорость вращения фрезы, величина которой принимала следующие значения: 8, 10 и  $15 \text{ с}^{-1}$ .

В результате планирования однофакторного эксперимента было установлено минимально необходимое количество опытов, необходимых для подтверждения адекватности математической модели [4], их количество составило  $2^n + 2n + 1 = 5$ . В каждом случае было проведено по 6 испытаний.

Суть эксперимента заключалась в следующем:

(рис. 2) [2, 9]. Радиус ротора, скорость снегоочистителя, коэффициент трения снежной частицы о поверхность отвала, коэффициент трения снежной частицы о ленту фрезы, угол захода ленты фрезы являлись фиксированными параметрами. Использовались следующие значения фиксированных параметров:

- радиус фрезы 0,21 м;
- угол захода ленты фрезы  $12^\circ$ ;
- диаметр транспортируемого тела 0,022 м;
- коэффициент трения тела по поверхности отвала 0,26;
- коэффициент трения тела по поверхности ленте фрезы 0,26.

- сферическая частица, диаметром 0,022 м, из полимерного материала с коэффициентом внешнего трения, 0,26, из состояния покоя,  $v = 0$ , под действием фрезы совершала движение в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя;

- фиксировалась траектория движения частицы на расстоянии, равном шагу ленты фрезы, посредством видеосъемки на видеокамеру Panasonic HC-V130. Технические характеристики которой, представлены в таблице 1;

## ТРАНСПОРТ

Таблица 1 – Технические характеристики средства видеорегистрации

Формат видеозаписи: [AVCHD] совместимый с форматом AVCHD версии 2.0
[iFrame], [MP4] совместимый с форматом файлов MPEG-4 AVC (MP4)
Сжатие видео: MPEG-4 AVC/H.264
Рабочая температура: 0 °С до 40 °С
Рабочая влажность: 10 % RH до 80 % RH

- полученное видеоизображение движения частицы преобразовывалось в отдельные видеокдры в программе Windows Mov Maker;

- масштабный коэффициент определялся как отношение размера частицы на видеоизображении, к ее реальному физическому размеру. Величина масштабного коэффициента составила 0,455, в введенной системе координат OXY, где ось OY совпадает с осью вращения фрезы, а ось OX находится в горизонтальной плоскости и направлена в сторону отвала питателя.

- по полученным кадрам осуществлялось определение скоростей движения частицы и угловая скорость вращения фрезы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя. Для этого по известной величине скорости съемки, которая составляла 26 кадр/с, брались с

заданным шагом соседние кадры съемки и делились на величину скорости съемки, таким образом, определялись интервалы движения. Затем сравнением положения частицы на соседних кадрах определялось расстояние, пройденное частицей, после произведения полученного расстояния на масштабный коэффициент, определялось реальное расстояние, пройденное частицей за исследуемый интервал времени;

- отношение определенного расстояния на интервал времени давало скорость движения частицы за исследуемый интервал времени.

На рис. 3, 4, 5 представлены траектории движения частицы, полученные в результате проведенного эксперимента и в результате расчета на ЭВМ математической модели с теми же данными.

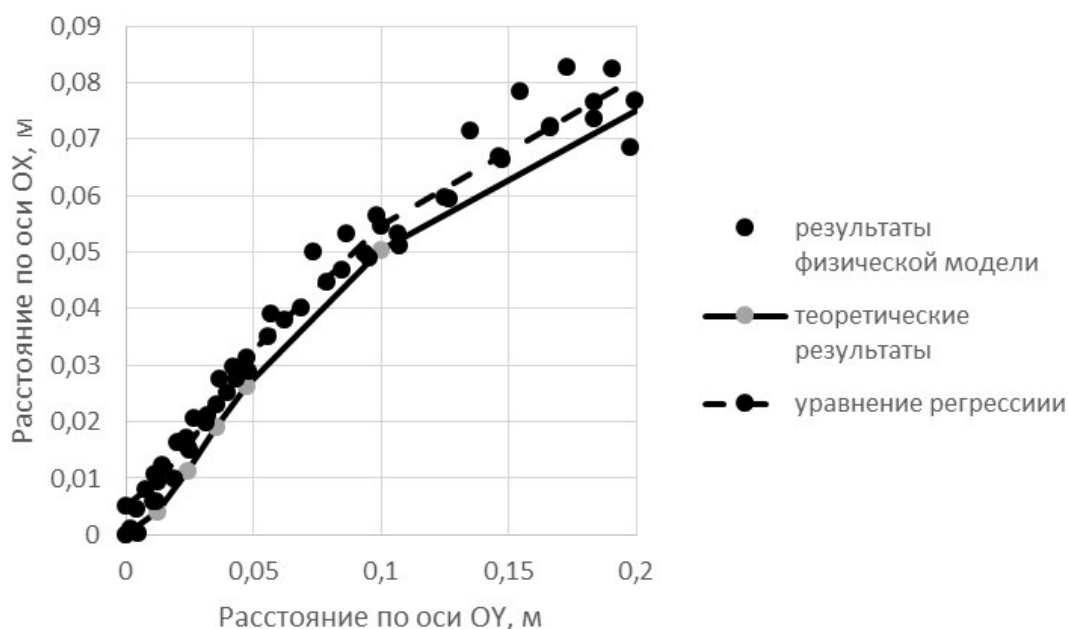


Рис. 3. Траектория движения частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя при угловой скорости вращения фрезы  $8 \text{ с}^{-1}$ .

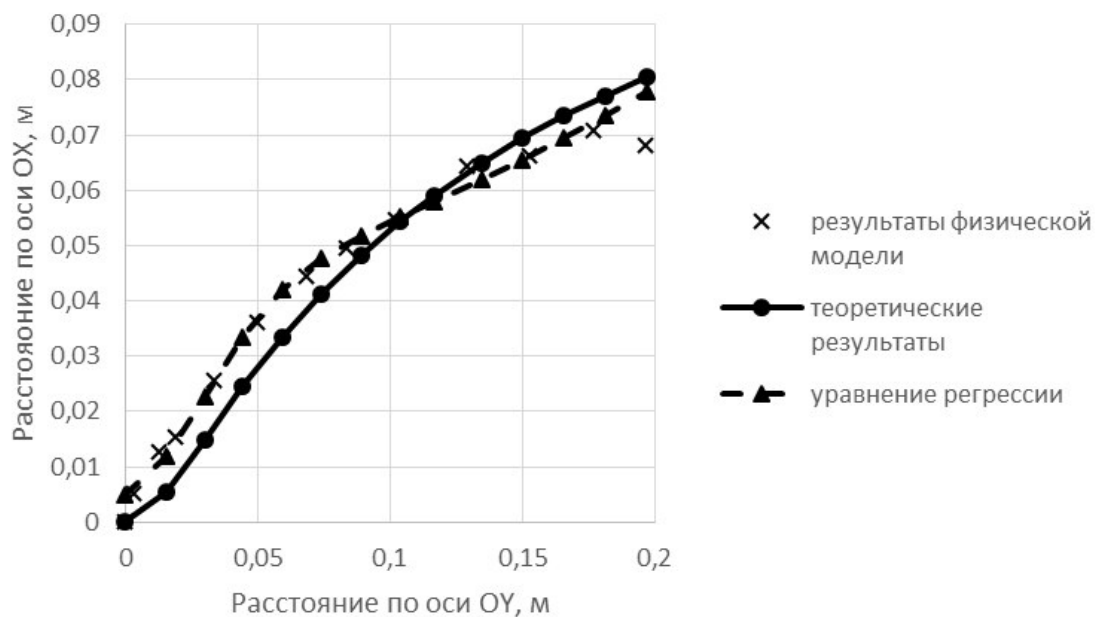


Рис. 4. Траектория движения частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя при угловой скорости вращения фрезы  $10 \text{ с}^{-1}$ .

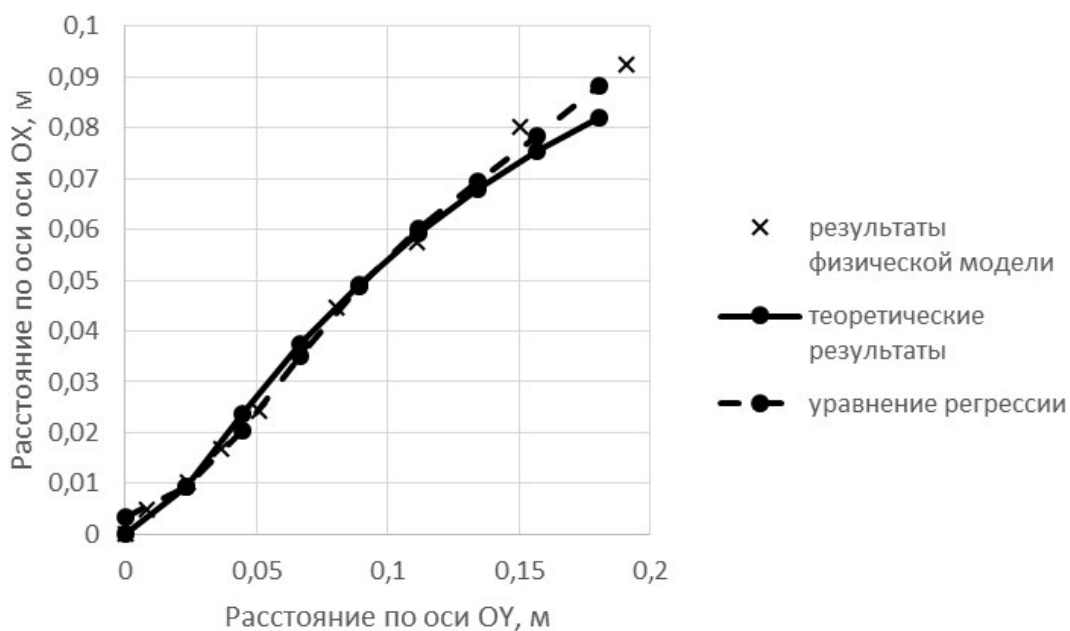


Рис. 5. Траектория движения частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя при угловой скорости вращения фрезы  $15 \text{ с}^{-1}$ .

Уравнения регрессии по полученным экспериментальным данным при заданных фиксированных параметрах определялись с помощью программного продукта Statistica [1, 4]. Уравнения регрессии, определяющие горизонтальную проекцию траектории движения частицы в питателе имеет вид:

$X = \exp((-5,14) + (59,49) * y) / (1 + \exp((-1,89) + (55,81) * y))$ , для угловой скорости вращения фрезы питателя  $8 \text{ с}^{-1}$ ;

$X = \exp((-5,18) + (71,48) * y) / (1 + \exp((-1,91) + (67,85) * y))$ , для угловой скорости вращения фрезы питателя  $10 \text{ с}^{-1}$ ;

$X = \exp((-5,57) + (50,39) * y) / (1 + \exp((-2,29) + (45,59) * y))$ , для угловой скорости вращения фрезы питателя  $15 \text{ с}^{-1}$ .

Максимальное абсолютное отклонение составило: 0,0057, 0,0106, 0,03 м, для угловых скоростей вращения фрезы питателя 8, 10 и  $15 \text{ с}^{-1}$ , соответственно. Относительное отклонение траектории движения частицы в эксперименте и траектории движения, полученной в результате решения математической модели, составило: 12, 11, 12%, для угловых скоростей вращения фрезы питателя 8, 10 и  $15 \text{ с}^{-1}$ , соответственно.

#### Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о соответствии результатов полученных в результате имитационного моделирования математической модели на ЭВМ и экспериментальных результатов, полученных на физической модели питателя фрезерно-роторного очистителя, и соответственно, адекватности предлагаемой математической модели.

#### Библиографический список

1. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : учеб. пособие для вузов / В. И. Баловнев. - 2-е изд., перераб. - М. : Машиностроение, 1994. - 432 с.
2. Щербаков, В. С. Оптимизация конструктивных параметров гидравлических рулевых механизмов строительных и дорожных машин / В. С. Щербаков, А. В. Жданов. - Омск : СибАДИ, 2010. - 176 с.
3. Закиров, М. Ф. Определение оптимальной скорости перемещения шнекороторного снегоочистителя методом анализа четвертой координаты рабочего процесса / М. Ф. Закиров // Интерстроймех-2015 : материалы международной научно-технической конференции. Казань, 09-11 сент. 2015 г. / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. - Казань, 2015. - С. 98-102.
4. Портнова, А. А. Результаты экспериментальных исследований физической модели автогрейдера

/ А. А. Портнова, Е. Д. Комаров // Вестник СибАДИ. - 2013. - № 6 (34). - С. 87-91.

1. Алешков, Д. С. Нелинейная множественная регрессия показателей рабочего процесса фрезы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя [Электронный ресурс] / Д. С. Алешков, Н. Ю. Аюпова // Техника и технологии строительства / СибАДИ. - Омск : СибАДИ, 2015. - № 3 (3). - С. 6-10. - Режим доступа : [http://lib.sibadi.org/pdfjs/?url=/wpcontent/files\\_mf/1461662732ESD74.pdf&post\\_id=8942](http://lib.sibadi.org/pdfjs/?url=/wpcontent/files_mf/1461662732ESD74.pdf&post_id=8942). - Дата обращения : 13.09.2016.

5. Алешков, Д. С. Влияние кинематических характеристик питателя и базовой машины фрезерно-роторного снегоочистителя на процесс отделения стружки / Д. С. Алешков, Н. Ю. Урсова // Вестник Сибирской автомобильно-дорожной академии. - Омск : СибАДИ, 2012. - Вып. 5 (27). - С. 7-10.

6. Алешков, Д. С. Математическое описание работы фрезы питателя / Д. С. Алешков, Н. Ю. Урсова // Инновации и исследования в транспортном комплексе : материалы первой Международ. науч.-практ. конф. 23-24 мая 2013 г. / УрГУПС, КИЖТ. - Курган, 2013. - С. 6-9.

7. Аюпова, Н. Ю. Определение критерия эффективности работы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя / Н. Ю. Аюпова // Инновации и исследования в транспортном комплексе : материалы III Международной науч.-практ. конф. 4-5 июня 2015 г. : в 2-х ч. / УрГУПС, КИЖТ. - Курган, 2015. - Ч. 1. - С. 32-35.

8. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. - Минск : Изд-во БГУ, 1982. - 302 с.

#### RESULTS OF PILOT STUDIES OF PHYSICAL MODEL OF A FEEDER OF A MILLING AND ROTOR SNOWPLOW

D.S. Aleshkov, N.Y. Ayupova

**Abstract.** The technique of conducting pilot studies of the movement of a snow particle in a feeder of a milling and rotor snowplow is presented in article. Results of pilot studies of a trajectory of the movement of a particle are also given in physical model of a feeder of a milling and rotor snowplow and their comparison with results of an imitating experiment on the basis of which the conclusion about adequacy of mathematical model is drawn.

**Keywords:** snow cutter blower; pilot studies, regression equations.

#### References

1. Balovnev, V. I. Modeling of processes of interaction with the circle of workers of bodies of roadway construction equipments: studies. benefit for higher education institutions / V. I. Balovnev. - 2nd

prod., reslave. – M.: Mechanical engineering, 1994. – 432 pages.

2. Scherbakov, V. S. Optimization of design data of hydraulic steering mechanisms of construction and road machines / V. S. Scherbakov, A. V. Zhdanov. – Omsk: SIBADI, 2010. – 176 pages.

3. Zakirov, M. F. Determination of optimum speed of movement of a shnekorotorny snowplow by method of the analysis of the fourth coordinate of working process / M. F. Zakirov//Interstroy Mekh-2015: materials of the international scientific and technical conference. Kazan, 09-11 Saint. 2015 / Kazan state architectural and construction university. – Kazan, 2015. – Page 98-102.

4. Portnova, A. A. Results of pilot studies of physical model of an autograder / A. A. Portnova, E. D. Komarov//Messenger of SIBADI. - 2013. - No. 6 (34). - Page 87-91.

5. Aleshkov, D. S. Nonlinear multiple regression of indicators of working process of a mill of a feeder of a milling and rotor snowplow [An electronic resource] / D. S. Aleshkov, N. Y. Ayupova//Technician and technology of a construction / SIBADI. – Omsk: SIBADI, 2015. - No. 3 (3). – Page 6-10. - Access mode:

[http://lib.sibadi.org/pdfjs/?url=/wpcontent/files\\_mf/1461662732ESD74.pdf&post\\_id=8942](http://lib.sibadi.org/pdfjs/?url=/wpcontent/files_mf/1461662732ESD74.pdf&post_id=8942). – Date of the address: 13.09.2016.

6. Aleshkov, D. S. Influence of kinematic characteristics of a feeder and basic machine of a milling and rotor snowplow on process of department of shaving / D. S. Aleshkov, N. Y. Urusova//Messenger of the Siberian automobile and road academy. – Omsk: SIBADI, 2012. – Issue 5 (27). – Page 7-10.

7. Aleshkov, D. S. The mathematical description of work of a mill of a feeder / D. S. Aleshkov, N. Y. Urusova//Innovations and researches in a transport

complex: materials of the first Mezhdunar. науч. - практ. конф. On May 23-24, 2013 / URGUPS, KIZhT. - Barrow, 2013. - Page 6-9.

8. Ayupova, N. Y. Determination of criterion of overall performance of a feeder of a milling and rotor snowplow / N. Y. Ayupova//Innovations and researches in a transport complex: materials III International науч. - практ. конф. June 4-5, 2015: in 2 h / URGUPS, KIZhT. – Barrow, 2015. – P.1. - Page 32-35.

9. Krasovsky, G. I. Planning of an experiment / G. I. Krasovsky, G.F. Filaretov. – Minsk: BGU publishing house, 1982. – 302 pages.

Алешков Денис Сергеевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080. г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kaf\_bzhd@sibadi.org).

Аюпова Наталья Юрьевна (Омск, Россия) – учебный мастер кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080. г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: urusova\_n@mail.ru).

Denis S. Aleshkov (Omsk, Russian Federation) – Candidate Technical Science, Head of the “Safety of Live Activity” Department, Sibirskaya State Automobile and Highway Academy «SibADI», (644080, Omsk, Mira av, 5, e-mail: kaf\_bzhd@sibadi.org).

Natalia Y. Ayupova (Omsk, Russian Federation) – Training Wizard of the “Safety of Live Activity” Department, Sibirskaya State Automobile and Highway Academy «SibADI», (644080, Omsk, Mira av, 5, e-mail: urusova\_n@mail.ru).

УДК 656:338.5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА НА ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Е.В. Будрина, А.С. Лебедева

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет информационных технологий, точной механики и оптики»

**Аннотация.** В статье представлен обзор и сравнительный анализ систем оплаты проезда (СОП) на общественном наземном городском транспорте крупных городов, определены преимущества и недостатки использования СОП различных видов, традиционных и инновационных, в том числе не получивших массового распространения; выявлены эволюционные особенности смены приоритетов в использовании современных систем оплаты проезда; выделены факторы, определяющие эволюцию СОП в соответствии с технологическими изменениями в транспортных системах городов; выделены и рекомендованы к внедрению в России наиболее перспективные