

**С. Б. Антошкин, С.В. Ковыришин, А.Я. Кравцов, М.А. Неганов**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЁМА НАСЫПНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация.** В данной статье представлена разработка алгоритма измерения объёма насыпных материалов с применением статистических методов в системе измерения. В работе изложены основные теоретические и практические принципы расчёта и измерения насыпных материалов. Приведены результаты проектирования системы и моделирования статистических методов для вычисления объёма, с использованием лидарной технологии. Эффективность применения системы измерения и её актуальность показана с экономической и технологической сторон. Разработаны алгоритмы вычисления, управления, сканирования.

**Ключевые слова:** алгоритм, объём, лидар, вычисление, аппроксимация, насыпные материалы, статистические методы, анализ данных.

**S. B. Antoshkin, S. V. Kovyryshin, A. Y. Kravtsov, M. A. Neganov**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN THE BULK MATERIAL VOLUME MEASUREMENT SYSTEM**

**Abstract.** This article presents the development of an algorithm for measuring the volume of bulk materials using statistical methods in the measurement system. The paper presents the basic theoretical and practical principles of calculation and measurement of bulk materials. The results of the system design and modeling of statistical methods for calculating the volume using lidar technology are presented. The effectiveness of the measurement system and its relevance are shown from the economic and technological sides. Algorithms for calculation, control, and scanning have been developed.

**Keywords:** algorithm, volume, lidar, calculation, approximation, bulk materials, statistical methods, data analysis.

### **Введение**

На производствах, а также при транспортных ж/д перевозках насыпных материалов в настоящее время актуальна задача измерения насыпного материала. Решение данной задачи позволяет определить количество оставшегося топлива (уголь) на складах на производстве, а при перевозке через ж/д возможна оценить массу груза не прибегая к сложным системам. Также данная система разрабатывается с возможностью оценки уровня насыпи железнодорожных путей.

Задача предполагает следующее: спроектировать систему измерения и получения данных, разработать алгоритм обработки данных, а также алгоритмы вычислений, определить точность измерений, время работы системы, её эффективность.

Для проектирования системы за основу была взята лидарная технология, с помощью которой возможно провести измерения с большей точностью.

### **Актуальность и анализ литературы**

Актуальность получена и подтверждена из таких публикаций как: «Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова» [1] показывает инновационные технологии для измерения объёма сыпучих складов, а также актуальность применения таких технологий и их технико-экономических обоснований. О важности измерения объёма и веса насыпного груза в вагонах на ж/д путях было сказано в журналах «Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта» [2] и «Современные технологии. Транспорт. Энергетика. Строительство. Экономика и управление» [3]. В работе [2] показаны основные концепции решения задачи измерения веса груза/вагона при

использовании вагонных весов и их недостатки, такие как время затраченное на измерение и прохождение вагона по весам. Анализ из работы [3] показывает важность быстрого и доступного для станций метода измерений груза. Информация о текущем объёме насыпных материалов может позволить значительно оптимизировать работу грузоподъёмных машин [8] и применять «продвинутые» алгоритмы управления [9]. При рассмотрении основных причин аварийных ситуаций, включая сход железнодорожного состава описанных в работе [4] показывает проблему в контроле уровня ж/д полотна, с уменьшением человеческого фактора. Для решения конкретных задач по каждой вышеописанной проблеме было решено спроектировать мобильную систему, которая должна быть выгодна в технико-экономическом плане, неприхотлива к работе, а также отличаться эффективностью измерения. За основу данной системы была взята лидарная технология с помощью, которой будут производиться измерения в работе [5] описаны основные преимущества работы с лидарной технологией. Для вычисления и анализа данных необходимо создание алгоритмов построенных на базе математических методов описанных в [6] и [7].

Зададим упрощённую модель измерения рис. 1 общего вида и рис. 2 в поперечном сечении.

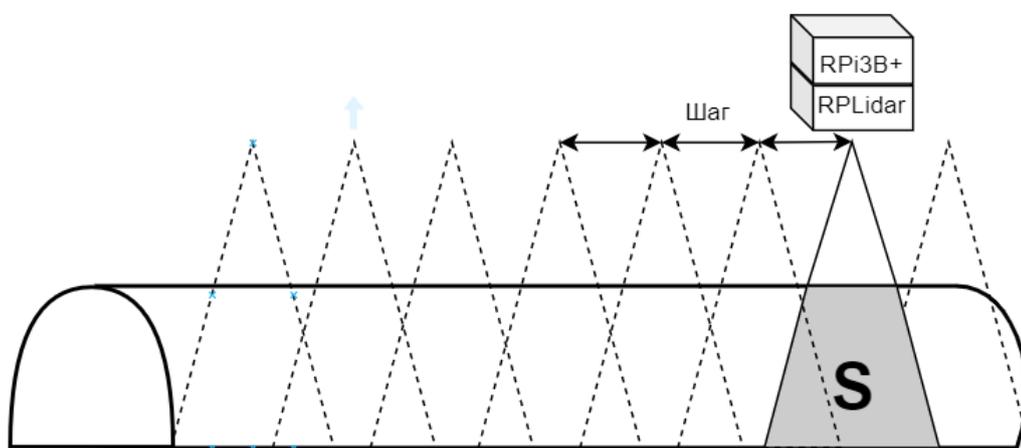


Рис. 1 - Общий вид

Для вычисления и анализа данных будет использоваться следующая схема, есть некая продольная насыпь, которая сканируется лидаром, после сканирования через определённый шаг получаем срез, у которого находим площадь, после прохождения всей насыпи у нас появляется n-срезов, чьи данные мы также обрабатываем и получаем полноценный объём.

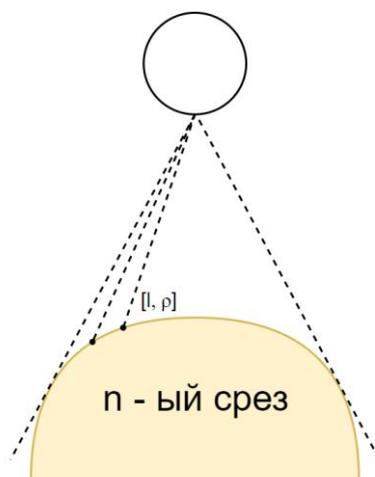


Рис. 2 - Вид в поперечном сечении

Суть измерения в определении крайних точек лазером и получение их координат сначала в полярной системе, затем переводом в декартову систему координат. После чего обработка данных и вычисление площади среза.

### Постановка цели и задач исследования

Цель, сформулируем как проектирование системы измерения насыпных материалов с помощью статистических методов. Для её достижения необходимо реализовать решение следующих задач:

- создание программы и её алгоритма для измерения и сканирования материала;
- разработать алгоритмы вычисления статическими и численными методами;
- определить значение начальных координат в полярной системе координат в декартову с учётом инверсии;
- формирование зависимостей, функций, отношений под требования.
- сформировать модель вычислений с понятным представлением.

### Описание алгоритма вычисления

#### Обработка данных

В лидаре используется полярная система координат рис. 3 - для вычисления нужно перевести в декартову систему координат. Необходимо также учесть, что начало координат будет соответствовать положению самого лидара, поэтому нужно инвертировать данную систему координат.

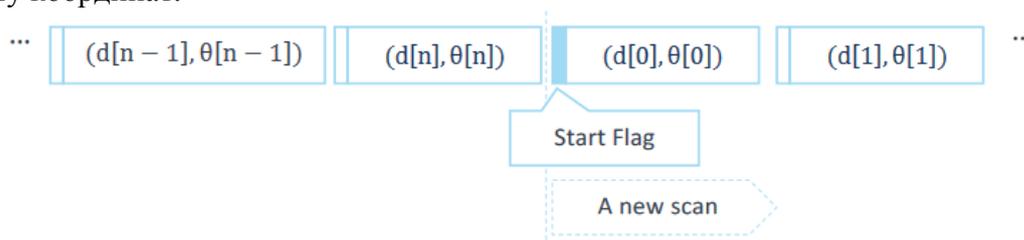


Рис. 3 - Выходные данные с RPLidar A2

Разработка алгоритма обработки данных представлена на рис. 4, а его программное исполнение на рис. 5



Рис. 4 - алгоритм обработки данных

```

import math as m
import numpy as np
import pandas as pd
x=pd.read_excel(r"C:\Users\comma\Desktop\python\angles.xlsx")
x=np.load('numpy.npy')
b=np.zeros_like(x)
print(x)
n=0
for slice_2d in x:
    for slice_1d in x:
        if slice_2d[n,1]<=90:
            b=(slice_2d[n,0]*m.sin(m.radians(slice_2d[n,1])))
            print('{:04.4f}'.format(b))
        else:
            b=slice_2d[n,0]*m.sin(m.radians(slice_2d[n,1]-90))
            print('{:04.4f}'.format(slice_2d[n,0]*m.sin(m.radians(slice_2d[n,1]-90)))
            n+=1
    print(n)
    n=0
df = pd.DataFrame (b)
filepath = 'Data_1.xlsx'
df.to_excel(filepath, index=False)

```

Рис. 5 - Программная реализация алгоритма

После обработки данных запускается основной алгоритм вычислений рис. 6

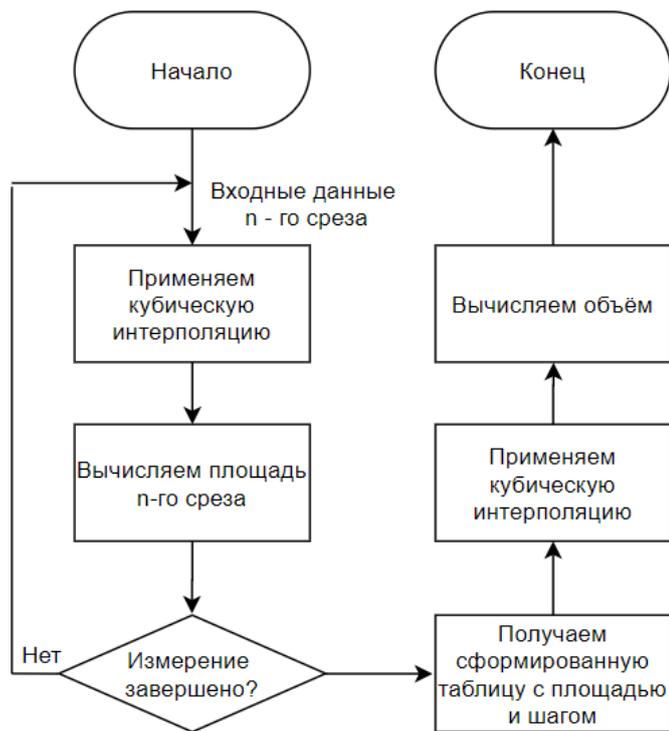


Рис. 6 - алгоритм вычислений

Далее были разработаны два варианта вычисления площади первый с помощью интегрирования и второй с помощью метода Монте-Карло.

При вычислении с помощью интегрирования программный код будет следующим

```

import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.integrate import simps
from scipy import interpolate
import matplotlib.pyplot as plt
from numpy import random
import time
start_time = time.time()
#Чтение из файла xlsx и запись значений x, y
file_name = 'data_mod.xlsx'
data = pd.read_excel(io= file_name)
x = data.iloc[:,0]
y = data.iloc[:,1]
#Кубическая интерполяция
f = interpolate.interp1d(x, y, kind = 'cubic')
x1 = np.linspace(0.1, 9.9, 200)
#Интегрирование, вычисление площади среза
area = simps(f(x1), dx=1/20)
print("--- %s second metod simpsona---" % (time.time()-start_time))
#Вывод данных
vol = f(x1)
print("Площадь")
print(area)
print("\n Таблица")
print(data)
#Вывод графика
plt.title("Функция площади")
plt.xlabel("абсцисса - передвижение")
plt.ylabel("ордината - значение высоты")
plt.plot(x, y, 'o', x1, vol, '-')
plt.show()

```

Рис. 7 - Программа вычисления площади среза

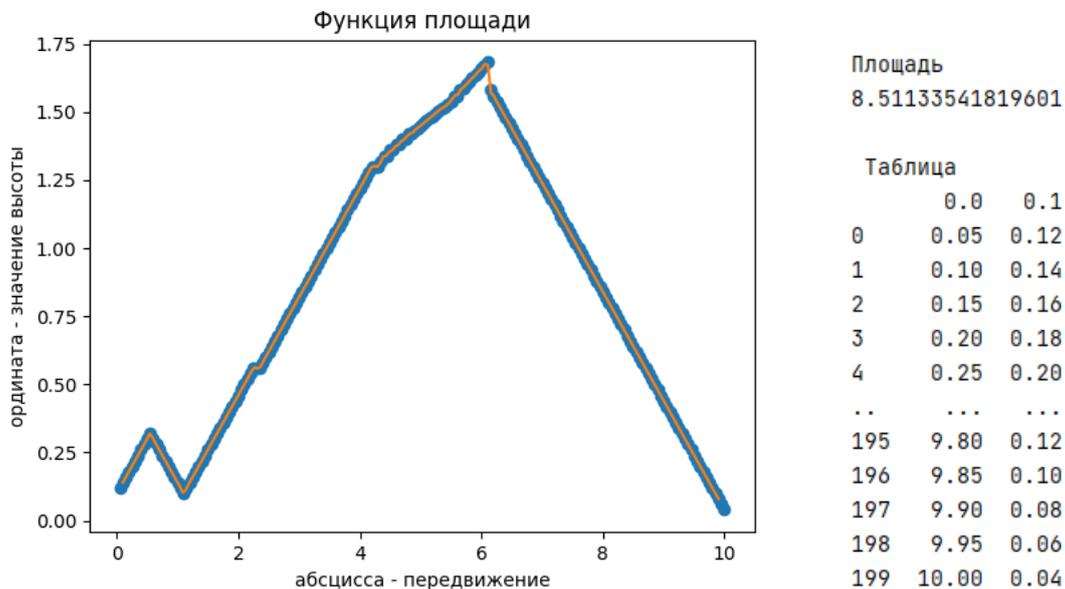


Рис. 8 - Полученная функция и вычисленная площадь по данным

Вычисление с помощью метода Монте-Карло заключается в следующем. Представим, у нас есть некоторая сложная фигура  $G$ , площадь которой мы хотим вычислить. Эту фигуру мы можем заключить в прямоугольник  $B$  определяемый координатами  $[X1, X2]$  x  $[Y1, Y2]$ . Далее в этот прямоугольник мы "бросаем" случайные числа из заданного массива  $[X, Y]$  и считаем сколько точек попало внутрь контура фигуры  $G$ . Далее, зная отношение числа точек, "упавших" в контур  $G$  к общему числу "брошенных" точек, и умножив это отношение на площадь простой фигуры  $B$ , мы получаем площадь сложной фигуры  $G$ .

Таким же образом мы могли бы находить интеграл от функции, поскольку он и определяет площадь под ней. Представим, мы знаем как выглядит функция, область интегрирования лежит в пределе от  $a$  до  $b$ , а максимум функции в указанном интервале равен  $m$ . Тогда аналогично, предыдущему рассмотрению, интеграл будет выражен через число "выброшенных" точек  $N$  и число упавших "под функцию"  $M$  как  $\frac{M}{N}m(b-a)$ .

Векторизованное решение может в простейшем случае выглядеть так:

```
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy import interpolate
import matplotlib.pyplot as plt
from numpy import random
import time
start_time = time.time()
#Чтение из файла xlsx и запись значений x, y
file_name = 'data_mod.xlsx'
data = pd.read_excel(io= file_name)
x = data.iloc[:,0]
y = data.iloc[:,1]
#ИКубическая интерполяция
f = interpolate.interpld(x, y, kind = 'cubic')
x1 = np.linspace(0.1, 9.9, 200)
#Реализация метода Монте-Карло при интегрировании
def MCint_area_vec(f, a, b, m, N):
    x = random.uniform(a, b, N)
    x_area = x
    y = random.uniform(0, m, N)
    y_area = y
    M = y[y < f(x)].size # в квадратных скобках условие,
                        # size считает число ему удовлетворяющих элементов
    area = M/float(N)*m*(b-a)
    return area

a = x[1]
b = x[199]
m = max(y.values) #поиск максимального значения
N = 10000
print(m)
area = MCint_area_vec(f, a, b, m, N)
y_area = MCint_area_y(f, a, b, m, N)
x_area = MCint_area_x(f, a, b, m, N)
print(" --- %s second metod Monte-Karlo--- " % (time.time()-start_time))
#Вывод данных
vol = f(x1)
print("Площадь")
print(area)
print("Кол-во точек")
print(N)
print("Кол-во точек под функцией")
print(MCint_area_M(f, a, b, m, N))
print("\n Таблица")
print(data)
#Вывод графика
plt.title("Функция площади")
plt.xlabel("абсцисса - передвижение")
plt.ylabel("ордината - значение высоты")
plt.scatter(x_area, y_area, s=0.8, alpha=1, c='r', linewidths=2)
plt.plot(x, y, 'o', x1, vol, '-')
plt.show()
```

Рис. 9 - программная реализация интегрирования под кривой

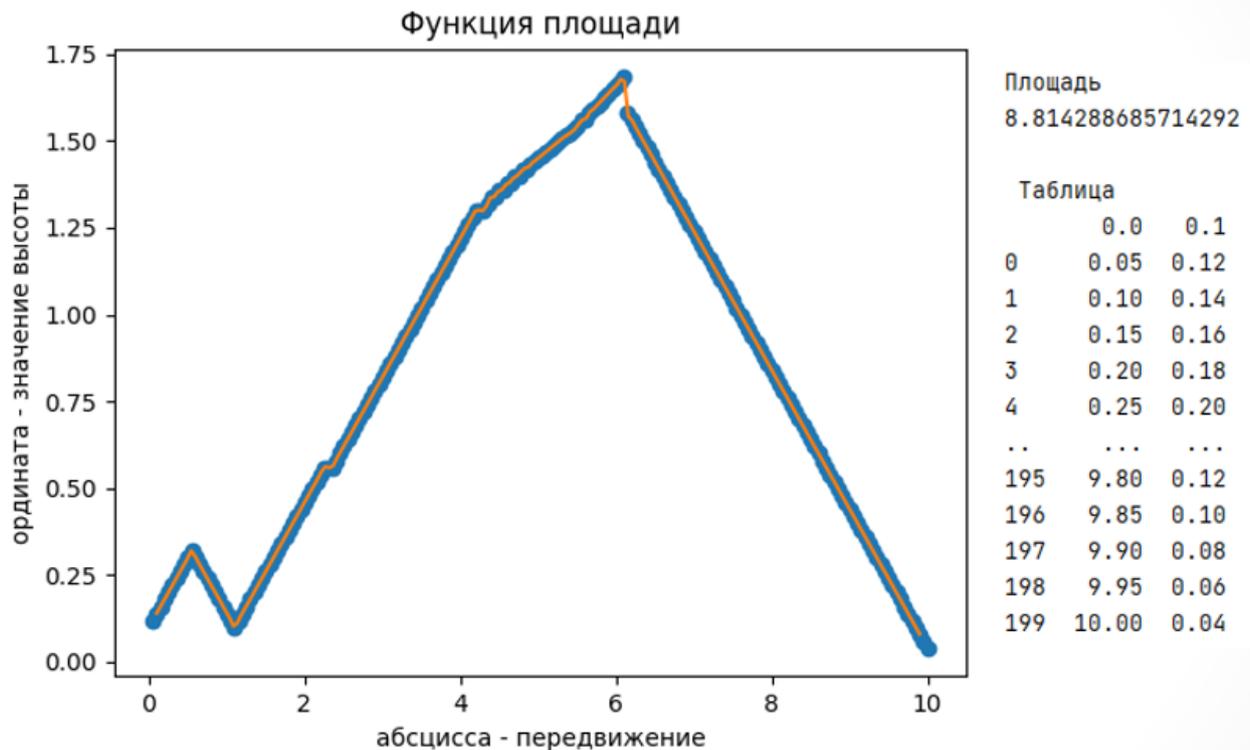


Рис. 10 - Функция и вычисленная площадь

После моделирования провели сравнение двух методов интегрирования, изначально мы считали, что метод Монте-Карло будет более быстрым, но при измерении работы программы значительных изменений при такой точности не было. Как один так и другой метод выполнялись примерно за 0.3 с

```

--- 0.30870509147644043 second metod simpsona---
Площадь
8.51133541819601

--- 0.30824780464172363 second metod Monte-Karlo---
Площадь
8.36024451428572

```

Рис.11 - Сравнение скорости выполнения двух алгоритмов

Следующим параметром для сравнения была выбрана точность вычисления, при этом метод Симпсона выдавал нам один и тот же результат. 8,5  
А при использовании методом Монте-Карло существует такой параметр как N, число вброшенных случайных точек. На слайде видно какие значения у нас получались при использовании тысячи, десяти тысяч, сотни тысяч и миллиона точек, видно что при большем значении N, точность вычислений стремится к 8,4. А скорость выполнения одинакова с методом Симпсона при значении N сто тысяч. А при дальнейшем кратном увеличении этого параметра растёт время работы.

```

--- 0.30870509147644043 second metod simpsona---
Площадь
8.51133541819601

--- 0.2993781566619873 second metod Monte-Karlo---
Площадь
8.497707428571433
Кол-во точек
1000

--- 0.29593396186828613 second metod Monte-Karlo---
Площадь
8.539362857142862
Кол-во точек
10000

--- 0.3107309341430664 second metod Monte-Karlo---
Площадь
8.377906416000005
Кол-во точек
100000

--- 0.4529404640197754 second metod Monte-Karlo---
Площадь
8.394801857828577
Кол-во точек
1000000

```

**Рис.12 - Сравнение точности выполнения двух алгоритмов**

Какой метод Симпсона или метод Монте-Карло нужно использовать в нашей работе. Оба метода достаточно простые и быстрые, хотя метод Монте-Карло кажется более точным.

Ответить на этот вопрос достаточно сложно используя только теоретическую часть или обычные моделирование в коде с использованием случайных значений, которые играют роль значений с лидера.

### **Заключение**

В данной работе была спроектирована система измерения насыпного материала на открытых складах, в вагонах открытого типа, а также система слежения за уровнем полотна. В основе таких методов как, интерполяция, интегрирование, и метод Монте-Карло. Был создан алгоритм программы измерения и сканирования материала, разработаны алгоритмы вычисления статическими и численными методами, определение значение начальных координат в полярной системе координат в декартову с учётом инверсии.

Данная работа описывает применение статистических методов и показывает актуальность их решения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Фукина О.В., Кокорев С.С. Использование инновационных технологий для измерения складов сыпучих гигроскопичных материалов с неоднородной плотностью и влажностью // Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова. 2019. №3 (105). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-innovatsionnyh-tehnologiy-dlya-izmereniya-skladov-sypuchih-gigroskopichnyh-materialov-s-neodnorodnoy-plotnostyu-i> (дата обращения: 02.05.2021).

2. Тен Е.Е., Панченко А.А. Анализ весоизмерительных устройств, используемых на железных дорогах России // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2007. №14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vesoizmeritelnyh-ustroystv-ispolzuemyh-na-zheleznyh-dorogah-rossii> (дата обращения: 02.05.2021).

3. Дмитренко Алексей Васильевич, Медведев Владимир Ильич Оценка влияния веса грузовых поездов на безопасность операций на грузовых станциях // Современные техноло-

гии. Системный анализ. Моделирование. 2013. №1 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-vesa-gruzovyh-poezdov-na-bezopasnost-operatsiy-na-gruzovyh-stantsiyah> (дата обращения: 02.05.2021).

4. Соловьев А. Е. Виды аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте и их причины // ГИАБ. 2005. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-avariynyh-situatsiy-na-zheleznodorozhnom-transporte-i-ih-prichiny> (дата обращения: 02.05.2021).

5. Охотин А. Л. Применение лазерного сканирования в маркшейдерии // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-lazernogo-skanirovaniya-v-marksheyderii> (дата обращения: 02.05.2021).

6. Мартин О. Байесовский анализ на Python / пер. с англ. А. В. Снастина. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 340 с.: ил.

7. Солонар, А. С. Особенности использования метода Монте-Карло для аппроксимации статистических распределений результатов нелинейных преобразований в радиолокационных задачах / А. С. Солонар, С. Н. Ярмолик, А. С. Храменков, А. А. Михалковский // Весці. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2016. – № 4. – С. 91–98.

8. Kruglov S.P., Kovyrshin S.V., Kovaleva N.S. Optimization of Material Handling at the Automatic Warehouse on the basis of the Adaptive Control Algorithm // The 3rd International Conference on Industrial Engineering 2017 (ICIE-2017). DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076192. (Электронный ресурс: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8076192/>)

9. Круглов С.П., Ковыршин С.В., Ведерников И.Е. Адаптивное управление перемещением груза мостовым краном с идентификационным алгоритмом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. Т.56, №4. С.114-122.

10. Сайт Python.org. Python (<https://www.python.org/>).

11. Сайт википедия. Лидар. (<https://ru.wikipedia.org/wiki/лидар>).

12. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие / В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов ; под ред. В.Е. Карасика. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 92с

13. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие / В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов ; под ред. В.Е. Карасика. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 92с

14. Подураев Ю.В. Основы мехатроники: Учебное пособие. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2000 – 80с.

15. Бхаргава А. Грокаем алгоритмы. Иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих — СПб.: Питер, 2020. — 288 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).

16. Красиов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И. Интегральные уравнения: Задачи и примеры с подробными решениями: Учебное пособие. Изд. 3-е, испр. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 192 с.

17. Математика на Python. Часть I. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии: учебно-методическое пособие /А. С. Балджы, М. Б. Хрипунова, И. А. Александрова; Финансовый университет при Правительстве РФ. — М.: Прометей, 2018. — 76 с.

18. Антошкин С.Б., Баканов М.В., Сизых В.Н. Система управления автономным роботом на основе метода обратных задач динамики //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. №2(62). С. 15-23.

## REFERENCES

1. Fukina O. V., Kokorev S. S. use of innovative technologies for measuring the composition of loose hygroscopic materials with non-uniform density and humidity. G. V. Plekhanov. 2019. №3 (105). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-innovatsionnyh-tehnologiy-dlya-izmereniya-skladov-sypuchih-gigroskopichnyh-materialov-s-neodnorodnoy-plotnostyu-i> (accessed: 02.05.2021).
2. Ten E. E., Panchenko A. A. analysis of weight measuring devices used on railway roads of Russia. nauka i Progres transporta. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of railway transport. 2007. # 14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vesoizmeritelnyh-ustroystv-ispolzuemyh-na-zheleznyh-dorogah-rossii> (accessed: 02.05.2021).
3. Dmitrenko Alexey Vasilyevich, Medvedev Vladimir Ilyich assessment of the impact of the weight of cargo trains on the safety of operations at cargo stations // modern technologies. System analysis. Modeling. 2013. №1 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-vesa-gruzovyh-poezdov-na-bezopasnost-operatsiy-na-gruzovyh-stantsiyah> (accessed: 02.05.2021).
4. Solovyov A. E. Types of emergency situations on railway transport and their causes. GIAB. 2005. # 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-avariynyh-situatsiy-na-zheleznodorozhnom-transporte-i-ih-prichiny> (accessed: 02.05.2021).
5. Okhotin A. L. The use of laser scanning in surveying. Interexpo Geo-Siberia. 2009. # 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-lazernogo-skanirovaniya-v-marksheyderii> (accessed: 02.05.2021).
6. Martin O. Bayesovsky analysis in Python / trans. with ang. A.V. Tackle. Moscow: DMK Press publ., 2020, 340 p. (in Russian).
7. Solonar, A. S. features of using the Monte Carlo method for approximation-Solonar A. S., Yarmolik S. N., Khramenkov A. S., Mikhalkovsky A. A. statistic distributions of results of nonlinear transformations in radar problems. Nats. academic navuk of Belarus. Sir. Fiz. - techn. navuk. – 2016. – № 4. – P. 91-98.
8. Kruglov S.P., Kovyrshin S.V., Kovaleva N.S. Optimization of Material Handling at the Automatic Warehouse on the basis of the Adaptive Control Algorithm // The 3rd International Conference on Industrial Engineering 2017 (ICIE-2017). DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076192. (Electronic resource: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8076192/>)
9. Kruglov S. P., Kovyrshin S. V., Vedernikov I. E. Adaptive control of cargo movement by a bridge crane with an identification algorithm. System analysis. Modeling. 2017. Vol. 56, no. 4. pp. 114-122.
10. Website Python.org. Python (<https://www.python.org/>).
11. Wikipedia website. Lidar. (<https://ru.wikipedia.org/wiki/лидар>).
12. Laser devices and methods of measuring range: textbook. manual / V. B. Baksanskiy, D. A. Bondarenko, M. V. Elm, I. V., Zhivotovsky, A. Sakharov, V. P. Semenov ; ed. by V. E. Karasik. — M.: Izd-vo MGTU im. N.Uh. Bauman, 2012. — 92с
13. Laser instruments and methods of measurement range: proc. manual / V. B. Bokshansky, D. A. Bondarenko, M. V. Vyazovykh, I. V. Zhivotovsky, A. A. Sakharov, V. P. Semenov; edited by V. E. Karasik. - Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2012. - 92с
14. Poduraev Yu. V. Fundamentals of mechatronics: A textbook. - M.: MSTU "STANKIN", 2000-80s.
15. Bhargava A. Grokayem algorithms. Illustrated manual for programmers and curious people-St. Petersburg: Peter, 2020. - 288 p.: ill. - (Series "Programmer's Library").
16. Krasiov M. L., Kiselev A. I., Makarenko G. I. Integral equations: Problems and examples with detailed solutions: Textbook. Ed. 3-e, ispr. - M.: Editorial URSS, 2003. - 192 p.
17. Math in Python. Part I. Elements of linear algebra and analytical geometry: an educational and methodological manual / A. S. Baldzhi, M. B. Khripunova, I. A. Alexandrova; Financial University under the Government of the Russian Federation. - Moscow: Prometheus, 2018. - 76 p.

18. Antoshkin S. B., Bakanov M. V., Sizykh V. N. Control system of an autonomous robot based on the method of inverse problems of dynamics //Modern technologies. System analysis. Modeling. No. 2 (62). pp. 15-23.

### **Информация об авторах**

*Антошкин Станислав Борисович* - к. т. н., доцент, кафедры автоматизация производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [antoshkinsb@gmail.com](mailto:antoshkinsb@gmail.com)

*Сергей Владимирович Ковыришин* - к. т. н., доцент, кафедры автоматизация производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [sergkow@mail.ru](mailto:sergkow@mail.ru)

*Алексей Яковлевич Кравцов* – магистрант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [a1ekseykrav1sov@gmail.com](mailto:a1ekseykrav1sov@gmail.com)

*Матвей Александрович Неганов* – магистрант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [commans@yandex.ru](mailto:commans@yandex.ru)

### **Authors**

*Stanislav Borisovich Antoshkin* – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor at the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [antoshkinsb@gmail.com](mailto:antoshkinsb@gmail.com)

*Sergey Vladimirovich Kovyryshin* – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor at the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [sergkow@mail.ru](mailto:sergkow@mail.ru)

*Alexey Yakovlevich Kravtsov*– Master's student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [a1ekseykrav1sov@gmail.com](mailto:a1ekseykrav1sov@gmail.com)

*Matvey Aleksandrivich Neganov* – Master's student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [commans@yandex.ru](mailto:commans@yandex.ru)