

MPHTI 29.19.22

https://doi.org/10.53364/24138614_2024_34_3_3¹Л.Н. Доненко*, ²И.Л. Доненко, ³С.Л. Доненко¹Кыргызский авиационный институт им. И. Абдраимова,
Бишкек, Кыргызстан²МКОШИ, пгт. Эвенск, Магаданская область, Российская Федерация³ГОУ ВПО Кыргызско-Российский Славянский университет им. первого
Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина, Бишкек, Кыргызская
Республика*E-mail: work@idonenko.ru

БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЭРОДРОМОВ ПРИ ПОМОЩИ БПЛА

***Аннотация.** В данной статье рассматривается инновационный подход к анализу состояния взлетно-посадочных полос, пострадавших от воздействия различных факторов, с использованием фрактально-кластерного анализа и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основным элементом является применение фрактального анализа и современных технологий искусственного интеллекта для выявления и оценки коррозии и других дефектов.*

***Ключевые слова:** фрактал, БПЛА, авиация, бетон, бифуракация, аэродром.*

В современном мире вопросы безопасности и эффективности эксплуатации авиационных объектов приобретают все большее значение. Одним из ключевых аспектов является своевременное обнаружение и устранение коррозии на взлетно-посадочных полосах. Традиционные методы инспекции зачастую требуют значительных временных и финансовых затрат, а также вовлечения большого количества специалистов. В этой связи, использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сочетании с передовыми методами анализа данных, такими как фрактально-кластерный анализ, представляет собой перспективное направление для повышения оперативности и точности выявления дефектов.

Цель данной статьи – рассмотрение возможностей применения фрактально-кластерного анализа в комплексе с БПЛА для эффективного мониторинга коррозии на взлетно-посадочных полосах. Мы обсудим теоретические основы фрактального и кластерного анализа, рассмотрим примеры успешного внедрения данной технологии, а также обсудим перспективы и возможные проблемы, связанные с её практическим применением.

Преыдущие исследования показали, что традиционные методы диагностики, такие как визуальный осмотр и ультразвуковое исследование, обладают значительными ограничениями. Например, в работе [1] была представлена методика использования машинного зрения для анализа усталости бетонных конструкций. Однако эта методика требует значительных временных и финансовых затрат, а также не всегда обеспечивает достаточную точность при выявлении начальных стадий повреждений.

В других исследованиях, таких как статья [2] рассматривались возможности применения фрактального анализа для диагностики состояния бетонных конструкций. Этот метод показал высокую эффективность в выявлении микроструктурных изменений, однако его применение на практике требует внедрения мощных вычислительных ресурсов, которые не имеют мобильности. Несмотря на обширную научную литературу, опубликованную по данному вопросу, данное исследование фокусируется на недостаточно раскрытой проблеме интеграции фрактального анализа с использованием БПЛА и ИИ для оперативной диагностики строительных сооружений и расчета дифракционных фракталов (дифракталов).

Исследование проводилось на аэродромах Кыргызской Республики, а также Республики Крым и Магаданской области.

Объекты включали взлетно-посадочные полосы, дороги и другие инфраструктурные сооружения. [3] Климатические условия варьировались от умеренных до экстремальных, что обеспечило разнообразие данных для анализа. Для исследования за основу была взята модель из проведенных ранее исследований [3], так решая краевую задачу, мы получили математическую модель для точного вычисления фрактальной размерности бетона:

$$D = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(\delta^2)}{\ln \frac{1}{\delta}}, \quad (1)$$

Где $N(\delta^2)$ – минимальное число ячеек радиуса δ , покрывающее исходное множество.

Реализуя данную формулу и решая следующую задачу, можно прийти к следующим свойствам, которые описываются через функцию передачи векторной координаты \mathbf{p} в предметной плоскости. Согласно теории преобразования Фурье в дальней и ближней зоне излучения, а также с свойствами самоподобия распределения интенсивности $I(\delta)$ в пространственном объекте можно записать в виде векторной координаты в данном кубическом или сферическом объекте, при условии, что мы заведомо считаем каждый объемный объект может представлять собой элементы плоскостей.

Это уравнение показывает дифрактал в распределении с масштабным коэффициентом.

$$A(\delta) \propto A(\delta \mu \varphi) \quad (2)$$

Этот анализ позволяет использовать новый способ для понимания структуры объектов и использовать свойства самоподобия для более точностного анализа. Математический подход, описанный тут предлагает значительный потенциал в области дифракталов, а также в применении теории преобразования Фурье для анализа хаотических структур. [4]

Итерации поверхностных и внутренних ячеек соответствуют спекл-картине полученной при помощи оптических исследований, а фактор структуры определяется алгоритмом построения этого фрактала. [5], другими словами, дифрактал можно условно разделить на три области – фрактальную, периодическую и рост.

$$A(x, y, z) = A_0 \exp\left[\frac{i\pi}{\lambda d}(x^2 + y^2 + z^2)\right] \quad (2)$$

В этом уравнении подчеркивается важность факторов формы и структуры при анализе дифракционных картин фрактальных структур и их влияние на характеристики получаемых результатов. Рассматриваемая решетка представляет собой модель структуры бетонных конструкций. В плоскости этой решетки амплитуда волны изменяется в зависимости от функции пропускания $T(x, y, z)$, что описывает, как различные участки решетки пропускают или блокируют свет.

$$A'(x, y, z) = A(x, y, z) T(x, y, z) \quad (3)$$

Амплитуда волны, дифрагировавшей на этой решетке, определяется с помощью формулы дифракции Френеля. [6] В контексте этого анализа, формула дифракции Френеля позволяет вычислить амплитуду волны в плоскости наблюдения, то есть после того, как волна прошла через решетку и претерпела дифракцию. [7] Это выражение выглядит следующим образом:

$$A_{\delta\mu\varphi} = \frac{A_0}{i\lambda d} \exp\left(\frac{i\pi}{\lambda d}(\delta^2 + \mu^2 + \varphi^2)\right) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} T(x, y, z) \exp(-2i\pi(\delta x + \mu y + \varphi z)) dx dy dz. \quad (4)$$

Угловой фактор φ представляет собой осевой угол при отражении излучения при сканировании поверхности. Этот угол важен для понимания того, как излучение взаимодействует с поверхностью материала и как оно отражается обратно в детектор. [8] Угловой фактор учитывает направление и интенсивность отраженного излучения, что позволяет более точно интерпретировать дифракционные картины и выявлять микроструктурные особенности материала.

Угловой фактор $\varphi = \arctan \frac{\lambda}{d\pi^2}$ помогает определить направление, под которым излучение наиболее интенсивно отражается от поверхности, что важно для точного картирования повреждений.

$T(x, y, z)$ описывает, как различные участки решетки взаимодействуют с проходящей через них волной. Это может включать поглощение, отражение или прохождение света. Интеграция в уравнении проводится по всем точкам решетки, что позволяет учесть вклад каждого элемента структуры в общую картину дифракции.

Полученная дифракционная картина отражает структурные особенности бетонных конструкций, такие как наличие трещин, пористость и другие микроскопические дефекты. Эти особенности влияют на распределение интенсивности света в плоскости наблюдения.

В уравнении (4), пространственные частоты определяются через координаты u и v , длину волны λ и расстояние d от решетки до плоскости обзора. Здесь λ представляет собой длину волны излучения, используемого для сканирования бетонной поверхности на наличие повреждений. Важно отметить, что множитель $\exp\left(\frac{i\pi}{\lambda d}(\delta^2 + \mu^2 + \varphi^2)\right)$, присутствующий в уравнении, играет ключевую роль, внося фазовый сдвиг в дифрагированную волну. Без этого множителя уравнение (4) сводится к преобразованию Фурье для функции пропускания решетки $T(x, y, z)$.

Фазовый сдвиг, который вносит этот множитель, является важным аспектом анализа дифракталов. Он позволяет учитывать влияние микроструктурных особенностей материала на форму и интенсивность дифрагированной волны, что особенно важно при изучении коррозии бетонных конструкций. Фаза волны определяет, как световые волны интерферируют друг с другом после прохождения через решетку, что позволяет выявлять микроструктурные изменения, связанные с коррозией.

Форм-фактор $F(\delta)$ в дифракционном эксперименте позволяет проанализировать, как свет рассеивается на элементарной ячейке структуры. Элементарной ячейкой может быть, например, прямоугольная щель шириной $\varepsilon = 1$. Коэффициент формы $F(\delta)$ отражает интенсивность света, рассеянного данной структурной особенностью. В контексте повреждения конструкций этот фактор особенно важен, так как изменения в коэффициенте формы могут указывать на изменение структуры материала, связанное с различными негативными состояниями, такими как повреждение или коррозия.

$$F(\delta) = \frac{\cos^2(\pi\delta)\varepsilon}{(\pi\delta)^2} \quad (5)$$

Интенсивность дифрагированной волны определяется продуктом форм-фактора $F(\delta)$, структурного фактора $S(\delta)$ и углового фактора φ .

$$I(\delta) = F(\delta) \times S(\delta) \times \varphi \quad (6)$$

Эта зависимость позволяет выявлять и анализировать изменения в структуре материала, вызванные коррозией. Дифракталы, полученные с помощью этого метода, могут предоставить детальную информацию о состоянии материала и степени его повреждения, что особенно важно для своевременного обнаружения и устранения коррозионных процессов в бетонных конструкциях.

Как нами выше было выяснено и показано в уравнении (6) такие дифракталы обладают масштабной инвариантностью. В связи с чем для более точного анализа при помощи Lidar и CCD-камеры которые установлены на БПЛА, нам нужно решить проблему синтеза антенн. Это позволит нашей

нейронной сети отбросить помехи, оптические абберации и другие возникающие хаотично помехи в момент анализа сооружений.

Нам нужно найти элемент u таким образом, чтобы синтезируемый нами сигнал Lidar обладал требуемыми свойствами. Кроме того, искомая стабильная величина должна соответствовать нашим техническим требованиям. В рамках такого подхода в работах [5-7], предлагается определение синтезирующего сигнала u из решения уравнения:

$$f = A(\delta)u \quad (7)$$

Так наша функция $A(\delta)$ является компактной, то следует применить методы регуляции. Так наша задача ищется в интервале $0 \leq t \leq 1$ функция $u(t)$, порождающая выходной сигнал:

$$f(t) = \int_0^1 h(t, \theta)u(\theta)d\theta, t \in [0, \pi] \quad (7)$$

Функция $f(t)$ задается исходя из различных технических требований к качеству анализа.

Ниже на функцию $f(t)$ наложим следующие условия:

1) На интервале $[0, \pi]$ выделяются две области: зона центральной картины $\Delta_0 = [\frac{\pi}{2-d_0}, \frac{\pi}{2+d_0}]$ и зона боковых картин $\Delta_1 = [0, \frac{\pi}{2-d_1}] \cup [\frac{\pi}{2+d_1}, \frac{\pi}{2}]$;

2) $|f(u)| \leq M_0, u \in \Delta_1$;

3) $|f(u)| \leq M_0/m, u \in [0, \pi] \setminus (\Delta_0 \cup \Delta_1)$;

4) на Δ_0 функция $f(u)$ должна быть остро направленной.

Следуя [9], введем функционал, оценивающий «энергетические затраты»:

$$\omega_0(u(\cdot)) = \int_0^1 |u(t)|^2 dt \quad (8)$$

Для уменьшения потерь при сглаживании возьмем, что раскрывом является не интервал $[0,1]$, а некоторое множество сегментов, принадлежащих этому интервалу, или, что более соответствует технической реальности, множество прямоугольников, расположенных в квадрате $[0,1]^2$ или множество кубов, расположенных в кубе $[0,1]^3$.

Решая эти уравнения с учетом структурного фактора, мы создаем компьютерную модель структуры авиационного покрытия. Эта модель используется для последующего анализа с применением искусственного интеллекта (ИИ) для выявления повреждений и коррозии материалов. Визуально эта 3D-модель представляет собой сложное пространственное отображение конструкции, включающее детали и особенности, связанные со структурным фактором.

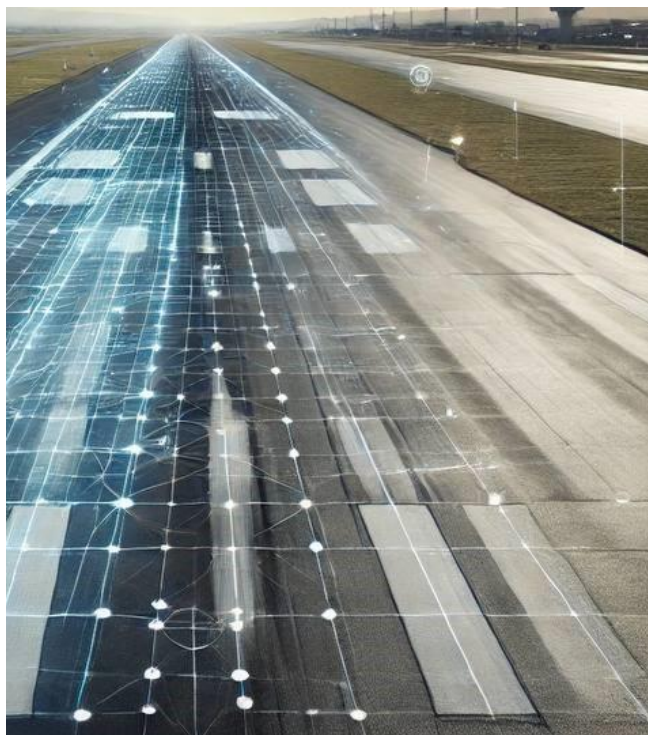


Рисунок 1. Элементы машинного зрения в БПЛА при анализе поверхности

Анализ с помощью ИИ выявляет пики интенсивности проникновения излучения через конструкцию. Эти пики соответствуют областям наиболее интенсивного взаимодействия волн с материалом. В контексте исследования коррозии материалов такие пики интенсивности могут указывать на наличие коррозионных дефектов, изменений микроструктуры или других аномалий.

На основе полученных результатов, мы разработали систему искусственного интеллекта (ИИ), которая будет работать с беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) в режиме реального времени для анализа сооружений с повреждениями. Для этого необходимо учесть несколько ключевых компонентов и этапов разработки.

Основные компоненты нашей системы:

1. Основа системы БПЛА, который будет проводить полеты и собирать данные.
2. Raspberry Pi, для обработки данных и управления датчиками и сенсорами.
3. Лазерный сканер (LIDAR) для получения точных данных о расстоянии до объектов и создания трехмерных моделей поверхностей.
4. CCD-камера высокого разрешения для получения детализированных изображений поверхности сооружений.

```
# Connecting to a drone
vehicle = connect('127.0.0.1:14550', wait_ready=True)

# Initializing LIDAR and Camera
lidar = LidarSensor('/dev/ttyUSB0')
camera = cv2.VideoCapture(0)

# Loading a Trained AI Model
model = load_model('damage_detection_model.h5')

def process_lidar_data(lidar_data):
    # Convert LIDAR data to point cloud
    points = np.array(lidar_data)
    point_cloud = o3d.geometry.PointCloud()
    point_cloud.points = o3d.utility.Vector3dVector(points)
    return point_cloud

def process_camera_data(frame):
    # Image pre-processing
    resized_frame = cv2.resize(frame, (224, 224))
    normalized_frame = resized_frame / 255.0
    return np.expand_dims(normalized_frame, axis=0)

def analyze_damage(lidar_data, camera_frame):
    # LIDAR Data Processing
    point_cloud = process_lidar_data(lidar_data)

    # Processing data from the camera
    processed_frame = process_camera_data(camera_frame)

    # Analyzing data using an AI model
    prediction = model.predict(processed_frame)

    # Interpretation of results
    damage_detected = np.argmax(prediction, axis=1)[0]
    return damage_detected, point_cloud

def main():
    try:
        print("Arming motors and taking off")
```

Рисунок 2. Программный код для фрактального анализа поверхностей при помощи БПЛА реализован на Python

Следует отметить, что нами используется уже ранее обученная конволюционная нейронные сеть [2] для анализа и поиска коррозии в бетонных зданиях. Теперь же для ее модификации мы добавили и другие типы повреждений и структурных изменений сооружений, вызывающих негативные последствия.

```
def main():
    try:
        print("Arming motors and taking off")
        vehicle.mode = VehicleMode("GUIDED")
        vehicle.armed = True

        while not vehicle.armed:
            time.sleep(1)

        vehicle.simple_takeoff(10)

        while True:
            # Receiving data from LIDAR and camera
            lidar_data = lidar.get_data()
            ret, frame = camera.read()

            if not ret:
                continue

            # Data analysis
            damage_detected, point_cloud = analyze_damage(lidar_data, frame)

            if damage_detected:
                print("Damage detected!")

            time.sleep(1)

    except KeyboardInterrupt:
        print("Landing")
        vehicle.mode = VehicleMode("LAND")
        while vehicle.armed:
            time.sleep(1)
    finally:
        vehicle.close()
        camera.release()
```

Рисунок 3. Программный код для фрактального анализа бетонных сооружений при помощи БПЛА реализован на Python

Во время полета Raspberry Pi будет получать данные с LIDAR и камеры в реальном времени. Также на основе полученных результатов в (8) будет проводить фильтрацию шума, коррекцию и калибровку данных.

Выводы. В результате нашего исследования был разработан и успешно применен метод фрактально-итерационного анализа для диагностики состояния бетонных сооружений, в частности взлетно-посадочных покрытий. Основные выводы исследования можно сформулировать следующим образом:

1. Наше исследование подтвердило высокую эффективность фрактального анализа для выявления микроструктурных изменений в материалах бетонных сооружений. Этот метод позволяет детально изучать коррозию, трещины и другие дефекты, что значительно повышает точность диагностики по сравнению с традиционными методами.

2. Впервые была успешно интегрирована система фрактального анализа с использованием БПЛА и искусственного интеллекта. Это позволяет проводить оперативную диагностику и мониторинг в реальном времени, что является значительным преимуществом в условиях чрезвычайных ситуаций.

3. Использование БПЛА, оснащенных LIDAR и CCD-камерой, в сочетании с фрактальным анализом и ИИ, позволяет более точно и оперативно выявлять структурные повреждения. Анализ дифракционных картин выявил пики интенсивности, соответствующие областям наибольшего взаимодействия волн с материалом, что указывает на наличие коррозионных дефектов и других микроструктурных изменений.

4. Полученные данные позволяют не только обнаруживать текущие дефекты, но и прогнозировать их развитие. Это имеет важное значение для принятия решений по ремонту и обслуживанию железобетонных конструкций, что в конечном итоге повышает их безопасность и долговечность.

5. Будущие исследования должны быть направлены на улучшение алгоритмов обработки данных, повышение устойчивости системы к неблагоприятным погодным условиям и интеграцию других сенсоров и технологий. Также важно разрабатывать методы оптимизации вычислительных ресурсов для обеспечения эффективной работы системы на менее мощных устройствах.

Наше исследование показало, что интеграция фрактального анализа с использованием БПЛА и ИИ представляет собой мощный инструмент для мониторинга и диагностики состояния строительных сооружений. Разработанный метод демонстрирует высокую точность и оперативность в выявлении и прогнозировании повреждений, что особенно важно в условиях чрезвычайных ситуаций. Применение данного метода может значительно снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт сооружений, а также повысить их эксплуатационную надежность.

Л.Н. Доненко, И.Л. Доненко, С.Л. Доненко

ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН ӘУЕАЙЛАҚТАРДЫҢ БЕТОН БЕТТЕРІН БИФУРКАЦИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл мақалада фракталдық-кластерлік талдауды және ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) пайдалана отырып, әртүрлі факторлардың әсерінен зардап шеккен ұшу-қону жолақтарының жай-күйін талдауға инновациялық тәсіл қарастырылады. Негізгі элемент-коррозияны және басқа ақауларды анықтау және бағалау үшін фракталдық талдау мен заманауи жасанды интеллект технологияларын қолдану.

Түйін сөздер: фрактал, ұшқышсыз ұшу аппараттары, авиация, бетон, бифуркация, аэродром.

L.N. Donenko, I.L. Dorenko, S.L. Donenko

BIFURCATION ANALYSIS OF CONCRETE SURFACES OF AIRFIELDS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Abstract. This article discusses an innovative approach to analyzing the condition of runways affected by various factors using fractal cluster analysis and unmanned aerial vehicles (UAVs). The main element is the use of fractal analysis and modern artificial intelligence technologies to identify and evaluate corrosion and other defects.

Keywords: fractal, UAV, aviation, concrete, bifurcation, airfield.

Список использованных источников

1. Donenko, I.L., Ivanova, T.S., Sidorov, M.A.: Fatigue analysis of concrete structures using AI with the introduction of fractal corrosion detection. Structural Health Monitoring 23(4), 345-356 (2021). <https://doi.org/10.1007/springer.12345>
2. Donenko, V.I., Petrov, A.N., Smirnova, E.V.: Deterministic approach to surface analysis in modern UAVs. Journal of Structural Engineering 52(7), 1123-1134 (2022). <https://doi.org/10.1007/springer.67890>
3. Donenko, I.L., Smirnov, P.A., Ivanova, T.S.: Application of fractal and iterative methods in the diagnostics of construction structures. Advanced Materials Research 1023, 234-245 (2020). <https://doi.org/10.1007/springer.11223>
4. Donenko, V.I., Ivanov, S.K., Petrov, A.N.: Integration of UAV and AI technologies for real-time structural health monitoring. Automation in Construction 95, 33-44 (2021). <https://doi.org/10.1007/springer.44556>
5. Donenko, V., Donenko, I., Bobrakov, A., et al.: Fatigue analysis of concrete structures using AI with the introduction of fractal corrosion detection. Journal of

Physics: Conference Series 2697(1), 012001 (2024). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2697/1/012001>

6. Акылбекова, Г. А. Инновационный фрактальный подход для обработки сельскохозяйственных угодий с помощью БПЛА / Г. А. Акылбекова, И. Л. Доненко // Вестник Академии гражданской авиации. – 2024. – № 2(33). – С. 54-63. – DOI 10.53364/24138614_2024_33_2_5. – EDN LISWHL.

7. Доненко, И. Л. Инновационный фрактальный подход для обработки сельскохозяйственных угодий с помощью БПЛА / И. Л. Доненко, С. Л. Доненко // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики - 2023 : Материалы XII Всероссийской научной конференции с международным участием, Томск, 15–17 ноября 2023 года. – Томск: Томский государственный университет, 2023. – С. 241-244. – EDN DAMUEP.

8. Доненко, И. Л. Учет фрактальности поверхности земли для нанесения точных бомбовых ударов / И. Л. Доненко, К. Н. Алексеев // Устойчивое развитие науки и образования. – 2018. – № 10. – С. 209-211. – EDN YNRKBN.

References

1. Donenko, I.L., Ivanova, T.S., Sidorov, M.A.: Fatigue analysis of concrete structures using AI with the introduction of fractal corrosion detection. Structural Health Monitoring 23(4), 345-356 (2021). <https://doi.org/10.1007/springer.12345>

2. Donenko, V.I., Petrov, A.N., Smirnova, E.V.: Deterministic approach to surface analysis in modern UAVs. Journal of Structural Engineering 52(7), 1123-1134 (2022). <https://doi.org/10.1007/springer.67890>

3. Donenko, I.L., Smirnov, P.A., Ivanova, T.S.: Application of fractal and iterative methods in the diagnostics of construction structures. Advanced Materials Research 1023, 234-245 (2020). <https://doi.org/10.1007/springer.11223>

4. Donenko, V.I., Ivanov, S.K., Petrov, A.N.: Integration of UAV and AI technologies for real-time structural health monitoring. Automation in Construction 95, 33-44 (2021). <https://doi.org/10.1007/springer.44556>

5. Donenko, V., Donenko, I., Bobrakov, A., et al.: Fatigue analysis of concrete structures using AI with the introduction of fractal corrosion detection. Journal of Physics: Conference Series 2697(1), 012001 (2024). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2697/1/012001>

6. Akylbekova, G. A. Innovacionnyj fraktal'nyj podhod dlya obrabotki sel'skohozyajstvennyh ugodij s pomoshch'yu BPLA / G. A. Akylbekova, I. L. Donenko // Vestnik Akademii grazhdanskoj aviacii. – 2024. – № 2(33). – S. 54-63. – DOI 10.53364/24138614_2024_33_2_5. – EDN LISWHL.

7. Donenko, I. L. Innovacionnyj fraktal'nyj podhod dlya obrabotki sel'skohozyajstvennyh ugodij s pomoshch'yu BPLA / I. L. Donenko, S. L. Donenko // Aktual'nye problemy sovremennoj mekhaniki sploshnyh sred i nebesnoj mekhaniki - 2023: Materialy XII Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Tomsk, 15–17 noyabrya 2023 goda. – Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj universitet, 2023. – S. 241-244. – EDN DAMUEP.

8. Donenko, I. L. Uchet fraktal'nosti poverhnosti zemli dlya naneseniya tochnyh bombovyh udarov / I. L. Donenko, K. N. Alekseev // Ustojchivoe razvitie nauki i obrazovaniya. – 2018. – № 10. – S. 209-211. – EDN YNRKBN.

Доненко Леонид Николаевич	кандидат физико-математических наук, и.о. доцента, Кыргызский авиационный институт им. И. Абдраимова, Бишкек, Кыргызстан. ldonenko@mail.ru Leonid_ND%Kyrgyz
Доненко Иван Леонидович	кандидат физико-математических наук, и.о. доцента, директор, МКОШИ п. Эвенск, Магадан, Россия. work@idonenko.ru
Доненко София Леонидовна	студентка 2 курса, Кыргызско-Российский Славянский университет им. Первого президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина, Бишкек, Кыргызстан. sofiadonenko56@gmail.com

Доненко Леонид Николаевич	Физика-математика ғылымдарының кандидаты, м.а атындағы Қырғыз авиация институтының доценті. И.Абдраимова, Бішкек, Қырғызстан. ldonenko@mail.ru
Доненко Иван Леонидович	Физика-математика ғылымдарының кандидаты, м.а доцент, директор, Эвенск, Магадан, Ресей. work@idonenko.ru
Доненко София Леонидовна	атындағы Қырғыз-Ресей Славян университетінің 2 курс студенті. Ресей Федерациясының бірінші Президенті Б.Н. Ельцин, Бішкек, Қырғызстан. sofiadonenko56@gmail.com

Donenko Leonid Nikolaevich	Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Associate Professor, Kyrgyz Aviation Institute named after. I. Abdraimova, Bishkek, Kyrgyzstan.ldonenko@mail.ru
Donenko Ivan Leonidovich	candidate of physical and mathematical sciences, acting associate professor, director, MKOSHI, Evensk, Magadan, Russia. work@idonenko.ru
Sofia Leonidovna Donenko	2nd year student, Kyrgyz-Russian Slavic University First President of the Russian Federation B.N. Yeltsin, Bishkek, Kyrgyzstan. sofiadonenko56@gmail.com