

# Оценка близости к помпажу компрессора судового турбонаддува: виртуальный датчик с количественной оценкой неопределённости

А. С. Хатрусов

*Санкт-Петербургский горный  
университет императрицы  
Екатерины II*

me@hatrusov.ru

А. Р. Шарифуллина

*Санкт-Петербургский горный  
университет императрицы  
Екатерины II*

aliiyqxx@gmail.com

В. Е. Трушников

*Санкт-Петербургский горный  
университет императрицы  
Екатерины II*

Trushnikov\_VE@pers.spmi.ru

**Аннотация.** Прямое бортовое измерение запаса до помпажа компрессора судового турбонаддува обычно отсутствует, хотя сам помпаж критичен для надёжности и безопасности установки. Для оценки близости к помпажной границе использован нормированный индекс, восстанавливаемый по ограниченному набору штатных сигналов. Разработан виртуальный датчик, формирующий точечную оценку индекса и интервал неопределённости. Метод проверен для трёх пакетов сигналов при номинальной работе, смещении рабочей точки и пропусках измерений. В расчётную схему вошли контроль качества данных, формирование признаков и уточняющая модель.

**Ключевые слова:** виртуальный датчик; косвенное измерение; диагностический признак; штатная телеметрия; контроль качества данных; режимный сдвиг

## I. ВВЕДЕНИЕ

Работа компрессора судового турбонаддува определяется нагрузкой двигателя и внешними условиями. Для схожих объектов [1–3] всё шире применяются методы цифрового мониторинга, математического моделирования и интеллектуальной обработки данных, позволяющие восстанавливать состояние сложных технических систем по измеряемым параметрам. Аналогичный подход используется и в задачах управления технологическими процессами, где по совокупности доступных сигналов оценивают текущее состояние объекта и уточняют режим его работы [4–6].

Для центробежного компрессора одной из опасных проблем является помпаж. Он сопровождается потерей устойчивости течения при малых расходах, колебаниями давления, ростом динамических нагрузок и высоким риском повреждения элементов турбокомпрессора. В работах [7–9] высокое значение имеют задачи раннего выявления неблагоприятных режимов и контроля технического состояния энергетических и инфраструктурных объектов. При этом положение границы устойчивой работы определяется не только характеристиками самой ступени, но и динамикой системы в целом [10–12].

При оценке приближения к опасному режиму важно учитывать не только локальные параметры, но и общий режим функционирования установки, влияние внешних условий и ограничения среды [13–15]. Такая логика прослеживается и в задачах, связанных с управлением

качеством среды, подземными водами и эксплуатацией природных систем [16–18].

В штатной судовой эксплуатации прямое измерение запаса до помпажной границы, как правило, отсутствует, поэтому практический интерес представляет его косвенная оценка по ограниченному набору бортовых сигналов. В работе под виртуальным датчиком понимается программно-математический канал косвенного измерения, который по доступным телеметрическим сигналам оценивает величину, не измеряемую непосредственно физическим датчиком. В рассматриваемой задаче такой величиной является нормированный индекс близости компрессора судового турбонаддува к помпажной границе.

Переход от прямого наблюдения к расчётным индикаторам и модельным оценкам соответствует более широкой инженерной тенденции, проявляющейся в задачах цифровой трансформации, оценки устойчивости промышленных систем, повышения нефтеотдачи и анализа транспортно-энергетических процессов [19–22]. Необходимость учитывать влияние внешней среды и неопределённости постановки задачи подтверждается и исследованиями, в которых рассматривается воздействие внешних факторов на сложные экономико-технологические системы [23].

Одной точечной оценки с помощью такого виртуального датчика для предупреждения опасных режимов, как правило, недостаточно. Точность точечной оценки определяется по отклонению расчётного индекса от эталонного или заданного в вычислительном эксперименте значения, тогда как интервальная оценка неопределённости характеризует диапазон возможных значений индекса при принятой схеме калибровки. В условиях эксплуатации возможны режимные сдвиги, пропуски измерений и изменение информативности отдельных каналов, поэтому наряду с точечной оценкой целесообразно использовать интервальную оценку. Такая постановка согласуется с работами [24–30], где качество модели определяется её устойчивостью к изменению состава сырья, условий процесса и структуры входных данных.

Целью исследования является разработка виртуального датчика близости к помпажу компрессора судового турбонаддува, который по ограниченным телеметрическим данным формирует точечную оценку нормированного индекса близости к помпажной границе

и калиброванный интервал возможных значений этого индекса. Из-за отсутствия экспериментальных данных судового двигателя исследование проведено в форме сценарного эксперимента на синтетических данных.

## II. МЕТОДОЛОГИЯ

### A. Постановка задачи

В работе целевой величиной был принят нормированный индекс близости к помпажу  $y \in [0;1]$ : значения  $y \approx 0$  соответствуют безопасной области, а  $y \approx 1$  – состоянию, близкому к помпажной границе. В эксперименте этот индекс задавался по синтетической карте компрессора, затем оценивался только по доступным измерениям. Далее в работе использованы следующие обозначения:  $L$  – относительная нагрузка двигателя;  $u_f$  – условный индекс подачи топлива;  $p_{sr}$  – давление воздуха в продувочном ресивере;  $T_{sr}$  – температура воздуха в продувочном ресивере;  $T_{exh}$  – температура выпускных газов перед турбиной;  $p_a$  и  $T_a$  – давление и температура окружающей среды;  $n_{tc}$  – частота вращения турбокомпрессора;  $p_{ci}$  – давление на входе компрессора. Состав сравниваемых пакетов сигналов и их назначение приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. СРАВНИВАЕМЫЕ ПАКЕТЫ СИГНАЛОВ

Пакет	Состав сигналов	Назначение
S0	$L, u_f, p_{sr}, T_{sr}, T_{exh}, p_a, T_a$	Базовая косвенная оценка по штатной телеметрии
S1	$S0 + n_{tc}$	Уточнение режима наддува
S2	$S1 + p_{ci}$	Повышение устойчивости оценки в переходных режимах

Такие пакеты выбраны не случайно, а по принципу последовательного расширения измерительной схемы. Пакет S0 соответствует минимальному набору штатной телеметрии. Добавление  $n_{tc}$  в пакете S1 позволит проверить, насколько частота вращения турбокомпрессора улучшает оценку. Пакет S2 используется, чтобы оценить эффект включения ещё одного измерительного канала.

### B. Сценарии и данные

Вычислительный эксперимент выполнялся в MATLAB. Было определено три основных сценария: E1, E2, E3. Длительность каждой траектории составляла 240 с при шаге дискретизации 1 с. Для обучения было использовано 160 траекторий, для калибровки интервальной модели – 40, для тестирования по сценарию E1 – 30, по сценарию E2 – 35, по сценарию E3 – 35. Каждый сценарий отвечал за определенную ситуацию:

**Сценарий E1** соответствовал режиму, близкому к обучающему распределению, то есть номинальной эксплуатации без выраженного смещения рабочей точки. Для него среднее значение целевого индекса составило 0,502, а доля отсчётов с  $y \geq 0,80$  – 0,043.

**Сценарий E2** моделировал смещение рабочей точки при изменении нагрузки и расширении диапазонов внешних условий. Так, по сравнению со сценарием E1, например, диапазон относительной нагрузки увеличивался с 0,389-0,872 до 0,331-0,932, а среднее давление в продувочном ресивере возрастало с 193,7 до 221,1 кПа.

**Сценарий E3** воспроизводил неполноту и несовершенство данных. Доля таких отсутствующих значений, например, для  $p_{sr}$  была условно принята равной 8,2%, для  $n_{tc}$  – 8,3% и 4,8% для  $p_{ci}$ ; для других каналов задавались меньшие доли пропусков. Такой сценарий приближает постановку нашей задачи к реальным условиям эксплуатации.

### C. Обработка данных и признаки

Контроль качества данных включал, в первую очередь, проверку допустимых диапазонов и восстановление пропусков. Короткие разрывы длительностью до 3 с заполнялись линейной интерполяцией, а для более длинных разрывов уже использовали удержание ближайших доступных значений. Вместе с этим, сохранялись бинарные признаки качества, позволявшие различать исходно измеренные и восстановленные участки.

Далее рассчитывали исходные и производные признаки:  $dL$ ,  $dp_{sr}$ ,  $dT_{exh}$ ,  $dn_{tc}$ , скользящие средние и стандартные отклонения, степень сжатия PR, суррогат приведённой частоты вращения и комбинированный индикатор  $\psi_o$ . В зависимости от состава сигнального пакета итоговое число признаков составляло 40 для S0, 46 для S1 и 51 для S2.

Точечную оценку индекса близости к помпажу получали с помощью ансамбля регрессионных деревьев, включавшего 300 деревьев при минимальном размере листа 10, а интервальную оценку строили на основе квантильного ансамбля, формировавшего нижнюю, медианную и верхнюю оценки.

Затем интервалы калибровали методом отдельной конформной калибровки на отдельном калибровочном наборе при уровне  $\alpha=0,1$ . Такое решение задавало номинальное покрытие 0,90 на калибровочных данных. Для инженерной интерпретации использовали порог опасной близости  $\tau=0,80$ . Состояние считали опасным, если нижняя граница интервала не опускалась ниже этого порога; безопасным – если верхняя граница оставалась ниже порога; все промежуточные случаи относили к предупреждающей зоне.

Качество моделей оценивали с помощью следующих показателей: средняя абсолютная ошибка MAE, среднеквадратическая ошибка RMSE, фактическая доля покрытия интервалом PICP, средняя ширина интервала MPIW, доля предупреждающих состояний WARN и показатель пропуска опасных режимов MDR.

## III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### A. Результаты точечной оценки

В сценарии E1, соответствующем режиму, близкому к обучающему распределению, все три пакета обеспечили приемлемую точность, а расширение измерительной конфигурации сразу давало выигрыш. Для S0 значение MAE составило 0,0135, тогда как для S1 и S2 – 0,0098 и 0,0096 соответственно. По RMSE наблюдалась та же картина: 0,0180 для S0, 0,0130 для S1 и 0,0128 для S2. Даже в E1 базовая штатная телеметрия уступала расширенным пакетам по обоим метрикам.

Иная картина наблюдалась в сценарии E2, где рабочая точка смещалась относительно обучающего распределения. В этих условиях базовый пакет S0 систематически занижал индекс близости к помпажу:

MAE увеличилась до 0,0612, а доля пропуска опасных состояний MDR достигла 0,5029. Добавление частоты вращения турбокомпрессора в пакете S1 уменьшило ошибку до 0,0486 и снизило MDR до 0,3731. Для S2 показатели составили 0,0474 и 0,3728 соответственно. Основной выигрыш при режимном сдвиге давало уже включение  $p_{ic}$ , тогда как  $p_{ci}$  улучшал результат лишь незначительно.

В сценарии E3, где часть данных была утрачена, а затем восстановлена, преимущество пакетов S1 и S2 над S0 сохранилось. Значения MAE составили 0,0168 для S0 и по 0,014 для S1 и S2. Доля пропуска опасных режимов уменьшилась с 0,2918 для S0 до 0,2023 для S1 и 0,2062 для S2. Преимущество расширенных пакетов сохранялось и при неполной телеметрии.

### В. Результаты интервальной оценки

На калибровочном наборе интервальные модели обеспечили покрытие, близкое к номинальному: PICP составил 0,9001 для S0 и S1 и 0,9125 для S2. Это означает, что на данных, близких к обучающим, интервальная калибровка работала корректно.

В сценарии E1 покрытие также оставалось близким к целевому уровню. PICP составил 0,8767 для S0, 0,8711 для S1 и 0,8978 для S2. При этом интервалы у S1 и S2 были уже, чем у S0: MPIW равнялся 0,0428, 0,0354 и 0,0350. Интервальная логика дополнительно уменьшала и риск пропуска опасных состояний: MDR снижался до 0,0323 для S0, 0,0161 для S1 и 0,0129 для S2. В E1 расширенные пакеты давали не только более точную точечную оценку, но и более узкие интервалы.

Наиболее сложным для интервальных моделей оказался сценарий E2. Для пакета S0 интервальная логика резко уменьшила долю пропуска опасных режимов по сравнению с точечной моделью – с 0,5029 до 0,1586, однако покрытие оказалось низким: PICP составил 0,3774. Это указывает на потерю калибровки при смещении режима. Для S1 показатель MDR снизился до 0,1348, а средняя ширина интервала составила 0,0672. В сценарии E2 пакет S2 дал лучший баланс между ошибкой, покрытием и долей пропуска опасных состояний: MAE составила 0,0474, PICP – 0,4708, MDR – 0,0878. Покрытие и в этом случае оставалось ниже уровня 0,90, но именно S2 оказался наиболее устойчивым вариантом в тяжёлом режиме.

На рис. 1 показан характерный переходный участок сценария E2 для пакета S1. При быстром изменении режима точечная оценка сохраняет общий ход истинного индекса, а интервальная оценка расширяется в наиболее сложных областях. Даже при ухудшении формального покрытия интервал продолжает отражать рост неопределённости в переходных режимах.

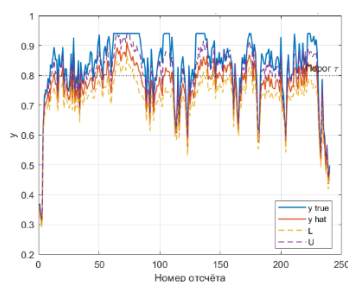


Рис. 1. Пример переходного участка E2 для пакета S1: истинный индекс, точечная оценка и калиброванный интервал неопределённости

В сценарии E3 интервальные модели для S1 и S2 вновь показали преимущество перед базовым пакетом. Значения MAE составили 0,0149 для S0, 0,0138 для S1 и 0,0133 для S2. Покрытие уменьшилось по сравнению с калибровочным набором и находилось в диапазоне 0,8265-0,8399. Это ниже номинального уровня, но заметно выше, чем при выраженном режимном сдвиге. Показатель MDR составил 0,0934 для S0, 0,0778 для S1 и 0,0739 для S2. Даже при неполной телеметрии расширенные пакеты давали надёжное предупреждение об опасных состояниях

Ключевые результаты для сценариев E2 и E3 приведены в табл. 2. Пакет S1 обеспечивает наиболее разумный компромисс между качеством оценки и сложностью измерительной системы. Пакет S2 даёт дополнительный выигрыш прежде всего в тяжёлом режиме, когда рабочая точка заметно уходит от обучающего распределения.

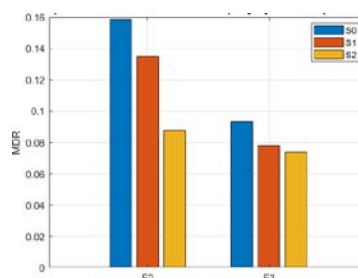


Рис. 2. Сравнение пакетов сигналов по показателю пропуска опасных режимов при интервальной логике

ТАБЛИЦА II. КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО СЦЕНАРИЯМ E2 И E3 (MAE/PICP/MDR)

Пакет	E2	E3
S0	0,0612 / 0,3774 / 0,1586	0,0168 / 0,8385 / 0,0934
S1	0,0486 / 0,3550 / 0,1348	0,0140 / 0,8265 / 0,0778
S2	0,0474 / 0,4708 / 0,0878	0,0140 / 0,8399 / 0,0739

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в исследовании показан виртуальный датчик близости компрессора судового турбонаддува к помпажу, формирующий по ограниченной телеметрии точечную оценку и интервал неопределённости. На сценарном наборе данных показано, что базовый пакет S0 остаётся работоспособным только в условиях, близких к обучающему распределению, но заметно теряет качество при смещении рабочей точки и в меньшей степени – при неполных данных.

Добавление частоты вращения турбокомпрессора в пакете S1 улучшало результаты как по точности, так и по доле пропуска опасных режимов. В данной постановке пакет S1 оказался наиболее разумным компромиссом между качеством оценки и сложностью измерительной системы. Пакет S2 показал лучшие значения метрик, особенно в сценарии E2, и может рассматриваться как предпочтительный вариант при допустимости дополнительного измерительного канала.

Интервальная оценка на калибровочном наборе и в режимах, близких к обучающим, показала покрытие, близкое к целевому уровню. При выраженном режимном сдвиге покрытие снижалось. Это указывает на ограниченную переносимость текущей схемы калибровки. Однако даже в этих условиях интервальная

логика уменьшает риск пропуска опасных состояний по сравнению с точечной оценкой и потому остаётся полезной для раннего предупреждения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Romashin, D.V. Application of Artificial Intelligence to Improve the Efficiency of Monitoring and Diagnosing the Condition of Complex Technical Objects / D.V. Romashin // Proceedings of the 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon). 2024. P. 485–488. – DOI 10.1109/ElCon61730.2024.10468497.
- [2] Arefiev, I.B. Implementation of Control and Forecasting Problems of Human-Machine Complexes on the Basis of Logic-Reflexive Modeling / I.B. Arefiev, O.V. Afanaseva // System Analysis in Engineering and Control. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 442. P. 187–197. – DOI 10.1007/978-3-030-98832-6\_17.
- [3] Fetisov, V.G. Aggregative Simulation Method for Implementing Mathematical Models for Gas Transmission Systems / V.G. Fetisov, A.K. Nikolaev, Y.V. Lykov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327, No. 2. P. 022033. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022033.
- [4] Ilyushin, Y.V. Modeling and Optimization of an Automatic Temperature Control System for the Catalytic Cracking Process / Y.V. Ilyushin, A.V. Martirosyan, M.-A. Asadulagi, T. Kukharova // Modelling. 2026. Vol. 7, No. 2. P. 68. – DOI 10.3390/modelling7020068.
- [5] Kukharova, T. Development of the Separation Column's Temperature Field Monitoring System / T. Kukharova, A. Martirosyan, M.-A. Asadulagi, Y. Ilyushin // Energies. 2024. Vol. 17, No. 20. P. 5175. – DOI 10.3390/en17205175.
- [6] Martirosyan, A.V. Investigation of the Control Strategies for Enhancing the Efficiency of Natural Gas Separation and Purification Processes / A.V. Martirosyan, D.V. Romashin // Processes. 2026. Vol. 14, No. 4. P. 700. – DOI 10.3390/pr14040700.
- [7] Afanaseva, O. Vibration-Based Condition Monitoring of Diesel Engines in Industrial Energy Applications: A Scoping Review / O.Afanaseva, D. Pervukhin, A. Khatrusov // Energies. 2025. Vol. 18, No. 21. P. 5717. – DOI 10.3390/en18215717.
- [8] Afanaseva, O.V. Comparative Analysis of Image Segmentation Methods in Power Line Monitoring Systems / O.V. Afanaseva, T.F. Tulyakov // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. 2026. Vol. 39, No. 1. P. 1–11. – DOI 10.5829/ije.2026.39.01a.01.
- [9] Ilyushin, Y.V. Analysis of Energy Sustainability and Problems of Technological Process of Primary Aluminum Production / Y.V. Ilyushin, E.A. Boronko // Energies. 2025. Vol. 18, No. 9. P. 2194. – DOI 10.3390/en18092194.
- [10] Asadulagi, M.M. The Use of Distributed and Lumped Type Controllers for the Hydro-Lithospheric Process Control System of the Kislovodskoye Field / M.M. Asadulagi, O.S. Vasilkov // Proceedings of the 2019 III International Conference on Control in Technical Systems (CTS), Saint Petersburg, Russia, 30 October–1 November 2019. 2019. P. 7–10. – DOI 10.1109/CTS48763.2019.8973272.
- [11] Asadulagi, M.M. Synthesis of Lumped and Distributed Controllers for Control System of Hydrodynamic Process / M.M. Asadulagi, G.V. Ioskov, E.V. Tronina // Proceedings of the 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 1–4 October 2019. 2019. P. 8933859. – DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8933859.
- [12] Fetisov, V.G. Mathematical Modeling of Non-Stationary Gas Flow in Gas Pipeline / V.G. Fetisov, A.K. Nikolaev, Y.V. Lykov, L.N. Duchnevich // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327, No. 2. P. 022034. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022034.
- [13] Kleshnia, V.A. Modeling of Pressure Control System in Oil Wells Accounting for Reservoir Non-Homogeneity / V.A. Kleshnia, T.V. Kukharova, I.S. Fedosov, V.V. Tsapleva // Proceedings of the 2025 VI International Conference on Control in Technical Systems (CTS). 2025. P. 64–67. – DOI 10.1109/CTS67336.2025.11196275.
- [14] Kukharova, T. Analysis of Modern Challenges and Technological Solutions in Natural Gas Production at Fields with Complex Geological Structure: A Review / T. Kukharova, P. Maltsev, S. Abramkin, I. Novozhilov // Resources. 2026. Vol. 15, No. 2. P. 32. – DOI 10.3390/resources15020032.
- [15] Sidorenko, A.A. An Assessment of Multiple Seam Stress Conditions Using a 3-D Numerical Modelling Approach / A.A. Sidorenko, Y.G. Sirenko, S.A. Sidorenko // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1333, No. 3. P. 032078. – DOI 10.1088/1742-6596/1333/3/032078.
- [16] Khasanov, A.F. Creation of Artificial Aeration System to Improve Water Quality in Reservoirs / A.F. Khasanov, A.M. Ereemeeva // Hydrology. 2025. Vol. 12, No. 3. P. 48. – DOI 10.3390/hydrology12030048.
- [17] Golovina, E.I. Problems of Modern Legislation in the Sphere of Underground Waters Extraction Management / E.I. Golovina, V.S. Khloponina // Geology and Mineral Resources of Siberia. 2020. No. 1. P. 106–114. – DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-106-114.
- [18] Golovina, E.I. Optimization of the Groundwater Extraction Taxation System in the Russian Federation / E.I. Golovina, S.A. Chirkina // Geology and Mineral Resources of Siberia. 2025. No. 4b. P. 185–194. – DOI 10.20403/2078-0575-2025-4b-185-194.
- [19] Khaykin, M.M. Digital Transformation Management Issues: An Oil-and-Gas Industry Example / M.M. Khaykin, K.A. Priyma // Navigating Digital Transformation: Original Research Across Smart Cities, Sustainable Development and Beyond. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 2024. P. 99–112.
- [20] Marinina, O.A. Comprehensive Analysis and Forecasting of Indicators of Sustainable Development of Nuclear Industry Enterprises / O.A. Marinina, Y.V. Ilyushin, E.V. Kildiushov // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. 2025. Vol. 38, No. 11. P. 2527–2536. – DOI 10.5829/ije.2025.38.11b.05.
- [21] Andreeva, E.S. Nanofluid Flooding as a Method of Enhancing Oil Recovery: Mechanism, Advantages / E.S. Andreeva, O.A. Marinina, L.G. Turovskaya // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2024. Vol. 335, No. 6. P. 189–202. – DOI 10.18799/24131830/2024/6/4408.
- [22] Barykin, S.E. Sustainability Analysis of Energy Resources Transport Based on A Digital N-D Logistics Network / S.E. Barykin, S.M. Sergeev, V.V. Provotorov, K.K. Lavskaya, K.A. Shidlovskaya, N. Dedyukhina, O. Mikhov, V. Buniak, M.Y. Dzhamaludinova // Engineered Science. 2024. Vol. 29. P. 1093. – DOI 10.30919/es1093.
- [23] Zhang, B. The Effect of Economic Policy Uncertainty on Foreign Direct Investment in the Era of Global Value Chain: Evidence from the Asian Countries / B. Zhang, J. Ma, M.A. Khan, V. Repnikova, K. Shidlovskaya, S. Barykin, M.S. Ahmad // Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 7. P. 6131. – DOI 10.3390/su15076131.
- [24] Ereemeeva, A.M. Advanced Hydroprocessing Technology for Sustainable Diesel: Hydrotreatment of Renewable and Fossil Feedstocks / A.M. Ereemeeva, Y.A. Chumachenko, A.F. Khasanov, I.L. Oleynik // Bioresource Technology Reports. 2026. Vol. 33. P. 102499. – DOI 10.1016/j.biteb.2025.102499.
- [25] Ereemeeva, A.M. Recycling of Waste Cooking Oils into a Biodiesel Fuel: Kinetics and Analysis / A.M. Ereemeeva, A.R. Marinets, I.L. Oleynik, V.G. Povarov // Recycling. 2026. Vol. 11, No. 2. P. 41. – DOI 10.3390/recycling11020041.
- [26] Ereemeeva, A.M. Development of Biofuel as Marine Low-Viscosity Fuels with Environmentally Friendly Components / A.M. Ereemeeva, A.F. Khasanov, I.L. Oleynik, N.K. Kondrasheva, A.R. Marinets // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. 2025. Vol. 38, No. 2. P. 273–279. – DOI 10.5829/ije.2025.38.02b.02.
- [27] Savelyev, D.S. Effects of Competitive Martial Arts on First-Year Students' Psychophysiological Potential / D.S. Savelyev, S.A. Sidorenko // Theory and Practice of Physical Culture. 2017. No. 5. P. 43–45.
- [28] Ilyushin, Y.V. Development of a Mathematical Model of the Electromagnetic Field Formation Process Based on System Analysis Methods / Y.V. Ilyushin, E.A. Boronko // Mathematics. 2026. Vol. 14, No. 3. P. 399. – DOI 10.3390/math14030399.
- [29] Marinina, O.A. Methodological Approach to Economic Assessment of Losses of Balance Coal Reserves / O.A. Marinina // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2025. No. 11-1. P. 183–197. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2025\_111\_0\_183.
- [30] Martynenko, Y.V. Effect of Motive Pressure on Ejector Entrainment Capacity / Y.V. Martynenko, V.I. Bolobov // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. 2026. Vol. 39, No. 4. P. 841–848. – DOI 10.5829/ije.2026.39.04a.03.