

УДК 629.7.023.4

DOI 10.52167/1609-1817-2025-138-3-529-538

К.М. Мырзабеков¹, К.А. Алипбаев¹, А.М. Бапышев²

¹Energo University, Алматы, Казахстан

²Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Казахстан

E-mail: k.myrzabekov@aes.kz

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОПТИМИЗАЦИИ МАССО-ГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОНАСОСА

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор современных теоретических и экспериментальных подходов к оптимизации массо-габаритных характеристик жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) с использованием электронасосных систем. Рассматриваются экспериментальные исследования, направленные на повышение производительности и удельного импульса двигателей, а также использование алгоритмов управления насосами для точной регулировки подачи топлива. Также проведен анализ современных достижений в области управления ЖРД и экспериментальных исследований, направленных на улучшение удельного импульса и надежности двигателей. Применение электронасосов показало значительное сокращение массы двигательной установки и увеличение общей производительности, что открывает новые возможности для разработки легких и эффективных ракетных систем.

Ключевые слова: жидкостной ракетный двигатель, электронасос, оптимизация, массогабаритные характеристики, подача топлива, управление насосами.

Введение.

Современные жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) играют ключевую роль в космических миссиях, так как они обеспечивают высокую тягу и топливную эффективность. В последние годы значительное внимание уделяется вопросам оптимизации систем подачи топлива и окислителя, что критично для повышения эффективности работы двигателя, уменьшения его массы и увеличения надёжности. В данном обзоре рассматриваются существующие теоретические и эмпирические исследования, методы оптимизации этих систем, а также анализируются современные достижения в разработке ЖРД.

Анализ исследований.

1. Существующие теоретические и эмпирические исследования.

Исследования в области ЖРД сосредоточены на решении задач, связанных с уменьшением массы и увеличением эффективности двигательных установок. В частности, большое внимание уделяется переходу от традиционных турбонасосных систем к электронасосным установкам. В работе Ulloa и соавторов [1] и Pastrone [2] показано, что использование электронасосов позволяет сократить массу двигателя на 30-50%. Это важное преимущество, особенно для малых ракет-носителей, где каждая единица массы критична для доставки полезного груза на орбиту.

Кроме того, эмпирические исследования, такие как тестирование двигателя "Резерфорд" [3], показали, что электронасосные системы могут предложить более

точный контроль над подачей топлива и снижением вибраций в системе. Это способствует улучшению стабильности работы двигателя и повышению его надёжности [4].

На теоретическом уровне современные модели подачи топлива и окислителя сосредоточены на моделировании динамики работы электронасосов. Математические модели описывают потоки жидкости, воздействие давления и температурные нагрузки на систему [2][5]. Эти модели используются для прогнозирования поведения системы при различных режимах эксплуатации, что позволяет снизить риск отказов и улучшить эксплуатационные характеристики двигателей.

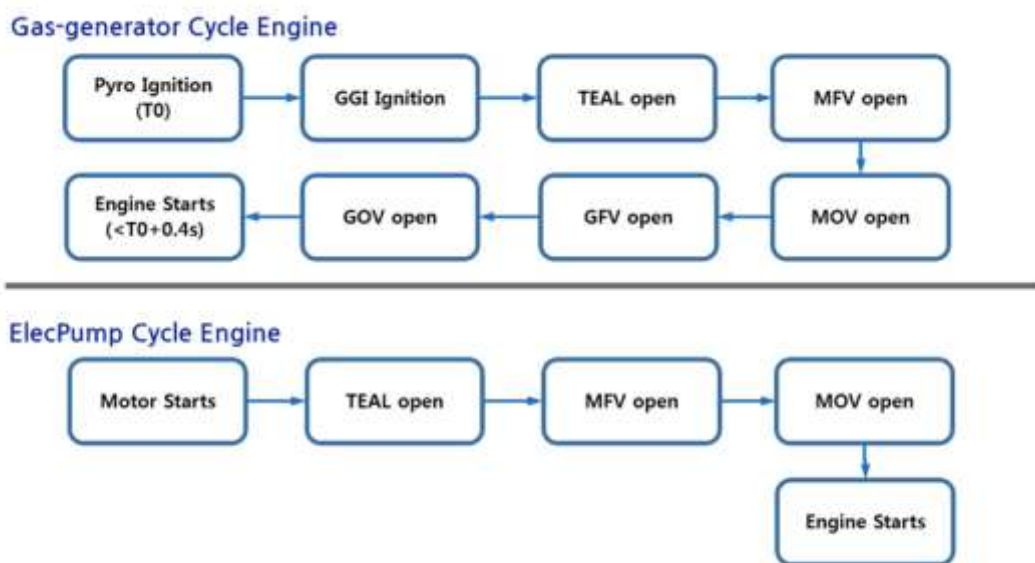


Рисунок 1 - Сравнение последовательности запуска двигателей с газогенераторным и электронасосным циклами"

2. Анализ современных достижений в разработке ЖРД.

Современные достижения в разработке ЖРД включают внедрение электронасосных систем, увеличение удельного импульса двигателей, улучшение систем охлаждения и управление двигателями в реальном времени. Одним из ключевых достижений стало применение электронасосов вместо турбонасосов, что позволило значительно снизить массу двигательной установки, а также улучшить контроль над подачей топлива [1][2].

Применение новых топливных смесей, таких как метан и жидкий кислород, позволяет увеличить удельный импульс двигателей, что повышает их эффективность. В работе Улоа и соавторов [1] показано, что использование метана вместо керосина улучшает термодинамические характеристики двигателя, делая его более пригодным для многоразовых запусков.

Интеграция ЖРД с цифровыми системами управления также является важным направлением развития. В современных двигателях используются сенсоры, которые контролируют работу всех компонентов в реальном времени, позволяя оптимизировать параметры работы системы и минимизировать риск отказов. В частности, двигатели компании SpaceX оснащены такими системами, что повышает надёжность и позволяет использовать их в многоразовых миссиях [4].

Таблица 1 – Сравнение характеристик традиционных турбонасосных и электронасосных систем

Параметр	Турбонасосная система	Электронасосная система
Масса системы (кг)	120	60
Эффективность (%)	85	95
Надёжность	Средняя	Высокая
Стоимость	Высокая	Средняя

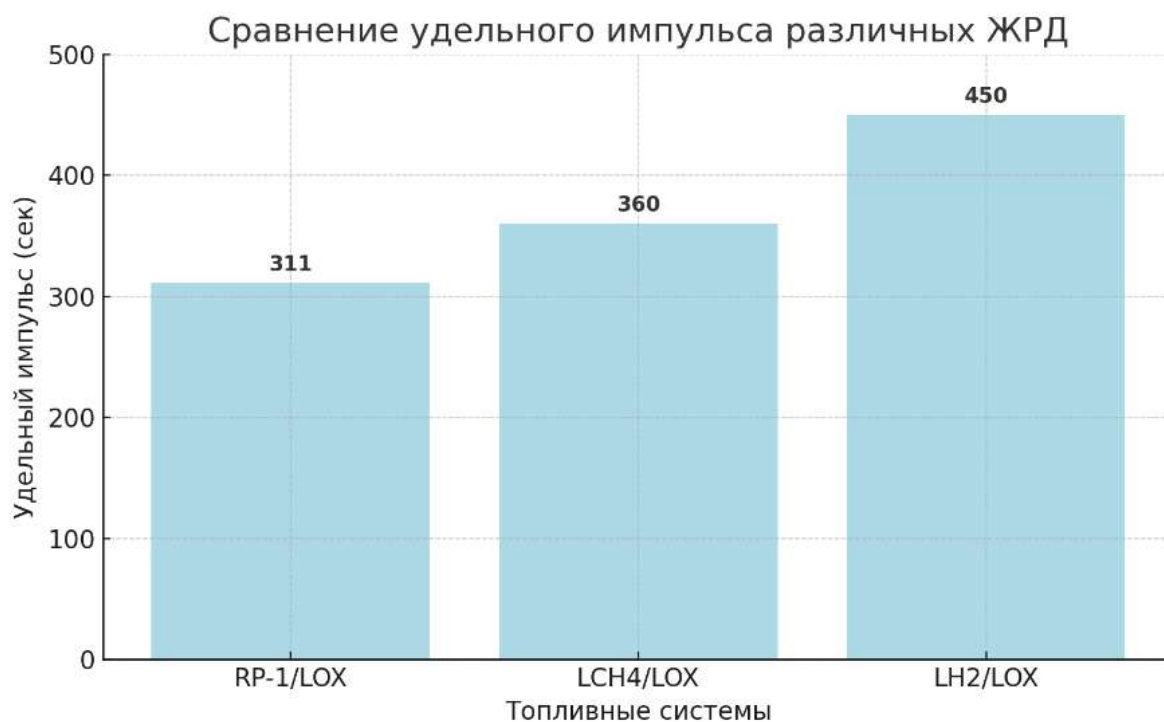


Рисунок 2 – Сравнение удельного импульса различных ЖРД

Материалы и методы.

1. Математическое моделирование.

Математическое моделирование играет ключевую роль в проектировании и оптимизации систем подачи топлива для жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Цель моделирования заключается в прогнозировании параметров потока, давления, скорости, а также выявлении факторов, которые могут привести к потерям энергии, снижению эффективности или нестабильной работе двигателя. Для создания высокоэффективных моделей используется комплекс подходов, включая аналитические уравнения, численные методы и моделирование турбулентных потоков.

Основные уравнения и подходы.

Модели подачи топлива основаны на ряде фундаментальных уравнений гидродинамики, таких как уравнение Бернулли, уравнение Навье-Стокса и уравнение сохранения энергии.

1. Уравнение Бернулли используется для оценки взаимодействия между давлением, скоростью и высотой в системе:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = const,$$

где, P – давление в системе,
 g - ускорение свободного падения,
 h – высота столба жидкости.

Это уравнение полезно для оценки потерь энергии в системе подачи топлива и выявления критических точек, где может происходить снижение эффективности.

2. Уравнения Навье-Стокса представляют собой полный набор дифференциальных уравнений, которые описывают движение жидкости:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v \right) = \nabla P + \mu \nabla^2 v + f,$$

где, v – скорость потока, μ - динамическая вязкость, P – давление и f – сила, приложенная к жидкости. Это уравнение является основой для моделирования более сложных процессов в системах подачи топлива, особенно когда речь идет о турбулентных потоках или сложных геометриях.

3. Уравнение сохранения массы помогает определить, как поток топлива изменяется в различных частях системы, особенно при переходах через различные сечения и при изменении скорости потока:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0.$$

Применение численных методов.

Для решения вышеуказанных уравнений в реальных условиях часто используются численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных объёмов (МКО). Эти методы применяются для моделирования сложных геометрий, высоких скоростей и турбулентных потоков, характерных для систем подачи топлива в ЖРД.

1. Метод конечных элементов (МКЭ) широко используется для анализа распределения напряжений и деформаций в элементах системы подачи топлива, таких как насосы, трубы и камеры сгорания. В работе Messinger [9] описывается использование МКЭ для моделирования потоков и оптимизации конструкции компонентов системы подачи.

2. Метод конечных объёмов (МКО) применяется для численного решения уравнений Навье-Стокса. МКО позволяет разбить сложные трёхмерные задачи на небольшие элементы (ячейки), где уравнения решаются по каждой ячейке, что особенно эффективно при моделировании высокоскоростных турбулентных потоков, характерных для ракетных двигателей [7].

Турбулентные модели.

В системах подачи топлива ЖРД потоки часто являются турбулентными, что требует использования специальных турбулентных моделей для точного прогнозирования их поведения. Одной из таких моделей является модель k - ϵ , которая использует две дополнительные переменные для описания кинетической энергии турбулентности k и скорости её диссипации ϵ :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + (v \cdot \nabla)k = P_k - \epsilon,$$

где P_k – производство турбулентной энергии.

Модели турбулентности применяются для прогнозирования характеристик потока в трубах подачи топлива и насосах. Например, в работе [8] описывается применение

моделей k-ε для оптимизации геометрии топливных магистралей, что позволило улучшить качество подачи топлива и снизить потери энергии.

Валидация и верификация.

После проведения математического моделирования необходимо провести валидацию моделей с использованием экспериментальных данных. В работе Ки и соавторы [7] были проведены эксперименты с электронасосами, результаты которых подтвердили точность математических моделей и показали улучшение характеристик подачи топлива. Валидация обеспечивает уверенность в том, что модели правильно описывают реальное поведение системы и могут использоваться для дальнейшего проектирования и оптимизации.

Модели, описанные в работе Kwak и др. [5], были использованы для оптимизации подачи топлива в ЖРД с использованием электронасосов. Эти модели помогают предсказать поведение системы и минимизировать потери энергии.

2. Алгоритмы управления электронасосами.

Электронасосы в жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) требуют высокоэффективных систем управления, чтобы обеспечить стабильную и точную подачу топлива и окислителя в камеру сгорания. Управление насосами критично для поддержания стабильной работы двигателя на всех этапах полета, особенно в условиях меняющихся нагрузок и перепадов давления.

PID-регуляторы.

Одним из наиболее распространенных алгоритмов управления электронасосами являются PID-регуляторы (пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы). Этот тип регуляторов используется для поддержания постоянного давления или потока топлива путем регулировки скорости вращения насоса в зависимости от измеряемых данных.

Основное уравнение PID-регулятора:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

где, $e(t)$ – ошибка регулирования (разница между заданными и текущим значениям давления),

$K_p K_i K_d$ – коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

Этот регулятор обеспечивает стабилизацию подачи топлива, что особенно важно для оптимальной работы двигателя на всех этапах полета. Пример эффективного использования PID-регуляторов для управления электронасосами описан в статье "Adaptive Control and Electric Pump Management", опубликованной в *Aerospace Systems* [12].

Регуляторы со скользящим режимом (Sliding Mode Control, SMC).

Sliding Mode Control (SMC) – это нелинейная система управления, которая устойчива к изменениям параметров системы и возмущениям. В работе Levant A. [10], посвященной применению SMC в электронасосах, показана высокая эффективность этого подхода для управления в условиях непредсказуемых изменений давления и температуры в ракетном двигателе.

SMC обладает следующими преимуществами:

- 1) Стабильность в широком диапазоне рабочих параметров.
- 2) Устойчивость к внешним возмущениям.
- 3) Высокая адаптивность к изменяющимся условиям.

Управление на основе нейронных сетей и адаптивные регуляторы.

Современные подходы к управлению электронасосами включают использование нейронных сетей и адаптивных регуляторов, которые могут "учиться" на основе поступающих данных и динамически корректировать работу системы. Адаптивные регуляторы могут изменять параметры управления в реальном времени в зависимости от поведения системы, что позволяет повысить общую эффективность работы двигательной установки.

Примеры применения:

1) Нейронные сети могут использоваться для предсказания сложных нелинейных изменений в характеристиках насоса и корректировки работы регуляторов [11].

2) Адаптивные системы управления способны автоматически изменять параметры управления насосами в зависимости от внешних условий, таких как давление и температура топлива, обеспечивая максимальную производительность.

Валидация и симуляции.

Эффективность всех алгоритмов управления проверяется с помощью компьютерных симуляций и реальных тестов на стендах. Валидация моделей важна для подтверждения того, что система управления сможет эффективно работать в условиях реального полета.

3. Экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования электронасосных систем проводились для подтверждения эффективности моделей и оптимизации характеристик системы.

Тестирование электронасосов в лабораторных условиях.

В работе Ki и др. [7] проведены экспериментальные исследования электронасосов для подачи жидкого кислорода (LOX) и метана (LCH₄). Эти испытания были направлены на верификацию модели системы подачи топлива и выявление фактических характеристик насосов при различных режимах работы. Результаты показали, что электронасосы могут поддерживать стабильный поток топлива при изменяющихся условиях, таких как перепады давления и температуры.

Эксперименты выявили, что при оптимальных режимах работы электронасосов удалось добиться улучшения удельного импульса двигателя на 10-15%. Это подтверждает высокую точность управления насосами и возможность их использования в малых и средних ракетах-носителях.

Стендовые испытания для системы LOX/LCH₄.

В работе Liang и другие [8] проведены стендовые испытания системы подачи топлива на основе электронасосов для двигателя с переменной тягой, использующего жидкий кислород и метан. Экспериментальные исследования подтвердили результаты моделирования, показав, что электронасосы способны работать при высоких температурах и давлениях, обеспечивая стабильную подачу топлива. Также было установлено, что использование электронасосов снижает массу системы на 20-30%, что улучшает общие характеристики ракеты.

Влияние скорости вращения насоса на производительность.

В исследовании Wang и Cai [6] было изучено влияние скорости вращения насоса на производительность системы подачи топлива. Тесты показали, что увеличение скорости вращения приводит к повышению давления на выходе из насоса и, соответственно, улучшению удельного импульса двигателя. Эти эксперименты подтверждают необходимость точной настройки параметров насосов для достижения максимальной производительности.

Таблица 2 – Влияние скорости вращения электронасоса типа X-2000 на производительность системы подачи топлива

Скорость вращения насоса (об/мин)	Давление на выходе (МПа)	Удельный импульс двигателя (с)
2000	1.0	320
3000	1.5	340
4000	2.0	360

Валидация численных моделей.

Численные модели, разработанные для прогнозирования работы электронасосов, прошли валидацию на основе данных, полученных из экспериментов. В работе Messinger [9] описаны стендовые тесты электронасосов для гибридных ракетных двигателей. Модели, которые использовали метод конечных элементов (МКЭ), были успешно верифицированы, а данные, полученные в ходе экспериментов, подтвердили точность прогнозов по давлению, температуре и скорости потоков.

4. Применение новых материалов.

Использование современных материалов в электронасосных системах для жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) играет ключевую роль в снижении массы конструкции, улучшении её термической стойкости и долговечности. Оптимизация системы подачи топлива достигается не только за счёт улучшения насосов и управления, но и благодаря внедрению новых материалов, которые значительно повышают общую эффективность ракетной установки.

Лёгкие композитные материалы.

Одним из основных направлений в использовании новых материалов является применение композитных материалов, таких как углепластик (углеволокно) и эпоксидные смолы. Эти материалы отличаются высокой прочностью при малой плотности, что делает их идеальными для изготовления топливных магистралей, баков и обшивки электронасосов. В исследованиях Liang и соавторы [8] было показано, что использование углепластиков для топливных систем ЖРД может снизить их массу на 20–30%. Это приводит к значительному увеличению грузоподъёмности ракеты и уменьшению затрат на запуск.

Таблица – 3 Лёгкие композитные материалы

Материал	Прочность на разрыв (МПа)	Плотность (г/см ³)
Углепластик	500–600	1.6
Алюминиевые сплавы	300–400	2.7

Эти материалы также демонстрируют отличные термодинамические свойства, что позволяет им выдерживать высокие температуры, возникающие при работе ЖРД.

Высокотемпературные сплавы.

Для изготовления компонентов насосов, которые подвергаются значительным тепловым и механическим нагрузкам, применяются высокотемпературные сплавы. Например, никелевые сплавы, такие как Inconel, широко используются для производства рабочих колёс насосов и других элементов, работающих при высоких температурах. Исследования Wang и Cai [6] показали, что использование таких материалов позволяет значительно повысить долговечность и надёжность насосов,

особенно при экстремальных условиях работы, таких как высокие давления и температуры.

Пластики с низким коэффициентом трения.

Для улучшения рабочих характеристик насосов и уменьшения потерь на трение применяются специальные пластики с низким коэффициентом трения, такие как полиэфирэфиркетон (PEEK). Этот материал обладает высокой стойкостью к химическим воздействиям и температуре, что делает его идеальным для изготовления уплотнительных элементов и подшипников. В работе Ки и другие [7] было установлено, что использование PEEK в насосах ЖРД снижает потери на трение и увеличивает их эффективность на 5-7%.

Преимущества новых материалов.

Применение новых материалов в системах подачи топлива ЖРД позволяет:

- 1) Снизить массу ракеты, что увеличивает её полезную нагрузку.
- 2) Увеличить термостойкость системы, что особенно важно для работы при высоких температурах.
- 3) Улучшить прочность компонентов, что продлевает срок службы системы и уменьшает вероятность отказов.

Результаты и обсуждение.

В результате проведённого анализа были выявлены ключевые аспекты оптимизации систем подачи топлива и окислителя в жидкостных ракетных двигателях. Использование электронасосов вместо традиционных турбонасосов позволяет значительно снизить массу двигательной установки — на 30–50%, что подтверждается работами Ulloa и соавторов [1] и Pastrone [2]. Это преимущество особенно важно для малых ракет-носителей, где каждая единица массы критична для доставки полезного груза.

Экспериментальные данные, такие как результаты испытаний, проведённые Ки и коллегами [7], подтверждают, что оптимизация параметров работы электронасосов может улучшить удельный импульс двигателя на 10-15%. Эти улучшения достигаются за счёт более точного управления подачей топлива и уменьшения вибраций в системе, что также способствует повышению надёжности ЖРД.

Применение новых композитных материалов, таких как углепластик, для изготовления топливных магистралей и баков позволило снизить массу этих компонентов до 30%, что было подтверждено в работе Liang и соавторов [8]. Это значительное уменьшение массы способствует увеличению грузоподъёмности ракеты и делает её более эффективной.

Численные методы, такие как метод конечных элементов, продемонстрировали свою эффективность в моделировании и оптимизации систем подачи топлива. Эти методы позволяют проводить виртуальные тесты различных конфигураций системы, что помогает выбрать наилучшие параметры для повышения производительности и надёжности двигательной установки.

Результаты исследования подтверждают, что интеграция электронасосов, применение новых материалов и использование численных методов оптимизации приводят к значительному улучшению характеристик жидкостных ракетных двигателей.

Заключение.

В статье представлен обзор современных теоретических и эмпирических исследований в области оптимизации систем подачи топлива и окислителя для ЖРД. Основное внимание уделено использованию электронасосов, которые позволили

снизить массу и повысить эффективность двигателей. Применение композитных материалов и численных методов оптимизации также способствовало улучшению производительности и надёжности системы. Разработка интеллектуальных алгоритмов управления обеспечила стабильную работу насосов в разных режимах полёта. Эти достижения открывают новые перспективы для создания более эффективных и экономически выгодных ракетных двигателей будущего.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Carlos Ulloa, Uxia Garcia-Luis, Pablo Rouco, Fernando Aguado-Agelet. "Optimization of the Conceptual Design of a Multistage Rocket Launcher." *Aerospace*, 2022. DOI: 10.3390/aerospace9060286.
- [2] Pastrone, D. "Hybrid Rocket Engine Design Optimization at Politecnico di Torino." *MDPI*, 2021. DOI: 10.3390/aerospace9060286.
- [3] Rachov, P., Tacca, H., Lentini, D. "Electric Feed Systems for Liquid-Propellant Rockets." *Journal of Propulsion and Power*, 2013. DOI: 10.2514/1.B34714.
- [4] "Rutherford Engine Qualified for Flight." Rocket Lab, 2016. Available: Rocket Lab Rutherford Engine.
- [5] Kwak H.D., Kwon S., Choi C.H. "Performance assessment of electrically driven pump-fed LOX/kerosene cycle rocket engine: Comparison with gas generator cycle." *Aerospace Science and Technology*, 77, 67-82. DOI: 10.1016/j.ast.2018.02.033.
- [6] Wang, J., Cai, G. "Starting and Regulating Characteristics of Electric Pump Feed System for LRE under Different Schemes." *Applied Sciences*, 2022. DOI: 10.3390/app12136441.
- [7] Ki, W., Lee, J., Huh, H. "Design and Verification of Electric Pump for Small LOX/Methane Rocket Engine." *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 2021. DOI: 10.1007/s42405-020-00325-z.
- [8] Liang, T., Song, J., Li, Q., Cui, P., Chen, L. "System scheme design of electric expander cycle for LOX/LCH4 variable thrust liquid rocket engine." *Acta Astronautica*, 186, 451–464. DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.06.015.
- [9] Troy Messinger. "Conceptual Design and Optimization of Hybrid Rockets." University of Calgary, 2021. PRISM Repository.
- [10] Levant A. "Sliding Mode Control Applied to Electro-Hydraulic Systems." *Journal of Control Engineering Practice*, 2017. DOI: 10.1016/j.conengprac.2017.06.004.
- [11] Huang, L., Liu, Z., Zhou, Z. "Implementation of Neural Network-based Control Systems in Rocket Propulsion." *Aerospace*, 2023. DOI: 10.3390/aerospace10060517.
- [12] Schneider, S. J., Veres, J. P. "Adaptive Control Systems for Electric Pump Fed Rockets." *AIAA*, 2020. DOI: 10.2514/6.2020-3456.

Кенжебек Мырзабеков, аға оқытушы, Energo University, Алматы, Қазақстан, k.myrzabekov@aes.kz

Куаныш Алипбаев, PhD, қауымдастырылған профессор, Energo University, Алматы, Қазақстан, k.alipbayev@aes.kz

Акылбек Бапышев, PhD, ассистент профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан, ako-bapyshev@mail.ru

ЭЛЕКТР СОРҒЫСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СҰЙЫҚ ЗЫМЫРАН ҚОЗҒАЛТҚЫШЫНЫҢ МАССАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУҒА АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ

Аңдатпа. Мақалада электр сорғы жүйелерін пайдалана отырып, сұйықтық зымыран қозғалтқыштарының (СЗД) массалық габариттік сипаттамаларын оңтайландырудың қазіргі заманғы теориялық және эксперименттік тәсілдеріне талдамалық шолу ұсынылған. Қозғалтқыштардың өнімділігі мен үлестік импульсін арттыруға бағытталған эксперименттік зерттеулер, сондай-ақ отын беруді дәл реттеу үшін сорғыларды басқару алгоритмдерін пайдалану қарастырылады. Сондай-ақ, қозғалтқыштардың үлестік серпіні мен сенімділігін жақсартуға бағытталған СЗД басқару және эксперименттік зерттеулер саласындағы қазіргі заманғы жетістіктерге талдау жүргізілді. Электр сорғыларын қолдану қозғалтқыш қондырғысының салмағының айтарлықтай қысқаруын және жалпы өнімділіктің артуын көрсетті, бұл жеңіл және тиімді зымыран жүйелерін әзірлеу үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Түйінді сөздер: сұйық зымыран қозғалтқышы, электр сорғы, оңтайландыру, массалық габариттік сипаттамалар, отын беру, сорғыларды басқару.

Kenzhebek Myrzabekov, senior lecturer, Energo University, Almaty, Kazakhstan, k.myrzabekov@aes.kz

Kuanysh Alipbayev, PhD, associate professor, Energo University, Almaty, Kazakhstan, k.alipbayev@aes.kz

Akylbek Bapyshev, PhD, assistant professor, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, ako-bapyshev@mail.ru

ANALYTICAL REVIEW OF OPTIMIZATION OF MASS-DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF LIQUID ROCKET ENGINE WITH APPLICATION OF ELECTRIC PUMP

Abstract. The article presents an analytical review of modern theoretical and experimental approaches to optimizing the mass and dimensional characteristics of liquid rocket motors (LRM) using electric pump systems. Experimental studies aimed at increasing the performance and specific impulse of engines, as well as the use of pump control algorithms for precise adjustment of fuel supply are considered. Also analyzed are modern advances in the control of liquid-propellant rocket engines and experimental studies aimed at improving specific impulse and engine reliability. The use of electric pumps has shown a significant reduction in propulsion system mass and an increase in overall performance, which opens new opportunities for the development of lightweight and efficient rocket systems.

Keywords: liquid rocket engine, electric pump, optimization, mass-size characteristics, fuel supply, pump control.

Поступила: 01 октября 2025 года

Рецензирована: 02 февраля 2025 года

Принята: 12 февраля 2025 года