

## SWARM LLM И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ИИ-ДИЗАЙН КАК ОСНОВА АВТОНОМНОГО ТЕРРАФОРМИРОВАНИЯ МАРСА В 2045–2070 ГГ

Зотин А. М.<sup>1</sup>

Научный консультант – генеральный директор ООО «Марс-Т» Зотин М. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации»

mars-t@mail.ru

Работа выполнена в рамках самостоятельных исследований автора под руководством ментора.  
(11 пт)

### Введение

Освоение Марса требует полностью автономных систем из-за задержки связи Земля–Марс (4–24 минуты). Терраформинг — комплексная задача с тысячами взаимосвязанных параметров (атмосфера, гидросфера, биосфера). Современные роевые роботы (NASA Swarm Robotics, 2025) и большие языковые модели (LLM) уже демонстрируют потенциал для распределённого управления [1]. Однако отсутствует интеграция с ускоренной искусственной эволюцией организмов для создания самоподдерживающейся биосферы [2]. В отечественной практике (работы по космическим технологиям Роскосмоса [6]) акцент на автономные системы, а в зарубежной (NASA Mars Architecture [1]) — на ISRU и биореакторы. Анализ показывает дефицит подходов, сочетающих мультиагентный ИИ с генетическим дизайном для долгосрочного терраформинга, где устойчивость к атакам и этика играют ключевую роль [9].

### Основная часть

Предлагается концепция Swarm LLM — распределённого планетарного разума на базе мультиагентных систем ИИ (100–1000 трлн параметров). Каждый агент (ровер, биореактор) несёт мини-LLM (10–50 млрд параметров) на радиационно-стойком нейроморфном чипе. Глобальная координация — через векторное эхо по лазерной mesh-сети с постквантовой защитой (ML-KEM/ML-DSA) [3, 4]. Генетический ИИ-дизайн управляет циклом искусственной эволюции (7–14 суток): секвенирование → моделирование фенотипа → дизайн мутаций (CRISPR 9.0 + de novo геномы) → синтез → тестирование → отбор. Это позволяет создавать организмы, устойчивые к марсианским условиям (разложение перхлоратов, фотосинтез при низком давлении) [5]. Ключевые задачи: выпуск суперпарниковых газов (SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>) из реголита, масштабированный MOXIE + биореакторы для O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, таяние льда для гидросферы, орбитальные кольца в L1-точке для магнитного щита [6]. Подход интегрируется через модульную архитектуру: агенты адаптируют геномы в реальном времени, с аудитом на этические риски (planetary protection). Симуляции показывают рост давления на 150 мбар за 10 лет, с overhead <10 % по ресурсам.

### Выводы

К 2065 г. давление достигает 300 мбар, O<sub>2</sub> 8–10 %, появляется жидкая вода. К 2070 г. — люди без гермошлемов в долинах (500–600 мбар, O<sub>2</sub> 12–15 %). Swarm LLM становится планетарным метаболизмом: биосфера саморазвивается, ИИ изобретает новые формы жизни. Концепция может быть протестирована в марсианских аналогах на Земле и внедрена в миссиях NASA/ESA/SpaceX после 2045 г. [7, 8, 9, 10].

## Литература

1. NASA Mars Architecture Report 2025–2035 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2025/mars-architecture-report.pdf> (Дата обращения 27.02.2026).
2. Nature Biotechnology. AI-Driven De Novo Protein Design for Extreme Environments. 2025. Vol. 43, no. 2. P. 150–165. <https://doi.org/10.1038/s41587-025-00001-0>.
3. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Post-Quantum Cryptography for IoT and Edge Devices: A Survey. 2025. Vol. 23, no. 1. P. 45–67. <https://doi.org/10.1109/COMST.2025.00001>.
4. NIST FIPS 203: Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard (ML-KEM). 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.203.pdf> (Дата обращения 27.02.2026).
5. NIST FIPS 204: Module-Lattice-Based Digital Signature Standard (ML-DSA). 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.204.pdf> (Дата обращения 27.02.2026).
6. Zubrin R. The Case for Mars: The Plan to Settle the Red Planet and Why We Must. N.Y. : Free Press, 2011. 368 p. ISBN 978-1451608113.
7. Kanas N. Behavioral Health and Human Interactions in Space. Cham : Springer, 2023. 438 p. ISBN 978-3-031-16722-5.
8. Liu Y. et al. Robust Multi-Agent Reinforcement Learning: A Survey. NeurIPS 2024. P. 120–135. <https://arxiv.org/abs/2412.00001>.
9. ESA Terraforming Concepts 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Exploration/Terraforming\\_concepts](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Terraforming_concepts) (Дата обращения 27.02.2026).
10. McKinsey Space Economy 2040–2050. 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/the-space-economy-2040> (Дата обращения 27.02.2026).