

## **Digital twin–based decision support system for pipeline condition monitoring and remaining life assessment**

**Zaid Khaddour**<sup>1</sup> (post-graduate student)  
**Scientific supervisor – PhD, Professor Alexey A. Vedyakov**<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ITMO University  
zaid.khaddour@gmail.com

### **Abstract**

The oil and gas industry operates under high-risk conditions characterized by infrastructure degradation, operational uncertainty, and environmental sensitivity. Effective integrity management of pipeline systems requires continuous monitoring, defect evaluation, degradation prediction, and maintenance decisions based on safety and economic criteria. Although decision support systems are widely applied in this field, most remain fragmented and do not provide an integrated framework linking monitoring data, structural assessment, remaining life estimation, and maintenance planning.

This work develops a digital twin–based decision support system for pipeline condition monitoring and remaining life assessment. The digital twin is defined as a continuously updated representation of the physical asset linked to inspection and operational data with predictive capability [1]. A deterministic integrity core for corrosion defects is implemented using the Modified B31G method, enabling calculation of allowable pressure, utilization ratio, and structural adequacy indicators. Further development will extend the model toward a probabilistic, time-evolving digital twin incorporating uncertainty propagation and degradation dynamics [2].

### **Keywords**

digital twin; decision support system; pipeline integrity; remaining life

## **Цифровой двойник на основе системы поддержки принятия решений для мониторинга состояния трубопроводов и оценки остаточного ресурса**

**Хаддур Зейд**<sup>1</sup> (аспирант)  
**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент, Ведяков А. А.**<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Университет ИТМО  
zaid.khaddour@gmail.com

### **Аннотация**

Нефтегазовая отрасль функционирует в условиях повышенного риска, включающих масштабную инфраструктуру, старение оборудования, эксплуатационную неопределенность и экологическую чувствительность. Управление целостностью трубопроводных систем требует непрерывного сбора данных о состоянии, анализа дефектов, прогнозирования деградации и выбора мероприятий по техническому обслуживанию с учетом требований безопасности и экономической эффективности. Несмотря на широкое применение систем поддержки принятия решений, большинство существующих решений остаются фрагментарными и ориентированы на отдельные задачи без формирования интегрированной архитектуры, объединяющей мониторинг, оценку прочности, прогноз остаточного ресурса и планирование обслуживания.

В работе разработана система поддержки принятия решений на основе цифрового двойника для мониторинга состояния трубопроводов и оценки остаточного ресурса. Цифровой двойник рассматривается как динамически обновляемое представление физического объекта, связанное с данными инспекций и эксплуатации и обладающее прогностическими возможностями. В качестве начальной реализации используется детерминированное прочностное ядро для дефектов коррозионного типа на основе метода Modified B31G. Дальнейшее развитие направлено на расширение модели до вероятностного, эволюционирующего во времени цифрового двойника с учетом неопределенности измерений и параметров деградации.

## Ключевые слова

цифровой двойник; система поддержки принятия решений; целостность трубопроводов; остаточный ресурс

Oil and gas pipeline networks operate under strict safety and environmental requirements. Integrity management relies on heterogeneous information including inspection data, operational measurements, and expert conclusions. Decision Support Systems have been applied using multi-criteria decision-making approaches [3] and uncertainty-aware evaluation frameworks [4]. However, most existing solutions address isolated tasks and do not provide an integrated architecture connecting monitoring, structural integrity assessment, remaining life estimation, and maintenance planning.

In this work, the digital twin is implemented as a structured representation of pipeline segments and corrosion defects derived from inspection and operational records. Parameters are validated and transformed into features forming the digital state of the pipeline. Structural integrity is evaluated using a deterministic operator based on the Modified B31G method, calculating allowable pressure, utilization ratio, and adequacy classification. This deterministic backbone provides interpretable safety indicators and enables identification of segments requiring attention.

Further development will extend the deterministic model toward a probabilistic, time-evolving digital twin by introducing uncertainty propagation and degradation modeling consistent with probabilistic digital twin formulations. This extension will enable remaining life prediction, quantified failure probability, and risk-informed maintenance optimization.

## Literature

1. Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., and Hicks, B. “Characterising the Digital Twin: A systematic literature review.” In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 29 (2020), pp. 36–52. ISSN: 1755-5817. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581720300110>.
2. Tripura, T., Desai, A. S., Adhikari, S., and Chakraborty, S. “Probabilistic machine learning based predictive and interpretable digital twin for dynamical systems.” In: *Computers and Structures* 281 (2023), p. 107008. ISSN: 0045-7949. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2023.107008>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004579492300038X>.
3. Stoianova, A., Stoianova, O., Trofimets, V., and Matrokhina, K. “Structural Model of Decision Support System for Sustainable Development of Oil and Gas Companies.” In: *International Journal of Engineering* 38 (Jan. 2025), pp. 701–9. DOI: 10.5829/ije.2025.38.04a.03.
4. Sarfaraz, A., Karbassi Yazdi, A., Hanne, T., Hosseini, R., and Mazhari, M. “A Decision Support System for Evaluating Success Factors of Projects in the Oil and Gas Industry.” In: *Mathematical Problems in Engineering* 2022 (Nov. 2022), pp. 1–18. DOI: 10.1155/2022/6358562.

Author

Zaid Khaddour

Scientific Supervisor

Alexey A.Vedyakov