***А.А. Левашов***

# АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОРСКИх ПОРТОв

*ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта»,*

*г. Донецк, Россия*

*artur.levashoff@mail.ru*

В эпоху цифровой трансформации информация стала ключевым ресурсом для принятия решений. Рост объемов данных требует эффективных методов их обработки, анализа и представления. Визуализация информации, основанная на компьютерных методах, позволяет преобразовывать сложные массивы данных в интуитивно понятные графики, диаграммы и интерактивные интерфейсы.

Современные порты – это многоуровневые системы, выполняющие погрузку/разгрузку, хранение грузов, управление транспортом, экологический мониторинг и решение логистических задач, обеспечивающих эти процессы. Ручное управление такими процессами ведёт к ошибкам, задержкам и неэффективному использованию ресурсов. Существуют системы позволяющие контролировать вышеперечисленные процессы, например отечественный продукт 1С: TMS Логистика, 1С: Комплексная автоматизация. Данные конфигурации включают в себя следующие инструменты визуализации: таблицы и списки для отображения рейсов и заказов, диаграммы Ганта для визуализации графика работы транспорта и сотрудников, 2D карты для отображения маршрутов и местоположения транспорта, графы сети для схемы логистических узлов и связей (в 2D). Однако 3D визуализация операций, складов или транспортных потоков не предусмотрена.

При помощи мощных и современных инструментов визуализции т.к. 2D и 3D можно в режиме реального времени централизованно контролировать все этапы работы и объединять данные в единую модель предоставляя возможность видеть, например:

* текущую загрузку терминалов;
* движение судов и грузовиков;
* работу оборудования (например, процент износа кранов).

Целью работы является повышение эффективности, безопасности, управляемости и прозрачности логистических операций в производственно-технологических процессах морского порта за счет применения современных средств визуализации.

Для достижения цели в работе поставлены и решины следующие задачи:

* выделить типы задач в морском порту решению которых способствует визуализация;
* сформулировать критерии выбора инструментов визуализации;
* охарактеризовать выбранные инструменты визуализации.

Визуализация производственно-технологических процессов морского порта позволяет решить следующие задачи [1].

1. **Оптимизация ресурсов и снижение затрат**

* Минимизация простоев судов. Задержка одного судна может стоить десятки тысяч долларов в сутки. Визуализация помогает распределять причалы и технику так, чтобы сократить время ожидания.
* Эффективное использование складов. Карта загруженности хранилищ в реальном времени предотвращает их переполнение.
* Снижение энергопотребления. Анализ графиков нагрузки на оборудование позволяет отключать неиспользуемые узлы.

1. **Прогнозирование и предотвращение аварий**

* Цифровые двойники порта моделируют сценарии:

Как повлияет шторм на график разгрузки?

Что случится, если выйдет из строя кран?

* Визуализация показывает «слабые места» (например, износ тросов кранов) и позволяет заранее планировать ремонт.

1. **Повышение безопасности и соблюдение норм**

* Контроль опасных ситуаций. Например: визуальное отображение зон с высоким уровнем риска (утечка химикатов). Тепловые карты позволяют отслеживать перемещения персонала для снижения травматизма.
* Экологический мониторинг. Отслеживание выбросов CO₂, уровня шума, загрязнения воды.

1. **Ускорение принятия решений**

* Интерактивные дашборды показывают:

Какие причалы перегружены прямо сейчас.

Где возникают задержки из-за погодных условий.

Пример: Диспетчер может перенаправить грузовик на другой склад за 2 клика, увидев пробку на карте.

1. **Обучение персонала и симуляция ЧС**

* Виртуальные тренажёры:

Новые сотрудники учатся управлять кранами или координировать логистику в безопасной 3D-среде. Моделирование аварий (пожар, разлив нефти) для отработки действий бригад. Всё это приводит к существенной экономии времени и ресуросов, по причине того, что не нужно останавливать реальные процессы для тренировок.

1. **Прозрачность для клиентов и партнёров**

* Онлайн-доступ к данным:

Судовладельцы видят, когда их судно будет разгружено, а клиенты отслеживают груз в режиме реального времени на карте порта.

Вышеперечисленные задачи решают с помощью инструментов 2D и 3D визуализации, GIS платформы, а также backend решений для обработки бизнес-логики, работы с базами данных, обеспечения безопасности и интеграции с внешними сервисами.

В данной работе проводится анализ современных технологий визуализации для управления портовой инфраструктурой, включая логистику, обработку грузов и мониторинг оборудования.

**Критерии выбора инструментов**

* Производительность: Обработка больших объёмов данных и рендеринг сотен объектов без задержек [2-3].
* Гибкость: Возможность кастомизации под уникальные требования порта (например, специфичные схемы причалов).
* Интеграция: Поддержка API для подключения к базам данных, GIS-системам, IoT.
* Масштабируемость: Расширение функционала (добавление 3D-моделей, AI-аналитики).
* Доступность: Наличие документации, сообщества и готовых решений.

**Анализ инструментов и технологий**

Для решения задач связанных с 2D визуализацией применяют: D3.js, Konva, SVG.js.

D3 (или D3.js) - это бесплатная библиотека JavaScript с открытым исходным кодом для визуализации данных [4]. Ее низкоуровневый подход, основанный на веб-стандартах, обеспечивает непревзойденную гибкость в создании динамической графики, управляемой данными.

Достоинства: Мощная аналитика, построение графов и диаграмм.

Недостатки: Сложность реализации интерактивных конструкторов.

Konva – это фреймворк HTML5 Canvas JavaScript, который расширяет 2D-контекст, обеспечивая интерактивность холста для настольных и мобильных приложений. Konva обеспечивает высокопроизводительную анимацию, переходы, вложение узлов, наложение слоев, фильтрацию, кэширование, обработку событий для настольных и мобильных приложений и многое другое [5].

Достоинства: Готовые инструменты для drag-and-drop, анимаций, работа с Canvas.

Недостатки: Ограниченная поддержка сложной векторной графики.

SVG.js – это легковесная JavaScript-библиотека для работы с векторной графикой (SVG) в веб-приложениях [6]. Она упрощает создание, управление и анимацию SVG-элементов, предлагая интуитивно понятный API.

Достоинства: Высокая детализация, масштабирование без потерь качества.

Недостатки: Падение производительности при большом числе объектов.

Для решения задач, связанных с 3D-моделированием, применяют: Three.js, Babylon.js.

Three.js – это мощная и популярная библиотека JavaScript для создания интерактивной 3D-графики в браузере [7].

Достоинства: Поддержка WebGL, создание сложных 3D-сцен (например, портовых терминалов).

Недостатки: Высокий порог входа для новичков.

Babylon.js - это open-source фреймворк для создания 3D-приложений и игр на основе WebGL/WebGPU [8].

Достоинства: Оптимизация для промышленных визуализаций, встроенная физика.

Недостатки: Сложнее для новичков, чем Three.js, требует знаний 3D-математики.

Для решения задач связанных с визуализацией пространственных данных применяют GIS-платформы: OpenLayers, ArcGIS.

OpenLayers – open-source JavaScript библиотека для создания интерактивных веб карт [9].

Достоинства: Интеграция карт, маршрутизация, работа с геоданными.

Недостатки: Ограниченная кастомизация сложных объектов.

ArcGIS – это GIS-платформа, используемая для управления, анализа и визуализации геопространственных данных. Она охватывает весь цикл работы с геоданными: от сбора данных в полевых условиях до создания интерактивных веб-карт и сложной аналитики.

Достоинства: Готовые решения для логистики, анализ пространственных данных.

Недостатки: Высокая стоимость лицензий.

Для решения задач, связанных с обработкой бизнес-логики, работы с базами данных, обеспечения безопасности и интеграции с внешними сервисами используются Backend-решения: Python (Django/Flask), Node.js, Java/C#.

Достоинствами Python (Django/Flask) являются быстрая разработка, интеграция с ML-алгоритмами для прогнозирования.

Достоинствами Node.js являются единый язык для фронтенда и бэкенда, поддержка WebSockets для реального времени.

Достоинствами Java/C# являются высокая производительность для CPU-интенсивных задач (например, оптимизация маршрутов).

## Заключение

Цифровая трансформация привела к появлению достаточного количества информации о производственно-технологических процессах морского порта в виде, пригодном для компьютерной визуализации с целью повышения эффективности, безопасности, управляемости и прозрачности логистических операций.

В работе были выделены типы задач в морском порту решению которых способствует визуализация, сформулированы критерии выбора инструментов визуализации, а также охарактеризованы выбранные инструменты визуализации.

Полученные результаты планируются к использованию при разработке веб-приложения для визуализации производственных процессов с применением элементов онтологического моделирования применительно к технологическим процессам морского порта.

## Список источников

1. Технологический процесс работы порта [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/1853310/page:15/>
2. Tufte, E. R. (2001). The Visual Display of Quantitative Information. Graphics Press.
3. Murray, S. (2017). Interactive Data Visualization for the Web. O’Reilly Media.
4. Документация D3.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://d3js.org/what-is-d3>
5. Документация Konva.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://konvajs.org/docs/index.html>
6. Документация SVG.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://svgjs.dev/docs/3.2/>
7. Документация Three.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://threejs.org/manual/#en/creating-a-scene>
8. Документация Babylon.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.babylonjs.com/>
9. Документация OpenLayers.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://openlayers.org/doc>