



РОСАТОМ

Команда «НИИстовые»

Задача 17

**Сервис для планирования маршрута
атомного ледокола по Северному
морскому пути**



Цель работы: сформировать оптимальное расписание движения судов по Северному морскому пути (СМП), их ледокольного сопровождения и формирования караванов на основе динамических данных о ледовой обстановке.

Задачи:

- исследование данных и литературы для формирования множества подходов к решению задачи;
- реализация интеллектуального алгоритма распределения ледоколов по доступным заявкам, учитывая динамическое изменение состояния льда;
- разработка архитектуры интеллектуальной системы построения графика движения ледоколов;
- реализация прототипа интеллектуальной системы построения графика движения ледоколов.





Проблемы в работе и выгода применения нашего решения

3

ПРОБЛЕМЫ

- **Отсутствие** оптимального алгоритма формирования графика движения ледоколов
- **Затраты** времени на ежедневное формирование графика движения ледоколов
- **Невозможность** учитывать динамичность изменения льдов при формировании графика движения ледоколов



РЕЗУЛЬТАТ

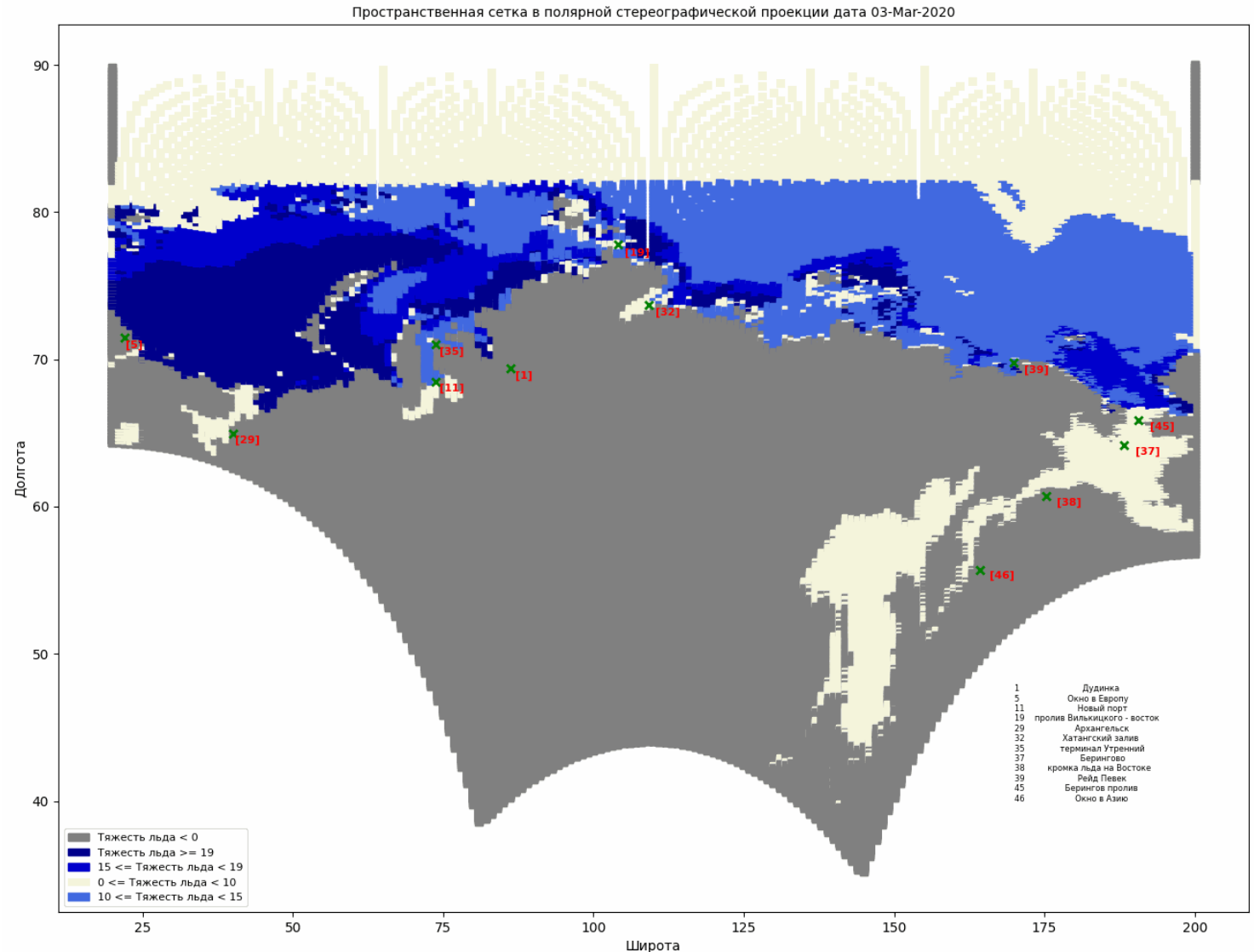
- **Предложен** алгоритм распределения ледоколов, который учитывает динамику изменения льда
- **Оперативный** расчет и визуализация графика работы ледоколов
- **Возможность** перерасчета графика движения ледоколов в зависимости от появившихся заявок и новых ледоколов



Исследование и общий анализ данных (EDA)

4

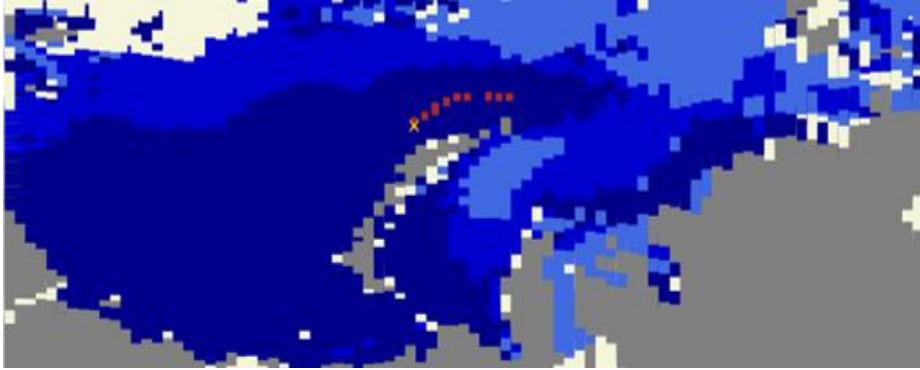
1. Построены пространственные сетки в стереографической проекции со значениями тяжести льда в разные периоды времени.
2. Построены узлы и ребра графа вероятных маршрутов взятых из исторических данных. Построены положения ледоколов и пример маршрута из заявок.
3. При анализе пространственной карты с отображением тяжести льда было замечено, что имеются узлы графа, которые находятся в зонах где тяжесть льда < 10 . По ТЗ данные области непроходимы.



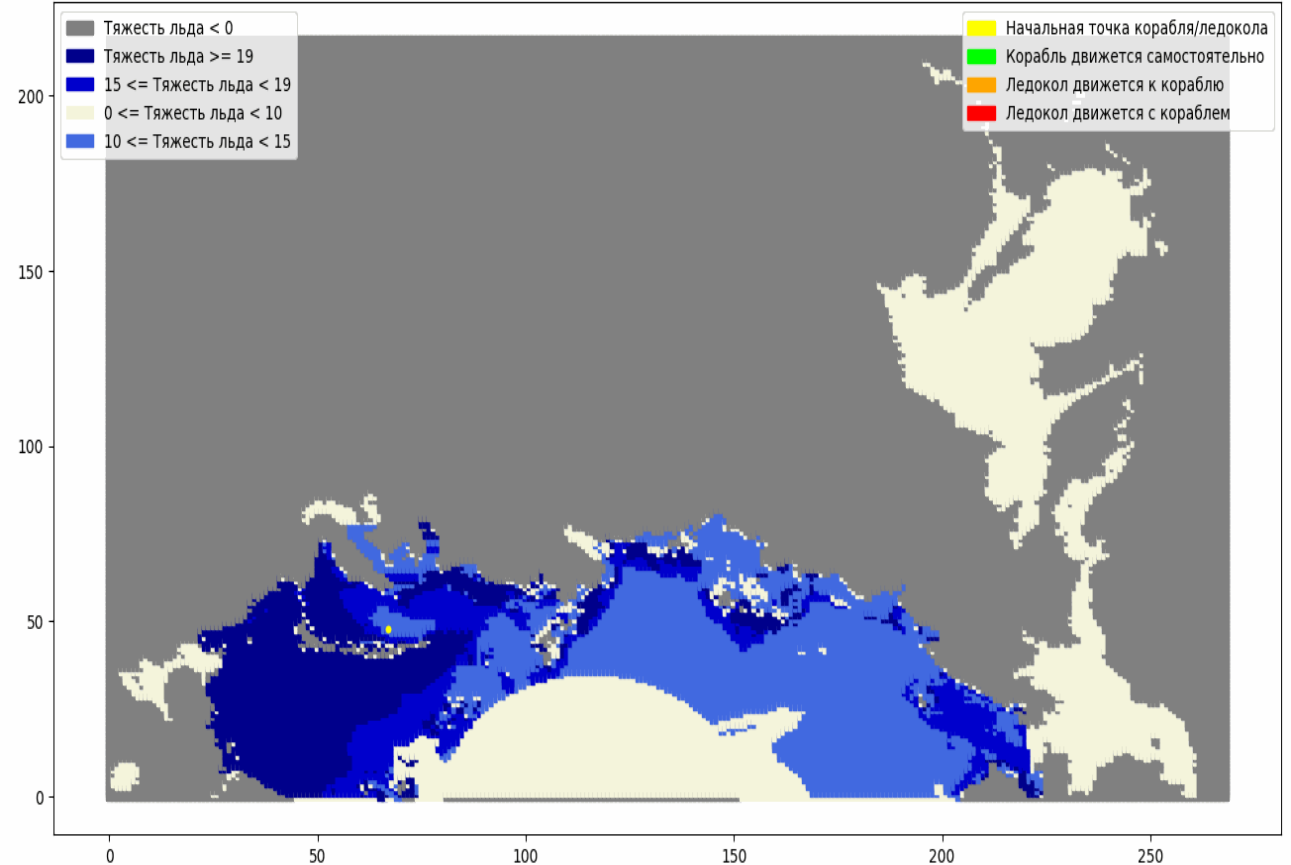


Исследование и общий анализ данных (EDA)

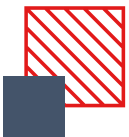
5



Маршрут для первой заявки, корабль - ДЮК II, ледокол - Вайгач, дата - 2022-03-01



На графиках представлен один и тот же маршрут, но в разных представлениях. На графике с пространственной картой виден отступ между соседними точками, тогда как на графике для матрицы все точки являются соседними.



Общая последовательность шагов для создание расписания работы ледоколов

6

На данной схеме представлена система планирования маршрутов и расписания движения судов по СМП с учетом состояния льдов и ледоколов.

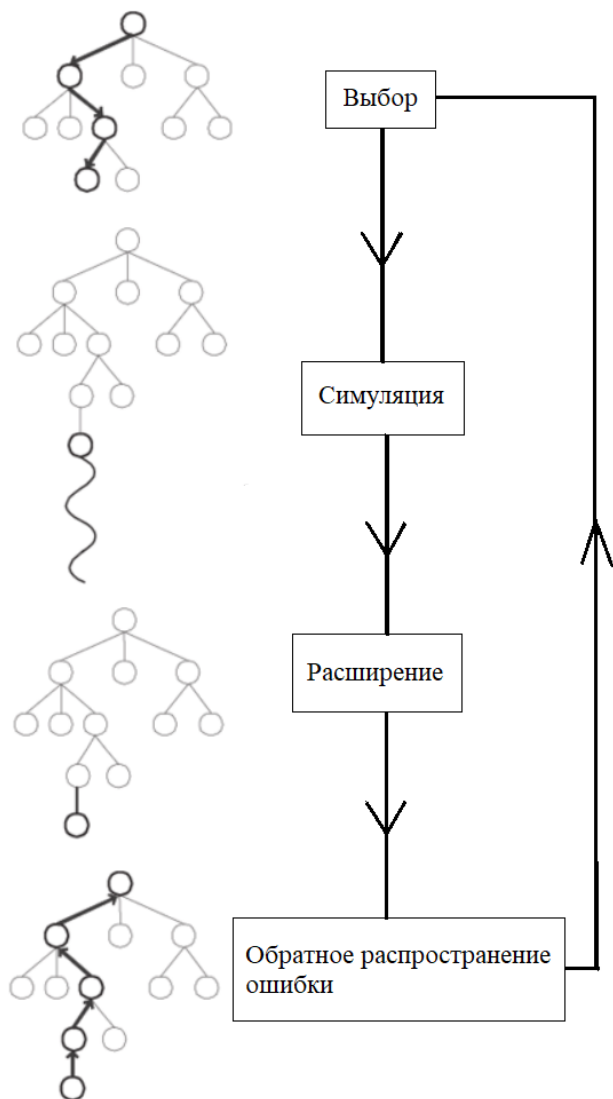
1. Сбор поступающих заявок, информации о состоянии льдов, количестве ледоколов и их местоположении.
2. Формирование «верхнеуровневого» графа портов, включающего географические координаты и расчетное время прохождения заявок с ледоколами и без между узлами графа. В качестве алгоритм поиска по ячейкам матрицы льдов используется **алгоритм А***.
3. Формирование оптимального расписания работы ледоколов и судов по СМП. В качестве алгоритма используется **Монте-Карло на решающих деревьях**.
4. Производится оценка качества выбора ледоколов для обеспечения эффективного сопровождения судов.
5. Все результаты, включая расписание движения ледоколов, сохраняются в базе данных для дальнейшего использования и анализа.





Алгоритм для составления оптимального расписания движения судов по СМП

7



Данная задача рассматривается как «игра с одним игроком», где в качестве награды используется суммарное время выполнения всех заявок. Для нахождения оптимальной стратегии используется вариация метода **Монте-Карло для поиска на деревьях**, который выполняется итеративно.

1. *Этап выбора.* Находясь в вершине p , выбор следующего узла дерева i делается путем нахождения максимального значения выражения:

$$v_i + C \times \sqrt{\frac{\ln n_p}{n_i}} + \sqrt{\frac{\sum r^2 - n_i \times v_i^2 + D}{n_i}} \quad (1)$$

где n_i это количество посещений узла i , v_i – средняя стоимость игры, r – результат игры на данный момент, D – константа, которая усиливает значение малопосещаемых вершин.

2. *Этап симуляции* заключается в том, что мы применяем **ϵ – жадный алгоритм** для выбора всех следующих ходов до конца игры, которые максимизируют вознаграждение, но с вероятностью ϵ производится случайный ход.

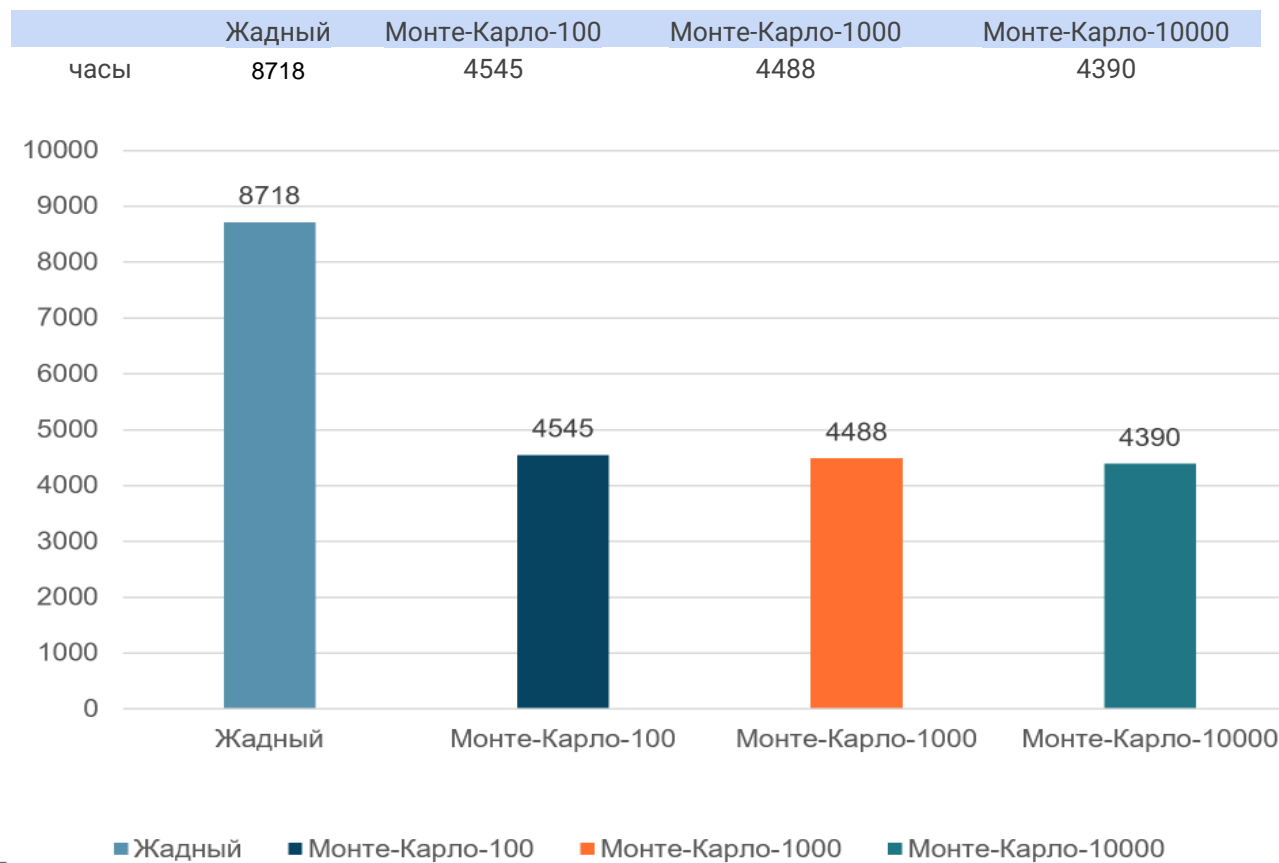
3. *Этап расширения.* На этом этапе мы выбираем лучший узел исходя из предыдущего шага, который добавим к финальному дереву.

4. *Этап обратного распространения ошибки.* На этом шаге мы обновляем результат игры и её стоимость на основе двух предыдущих этапов до корня нашего дерева.



Результаты проведенных исследований

В качестве метрики качества используется **общее время в часах на выполнение всех заявок**. В исследовании участвовало **40 заявок**, 2 заявки были невыполнимы из-за ограничений, описанных в ТЗ. На графике представлено сравнение базового **жадного** подхода и метода **Монте-Карло** на 100, 1000 и 10000 итерациях.



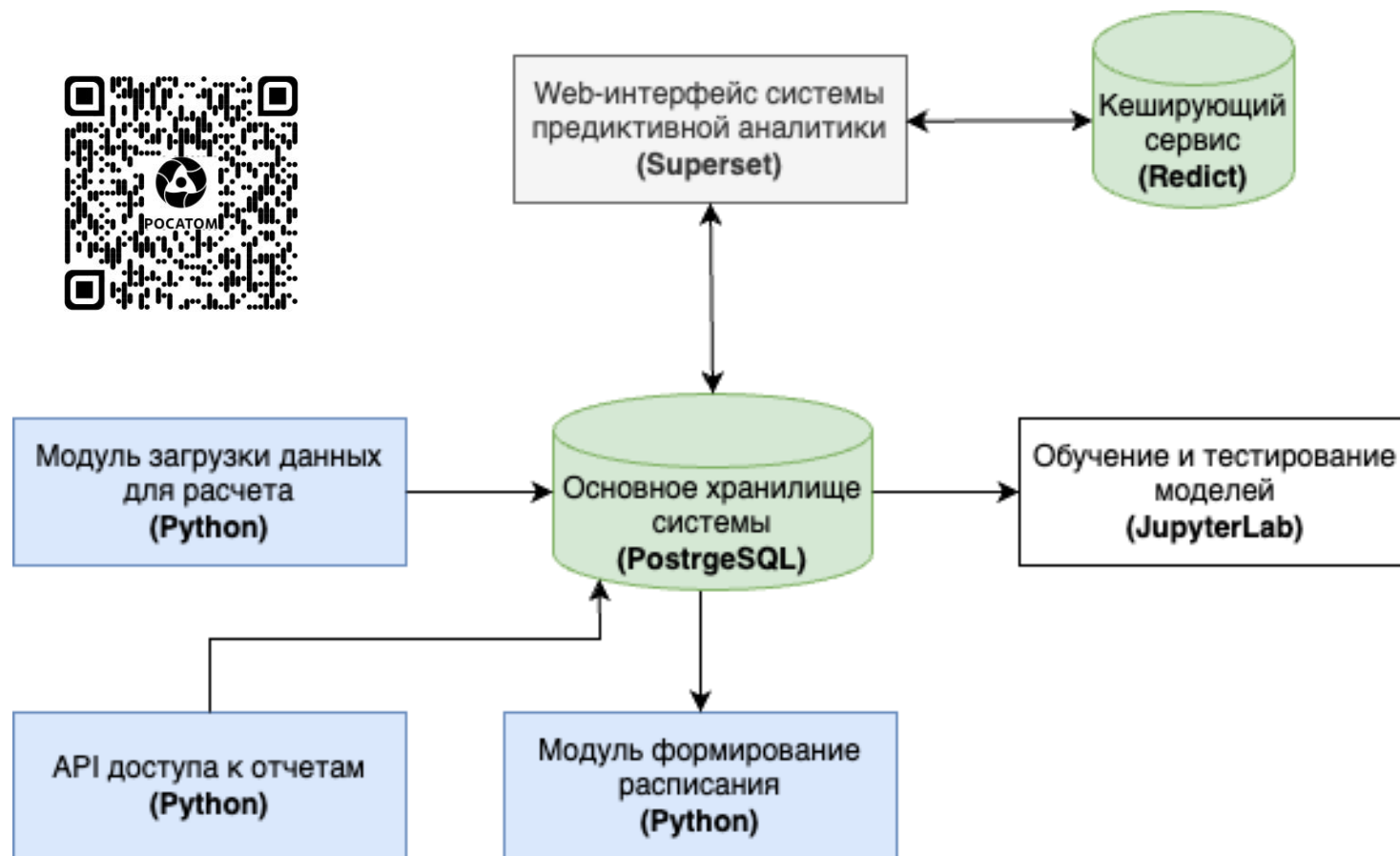


Функциональная архитектура системы

9

Технологический стек решения

- Язык программирования: *Python*
- BI-инструмент: *Superset*
- БД: *Postgres* (пользователи *SuperSet*), *Redis* (Кэш)
- Обучение моделей: *JupyterLab*
- Постановка задач в очередь на обработку (*Celery*, *Flower*)





10

количество судов, требующих ле

Ссылка на пользовательский интерфейс,
параметры авторизации в репозитории на **github**





В части исследования:

- Автоматизация процесса подбора гиперпараметров алгоритма Монте-Карло с использованием кросс-энтропии
- Ускорение процессов построение графа возможных переходов для судов

В части программного обеспечения:

- Добавление интеграционных механизмов взаимодействия с другими АСУ
- Автоматизация разворачивания (CI/CD)
- Расширение функционала дашбордов
- Расширение функционала в части добавления льдов



Максим
Кулагин

- ML-TeamLead
- @maksim_kulagin
- +7(999)114-50-52



Сергей
Михайлов

- ML-инженер
- @s_mikhailov_1
- +7(926)537-00-37



Герман
Янченко

- ML-инженер
- @xQQzme
- +7(921)107-36-56



Константин
Дьячков

- ML-инженер
- @diachkov1415
- +7(981)557-41-40



Алексей
Трушников

- MLOps
- @Twinshape
- +7(902)269-35-45