

Оптимизация процессов технического обслуживания ветропарков в AnyLogic

Пащенко Екатерина Александровна

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

В статье рассматривается применение агентно-ориентированного моделирования для решения задач управления техническим обслуживанием ветроэнергетических установок. Представлена оригинальная имитационная модель, включающая три ключевых агента: ветрогенераторы с вероятностной моделью отказов, мобильные ремонтные бригады и диспетчерский центр. Особое внимание уделено алгоритмам распределения ресурсов и приоритезации ремонтных операций. Модель реализована в среде AnyLogic с возможностью 3D-визуализации рабочих процессов. Полученные результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода для снижения времени простоя оборудования и оптимизации эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: ветроэнергетика, техническое обслуживание, агентное моделирование, оптимизация ремонтов, AnyLogic, цифровой двойник, логистика сервисных операций

Optimization of wind farm maintenance processes in AnyLogic

Paschenko Ekaterina Alexandrovna

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The article discusses the application of agent-based modeling to solve the problems of managing the maintenance of wind power plants. An original simulation model is presented, which includes three key agents: wind turbines with a probabilistic failure model, mobile repair teams and a dispatch center. Special attention is paid to algorithms for resource allocation and prioritization of repair operations. The model is implemented in the AnyLogic environment with the possibility of 3D visualization of workflows. The results obtained demonstrate the effectiveness of the proposed approach to reduce equipment downtime and optimize operating costs.

Keywords: wind energy, maintenance, agent-based modeling, optimization of repairs, AnyLogic, digital twin, logistics of service operations

1 Введение

1.1 Актуальность

Развитие ветроэнергетики как ключевого направления возобновляемой энергетики сопровождается необходимостью решения сложных задач технического обслуживания ветропарков. Особую сложность представляет организация ремонтных работ для оффшорных ветроустановок, где факторы труднодоступности и сложные погодные условия существенно увеличивают стоимость и продолжительность простоев. Традиционные методы планирования часто оказываются неэффективными из-за нелинейного характера отказов оборудования и необходимости координации различных типов ремонтных ресурсов. В этих условиях применение методов имитационного моделирования позволяет разрабатывать оптимальные стратегии обслуживания, учитывающие вероятностный характер отказов, логистические ограничения и экономические факторы.

1.2 Обзор исследований

В современной научной литературе активно исследуются возможности применения программной среды AnyLogic для решения различных прикладных задач. В своей работе Р.М. Мухтарбекова и соавторы разработали имитационную модель для оптимизации цепей поставок, продемонстрировав эффективность AnyLogic для анализа логистических процессов [1]. Е.Д. Скакальская и И.А. Самойлова рассмотрели создание транспортной модели перекрестка, подчеркнув преимущества агентного подхода при моделировании дорожного движения [2]. Н.А. Тихонова и коллеги описали методику обучения работе с AnyLogic, уделив особое внимание организации самостоятельной работы студентов [3]. В другом исследовании С.Л. Горобченко с соавторами применили AnyLogic для моделирования роботизированной упаковочной линии, показав возможности среды для оптимизации производственных процессов [4]. А.Д. Неустроев и Л.Ю. Сергиевичев использовали AnyLogic для прогнозирования суточной нагрузки, подтвердив универсальность инструмента для анализа временных рядов [5]. Н.С. Кулева и С.В. Пальмов в своем исследовании проанализировали возможности дискретно-событийного моделирования в данной среде, уделив особое внимание особенностям реализации сложных логистических процессов [6]. Ю.А. Шилова исследовала вопросы верификации имитационных моделей в AnyLogic на примере алгоритмов маршрутизации. Подчеркивается важность процедур проверки адекватности моделей, особенно при разработке сложных адаптивных алгоритмов управления [7].

1.3 Цель исследования

Цель исследования – разработка и апробация агентно-ориентированной модели системы технического обслуживания ветропарков, позволяющей анализировать и оптимизировать ключевые эксплуатационные процессы. Модель предназначена для оценки различных сценариев организации

ремонтных работ, включая динамику отказов оборудования, распределение ремонтных ресурсов и маршрутизацию транспортных средств.

2 Материалы и методы

Для создания имитационной модели перекрестка использовалось программное обеспечение AnyLogic 8 Personal Learning Edition версии 8.9.4.

3 Результаты и обсуждения

Среда AnyLogic представляет собой мощный универсальный инструмент для создания имитационных моделей различной сложности. Ее ключевой особенностью является поддержка трех парадигм моделирования: агентно-ориентированного, дискретно-событийного и системной динамики, что позволяет решать широкий спектр прикладных задач. Благодаря встроенным библиотекам и гибкому интерфейсу разработки, AnyLogic активно применяется для моделирования сложных динамических систем в таких областях, как логистика, производство, транспортные системы и энергетика.

Особую ценность AnyLogic представляет для задач, требующих сочетания разных подходов. Например, при моделировании системы обслуживания ветропарков можно одновременно использовать:

- агентное моделирование для представления отдельных ветрогенераторов и ремонтных бригад
- дискретно-событийный подход для описания процессов обработки заявок на обслуживание

В начале создания проекта по ремонту ветряной электростанции было создано основное поле Main для размещения объектов/агентов (рис. 1).

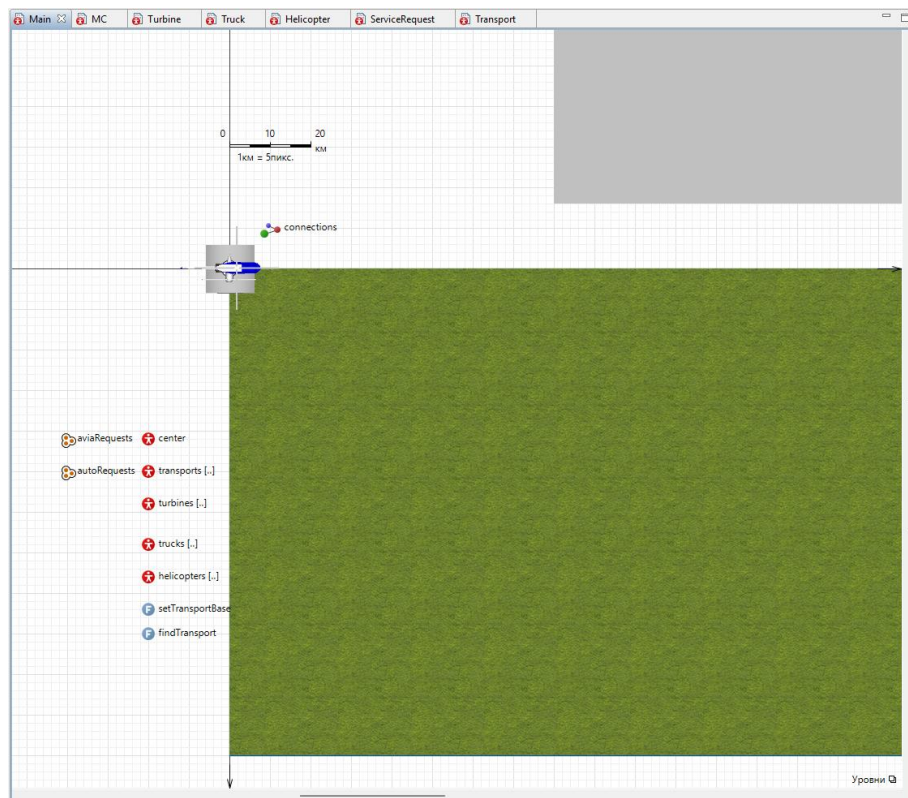


Рис. 1. Поле Main

После был размещен первый агент МС являющийся ангаром для будущего транспорта, так же была проведена настройка агента МС для более корректного отображения на модели (рис. 2).

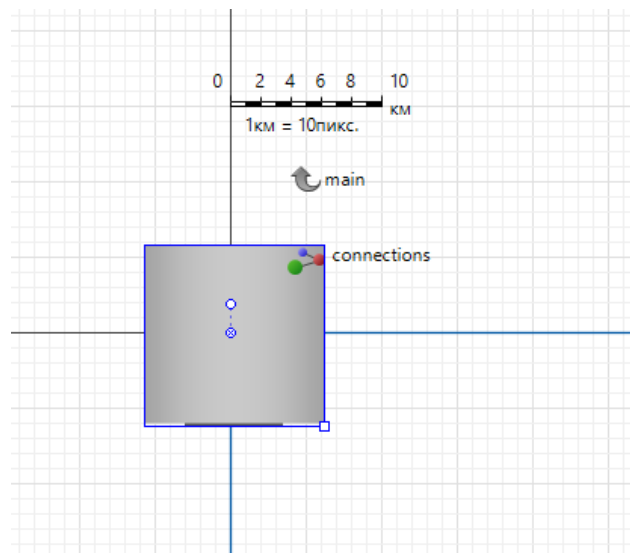


Рис. 2. Агент МС

Далее так же были добавлены агенты: Truck, Helicopter и Turbines имеющие соответствующие названиям модели (рис. 3).

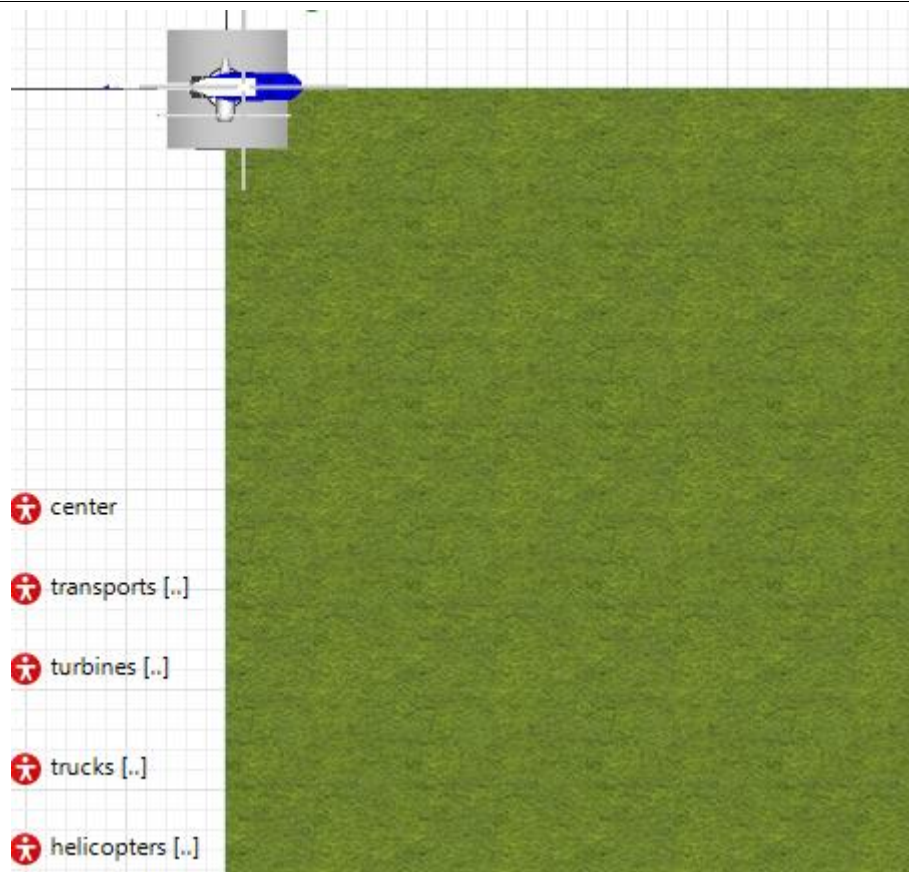


Рис. 3. Агенты: Truck, Helicopter, Turbines

У каждого состояния турбины есть своё действие при входе. Когда турбина нуждается в ремонте, она находится в состоянии неисправности и отправляет запрос на техническое обслуживание с помощью вертолёт. Если пришло время планового обслуживания, приходит запрос на автомобильный транспорт для проверки. У агента Turbines где был настроен алгоритм поломки ветряных электростанций. (рис. 4)

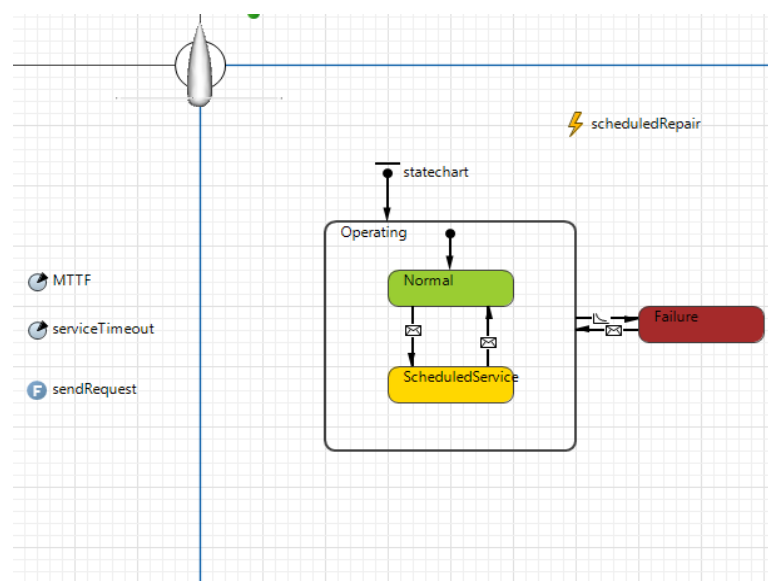


Рис. 4. Макет Turbines с алгоритмом поломки

После настройки агента Turbines были созданы еще два агента: ServiceRequest (рис.5) и Transport (рис. 6) чтобы создать логику поведения транспорта для ремонта наших электростанций.

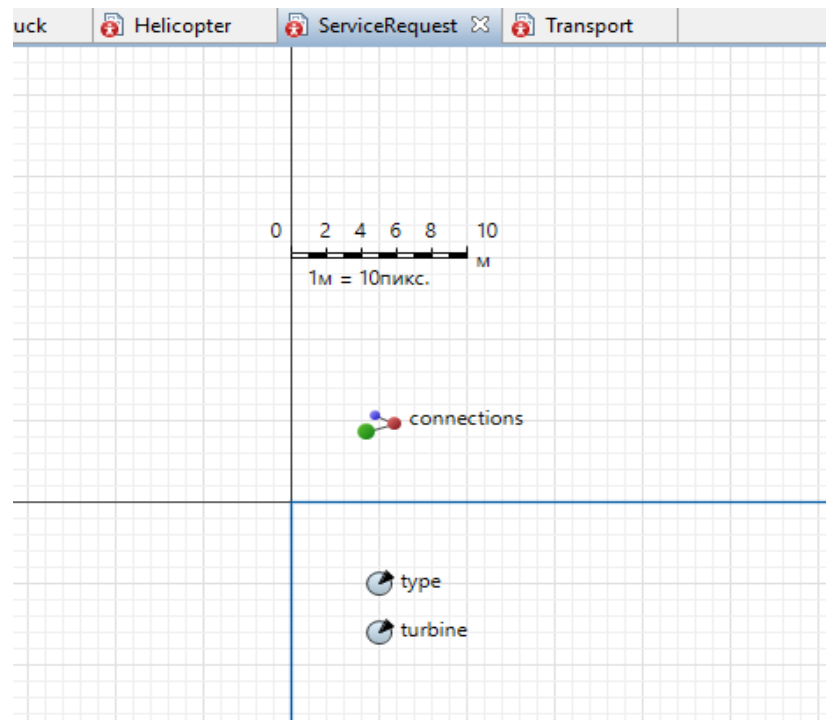


Рис. 5. Агент ServiceRequest

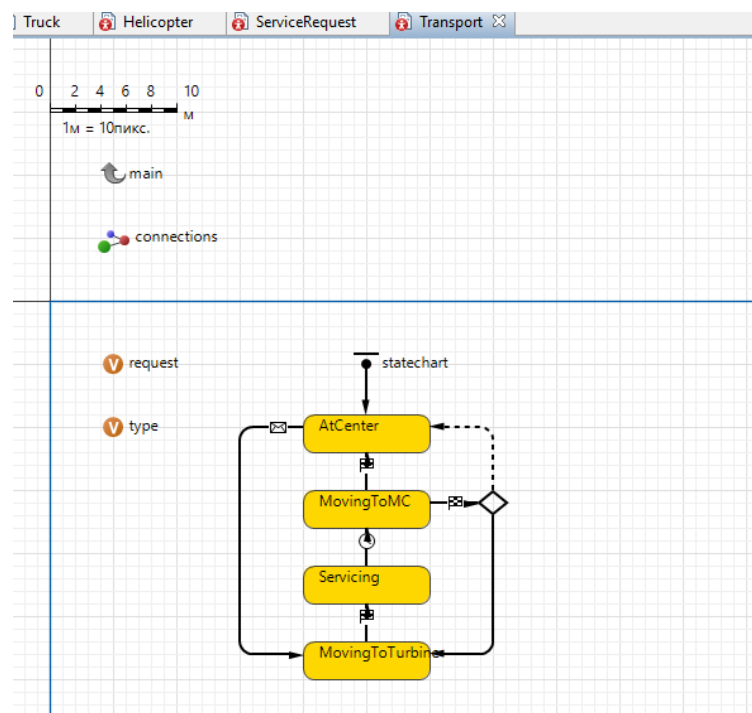


Рис. 6. Агент Transport

Для организации эффективной работы центра технического обслуживания была разработана комплексная система управления запросами. На макете Main созданы две специализированные коллекции: autoRequests для

наземного транспорта (грузовиков) и aviaRequests для авиационного транспорта (вертолетов). Использование коллекций типа LinkedList позволяет гибко управлять динамическим потоком заявок, оперативно добавляя и удаляя элементы по мере поступления и выполнения запросов.

Ключевым элементом системы стала функция findTransport, реализующая интеллектуальный алгоритм распределения задач. Функция принимает на вход объект типа ServiceRequest и анализирует его параметры для определения типа требуемого транспорта (рис. 7).

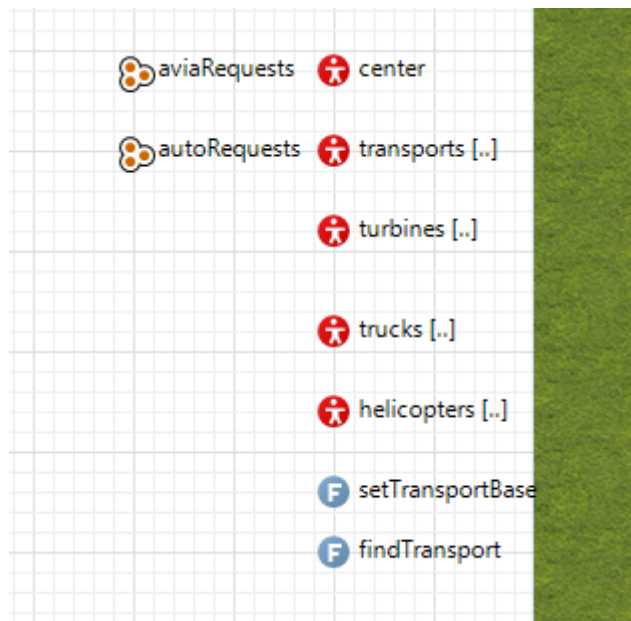


Рис. 7. Функции и коллекции

В конце было добавлено поле и 3D проекция модели, так же на макете Main (рис. 8).

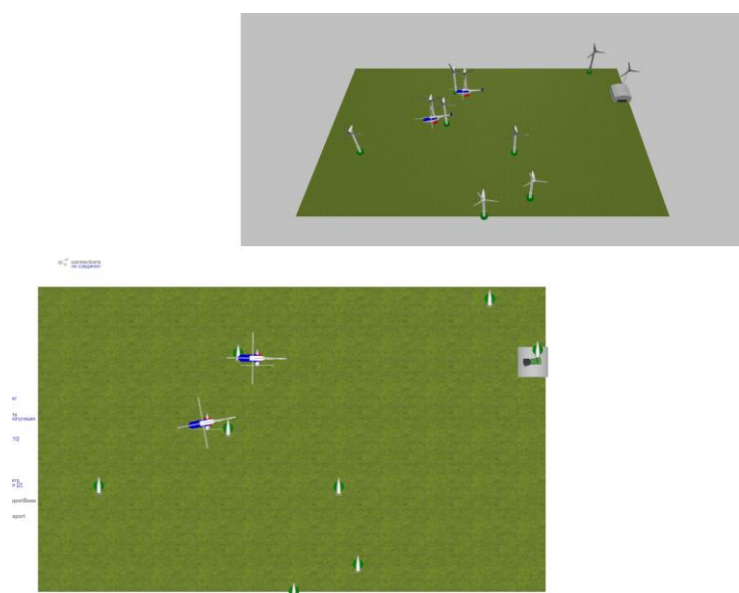


Рис. 8. 3D окно модели

При запуске модель воспроизводится как в двухмерном, так и в трехмерном окнах. Также можно перемещать, приближать и отдалять камеру при осмотре модели. Видно четко организованный процесс обслуживания ветрогенераторов. Изначально все турбины работают в штатном режиме, что отображается зеленым цветом. По мере развития событий модель демонстрирует слаженную работу ремонтных служб: грузовики направляются к турбинам, требующим планового технического обслуживания (желтые маркеры), в то время как вертолеты оперативно реагируют на аварийные ситуации (красные маркеры). Такая визуализация наглядно показывает распределение задач между наземными и авиационными службами, подчеркивая эффективность разработанной системы управления техническим обслуживанием.

4 Выводы

Разработанная в AnyLogic имитационная модель продемонстрировала свою эффективность для оптимизации процессов технического обслуживания ветропарков. Комплексный подход, сочетающий агентное моделирование оборудования, ремонтных бригад и диспетчерского центра, позволил проанализировать различные сценарии организации ремонтных работ. Полученные решения позволяют существенно сократить время простоя оборудования и оптимизировать эксплуатационные затраты.

Библиографический список

1. Мухтарбекова Р.М., Долотбакова А.К., Бубликова Ю.С., Исмаилова Э.И. Оптимизация цепей поставок с помощью имитационного моделирования в AnyLogic // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2021. № 2 (58). С. 102-106.
2. Скакальская Е.Д., Самойлова И.А. Разработка модели перекрестка средствами AnyLogic // Молодой ученый. 2022. № 21 (416). С. 209-211.
3. Тихонова Н.А., Груздев А.С., Тихонова А.А. Методика организации самостоятельной работы студентов с пакетом имитационного моделирования AnyLogic // В сборнике: Информационные и управляющие системы на транспорте и в промышленности. Материалы всероссийской научно-технической интернет-конференции с международным участием. Омский государственный университет путей сообщения. 2014. С. 252-259.
4. Горобченко С.Л., Ковалёв Д.А., Соколова В.А., Теппоев А.В., Тарабан М.В., Алексеева С.В. Моделирование применения роботов-манипуляторов для оптимизации упаковочной линии ЦБК в программной среде AnyLogic // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 3. С. 637-640.
5. Неустроев А.Д., Сергиевичев Л.Ю. Моделирование и прогнозирование суточного графика нагрузки в программной среде AnyLogic // В сборнике: Наука. Технологии. Инновации. XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России. Сборник

- научных трудов в 10-ти частях. Под редакцией Д.О. Соколовой. Новосибирск, 2021. С. 82-86.
6. Кулева Н.С., Пальмов С.В. Имитационное дискретно-событийное моделирование в среде AnyLogic // Решение. 2016. Т. 1. С. 145-146.
 7. Шилова Ю.А. Верификация имитационной модели алгоритма маршрутизации adaptive rate full echo, разработанной в среде имитационного моделирования AnyLogic // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 4 (27). С. 5-6.