

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Кривич Ольга Юрьевна

кандидат технических наук, доцент

РУТ (МИИТ) (Российский университет транспорта)

Россия, г. Москва

Сергеев Иван Константинович

кандидат технических наук, доцент

РУТ (МИИТ) (Российский университет транспорта)

Россия, г. Москва

Полутов Матвей Александрович

студент

РУТ (МИИТ) (Российский университет транспорта)

Россия, г. Москва

Мепаришвили Мария Рамазовна

студент

РУТ (МИИТ) (Российский университет транспорта)

Россия, г. Москва

Аннотация. Приводится описание процедуры создания имитационных моделей технологических процессов предприятий по ремонту подвижного состава. На примере технологического процесса ремонта колёсных пар описывается процедура создания модели с использованием базовых блоков среды AnyLogic.

Ключевые слова: AnyLogic, имитационное моделирование, вагоно-ремонтное производство, технологический процесс, текущий ремонт колёсных пар, средний ремонт колёсных пар, производственный процесс, оптимизация, дискретно-событийное моделирование.

Рациональная организация производственных и технологически процессов относится к одной из актуальных задач технологической подготовки

производства предприятий по ремонту и эксплуатации подвижного состава. Решение такой задачи осложняется тем, что исходные данные для проектирования технологических процессов не являются постоянными, а выбор оптимального решения производится при помощи большого числа итерационных расчетов, по результатам сравнения которых и принимается предпочтительный вариант организации производства.

Представление технологических процессов в виде уникальных математических моделей [1–3], обработка информации и расчет показателей производства позволяют упростить выбор окончательного варианта. Однако этот процесс сопряжен со сложностью адаптации математической модели к конкретному предприятию и, как следствие, ограничением практического применения таких моделей.

В этой ситуации можно обратиться к специальным программным комплексам имитационного моделирования, которые позволят сформировать общую модель технологического процесса и получить расчетным путем информацию по производственным показателям, дающую возможность оценить исследуемый процесс без финансовых затрат.

Кроме того, сочетание двух приведенных методик даст хороший результат при моделировании сложных систем.

В настоящее время имеется достаточно большое количество программных средств имитационного моделирования от узкоспециализированных, таких как ED Airport и Aspen Plus, до широкопрофильных, позволяющих моделировать процессы разных промышленных отраслей. Выбор конкретной среды моделирования определяется спецификой разработчика и потребностями заказчика.

В рамках предлагаемой работы остановимся на отечественной среде моделирования AnyLogic. Программный продукт использует язык Java и достаточно широко применяется при построении моделей процессов различной направленности.

Разберем процесс моделирования на примере технологий производства среднего и текущего ремонтов колёсных пар в ремонтном депо.

При разработке модели представим исследуемый процесс в виде технологического маршрута, составленного на базе анализа действующих в ремонтных депо технологических процессов [4]. При формировании модели приняты следующие исходные допущения:

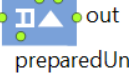
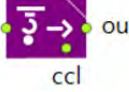
Маршрутная технология ремонта колёсных пар, принятая для составления имитационной модели приведена на рисунке 1.

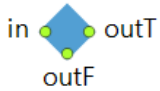
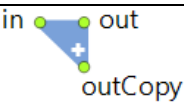
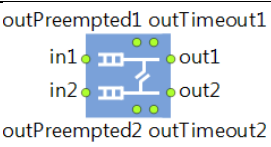
Рисунок 1 – Маршрутная схема ремонта колёсных пар

При создании модели в среде AnyLogic, целесообразно сочетать три метода: агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование и метод системной динамики. Схема процесса представляется в виде дискретно-событийной модели, ключевые события и переходы отмечаются в соответствующих блоках диаграммы, после чего используются специальные агенты внутри схемы процесса, которые обладают собственными параметрами, функциями, и способны переходить в различные состояния.

Характеристика использованных при построении имитационной модели блоков среды AnyLogic представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика блоков среды AnyLogic

Имя блока	Графическое обозначение	Назначение
Sink		Создание агентов (колёсные пары, их детали и сборочные единицы и др.)
Service		Модель процесса обслуживания агентов ресурсами (технологические операции)
Seize		Моделирует выдачу заданий ресурсам по перемещению агентов (оператору крана приступить к управлению, слесарю прокатить колёсную пару по рельсовому пути и др.)
Move ByCrane		Модель транспортных операций, выполняемых при помощи крана
Convey		Модель транспортных операций, выполняемых на конвейере
MoveTo		Модель транспортных операций, выполняемых вручную
Release		Модель освобождения используемого ресурса (освободить исполнителя по окончании транспортной операции)

Select Output		Модель направления потока агентов по технологическому пути в соответствии с условием (вероятностью события) (распределение объектов по видам ремонта, направление объектов в брак по результатам контроля (с заданной вероятностью) и т.д.
Split		Модель формирования двух потоков агентов из одного (моделирование операций разборки и т.д.)
Combine		Модель формирования объединенного потока агентов из двух (моделирования операций сборки)
Batch		Модель формирования комплекта из однотипных агентов в партию (формирование комплектов)
Match		Модель формирования буферной очереди перед сборкой для синхронизации потоков агентов
Time Measure Start		Начало отсчета времени для пропущенного агента (для статистической обработки)
Time Measure End		Конец отсчета времени для пропущенного агента (для статистической обработки)
Sink		Удаление агентов из процесса (окончание ремонта, брак и т.д.)

Используемые блоки можно разделить на три группы: за создание; распределение и удаление агентов, моделирование операций обработки, моделирование операций транспортирования. Внутри блоков задаются параметры операций такие, как технологический цикл операции, емкость очередей, объем ресурсов и т.д. Среда моделирования AnyLogic позволяет генерировать случайные числа и содержит встроенные математические модели законов распределения случайной величины. С помощью этих инструментов учитывается характер случайных процессов при моделировании. При построении модели

технологического процесса ремонта колесных пар выбрано треугольное распределение для описания случайной величины — времени технологической операции. Это распределение используется при известных допустимых границах нахождения случайной величины: максимального и минимального технологического цикла операции, и её наиболее вероятного значения (рисунок 2).

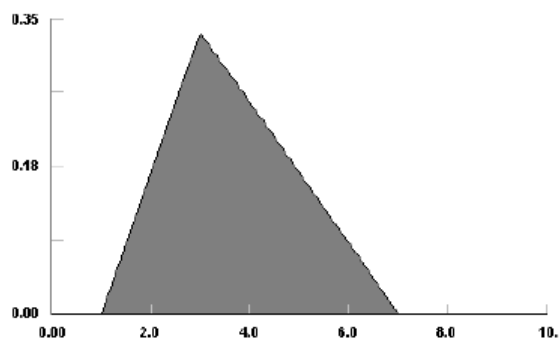


Рисунок 2 – Непрерывное распределение вероятностей с функцией плотности вероятности в форме треугольника

Следует отметить, что подходящий вероятностный закон зависит от конкретной производственной задачи и его выбор осуществляется на основании теоретических исследований и обработки статистических данных. Также при моделировании учтена сменность использования людских ресурсов. Еще одно допущение — соответствие потока поступления заявок на ремонт пуассоновскому потоку.

Плотность распределения случайной величины при принятом законе распределения определяется по зависимостям:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-\min)}{(\max-\min)(mode-\min)} & \text{при } \min < x \leq mode \\ \frac{2(\max-x)}{(\max-\min)(\max-mode)} & \text{при } mode < x \leq \max, \end{cases} \quad (1)$$

где x — текущее значение случайной величины;

$\max$ — максимальное значение случайной величины;

$\min$ — минимальное значение случайной величины;

$mode$ — мода случайной величины.

В среде моделирование AnyLogic треугольное распределение задается оператором $\text{triangular}(\min, \max)$. Значение моды определяется как полусумма минимального и максимального значения. На рисунках 3–5 представлен общий вид полученной модели технологического процесса.

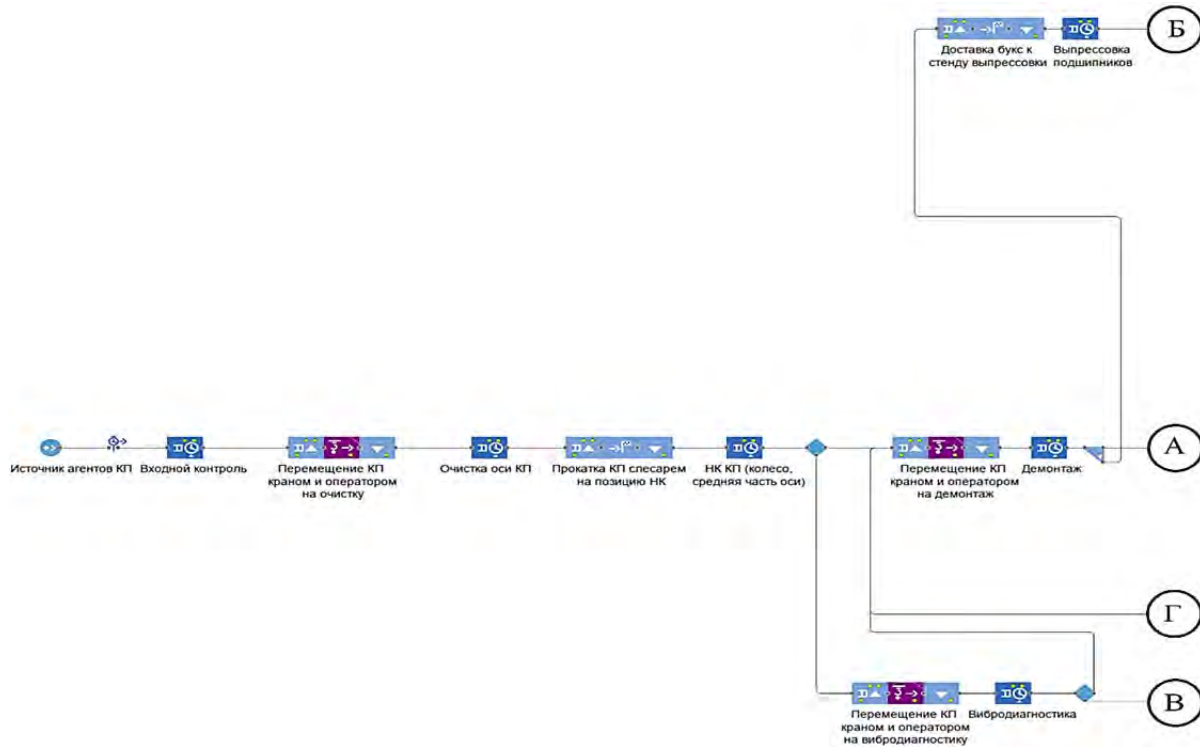


Рисунок 3 – Модель технологического процесса ремонта колёсных пар. Первая часть

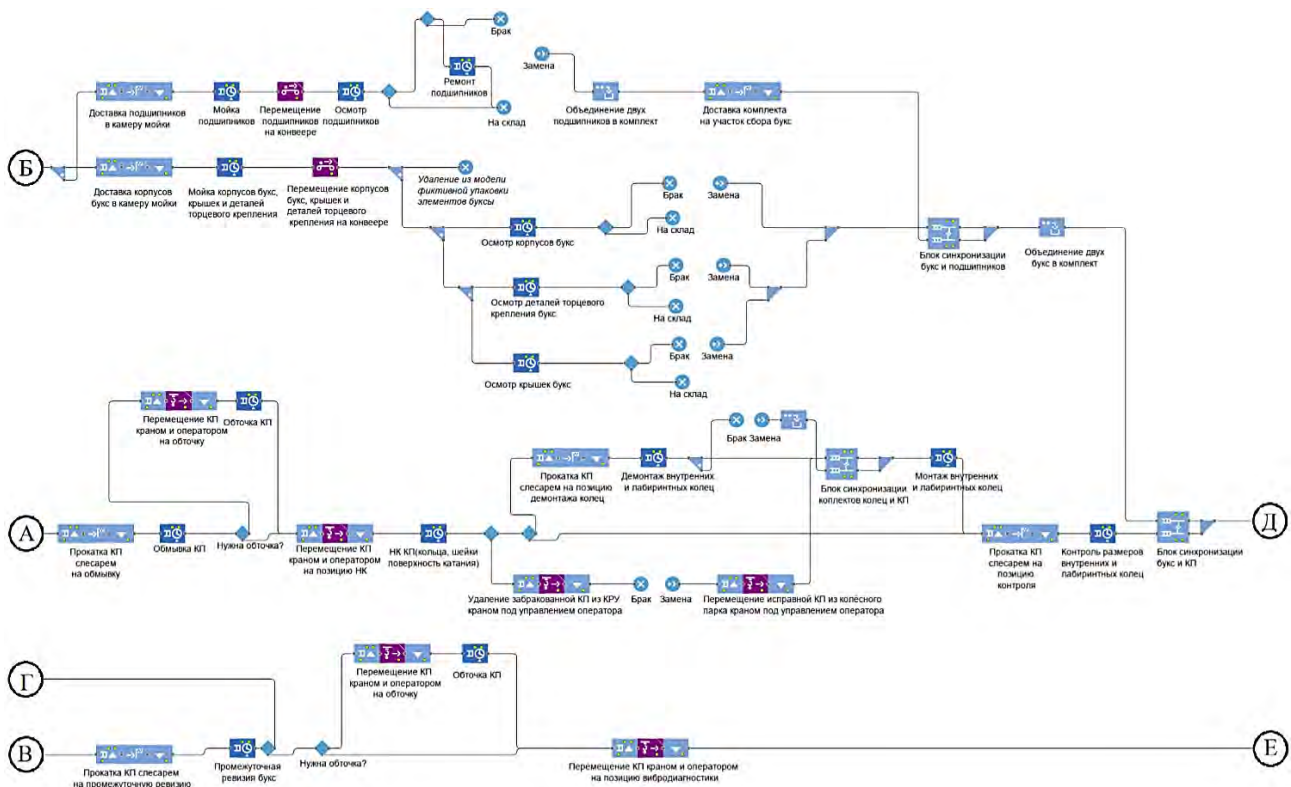


Рисунок 4 – Модель технологического процесса ремонта колёсных пар. Вторая часть

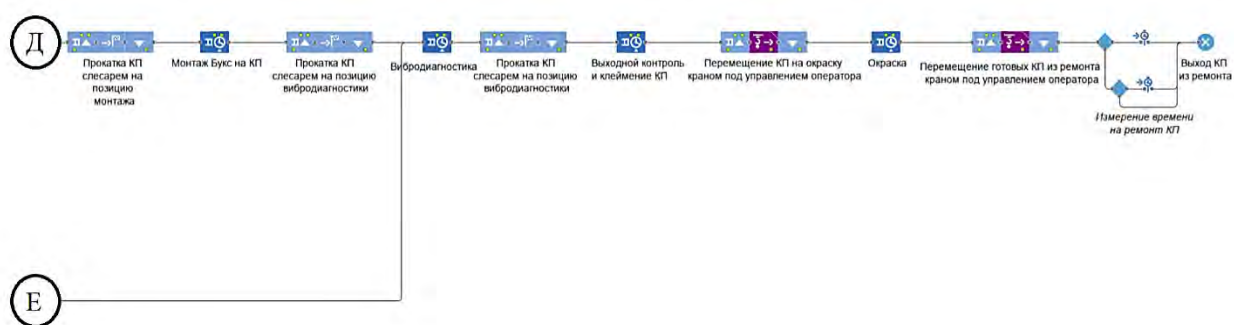


Рисунок 5 – Модель технологического процесса ремонта колёсных пар. Третья часть

При помощи спроектированной модели есть возможность исследовать показатели технологического процесса в любой интервал времени. Среда имитационного моделирования AnyLogic позволяет создавать модели, позволяющие обрабатывать статистические данные и оптимизировать выходные показатели технологических процессов, такие как число средств технологического оснащения, количество рабочих, время технологического цикла и т.д. Привязка финансовых показателей к агентам модели позволит произвести расчет экономических показателей вариантов организации технологического процесса.

Список литературы

1. Сергеев, К. А. Декомпозиция задач ТПП вагоноремонтного производства / К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, О. И. Мироненко. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 1. - С. 8-10.
2. Сергеев, К. А. Математическое описание ремонтируемых вагонов и их узлов / К. А. Сергеев, О. И. Мироненко, О. Ю. Кривич. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 3. - С. 21-24.
3. Сергеев, К. А. Построение структурной модели технологического процесса ремонта вагонов / К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, И. К. Сергеев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 4. - С. 72-73.
4. Кривич, О. Ю. Производство и ремонт подвижного состава: учебное пособие / О. Ю. Кривич; Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II. - Москва: Московский государственный уни-

верситет путей сообщения Императора Николая II, 2016. - 216 с. - Текст : непосредственный.

5. Комплект документов на типовой технологический процесс ремонта колесных пар с цилиндрическими роликовыми подшипниками ТК-304 : утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2018 г. № 2812/р. - 156 с. - Текст : непосредственный.