



В.В. Побединский
М.А. Черницын
Н.С. Кузьминов

**ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ
АВТОТРАНСПОРТНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ В СРЕДЕ
ANYLOGIC**

Екатеринбург
2018

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра сервиса и технической эксплуатации
транспортных и технологических машин

В.В. Побединский
М.А. Черницын
Н.С. Кузьминов

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В СРЕДЕ ANYLOGIC

Учебно-методическое пособие
для обучающихся по направлениям
23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»,
23.04.03, 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов» для дисциплин «Современные информационные
технологии в техническом сервисе» и «Компьютерные технологии
в науке и производстве»

Екатеринбург
2018

Печатается по рекомендации методической комиссии ИАТТС.
Протокол № 8 от 13 сентября 2017 г.

Рецензент – заведующий кафедрой автоматизации производственных
процессов и производств, профессор, д-р техн. наук
Гороховский А.Г.

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 29.06.18		Поз. 16
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,56	Цена

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Разработка имитационной модели	5
1.1. Разработка структурной схемы работы зоны ремонта автотранспортного предприятия	5
1.2. Основные приемы работы в среде Anylogic	6
1.3. Разработка алгоритма функционирования модели	9
1.4. Определение исходных данных для имитационной модели	12
1.5. Разработка имитационной модели зоны ремонта автомобилей в среде Anylogic	15
2. Разработка элементов визуализации модели	23
3. Настройка параметров блоков	28
4. Построение диаграмм	38
5. Исследования работы предприятия на имитационной модели	41
6. Выполнение отчета о практической работе	45
Библиографический список	45

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности использования парка техники автомобилей является сложной проблемой, которая зависит от различных условий, влияющих факторов, характеристик машин и сервисного оборудования, службы эксплуатации и других показателей [1, 2]. В силу такой специфики решение проблемы в полной мере на стадии проектирования практически не обеспечивается. Возможность усовершенствовать службу и работу предприятия появляется в ходе эксплуатации. Эта проблема актуальна для любого предприятия с парком техники, в частности для рассматриваемого в качестве примера в настоящей работе реально существующего АТП № 6 г. Екатеринбурга. Несмотря на относительно слаженную работу предприятия в целом, в технологическом процессе ТО и Р наблюдаются простои в ожидании обслуживания, происходит неравномерность работы постов, а эксплуатационные затраты на ТО и Р остаются высокими. При этом статистический анализ показал, что недостатки касаются в первую очередь службы ремонта техники.

На сегодня в ходе прогресса появились теоретические и компьютерные средства для решения подобных задач. Так, технология модельно-ориентированного проектирования (МОП) является самым эффективным способом разработки объектов любой природы. Принципы МОП существенно отличаются от традиционной методологии проектирования. В этом случае вместо физических прототипов и текстовых спецификаций применяется исполняемая имитационная модель. Автотранспортное предприятие с процессом ТО и Р относится к классу распределенных систем, параметры которой могут описываться статистическими характеристиками. Следовательно, для ее исследования и модельно-ориентированного проектирования с успехом могут применяться соответствующие современные программные средства имитационного моделирования. Единственной российской программой для решения подобных задач является система Anylogic. Использование указанной системы для моделирования работы зоны ремонта автотранспортного предприятия рассмотрено в настоящем пособии.

Предназначено для выполнения выпускных квалификационных работ, практических занятий магистров и обучающихся по направлениям 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 23.04.03, 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» для дисциплин «Современные информационные технологии в техническом сервисе» и «Компьютерные технологии в науке и производстве».

1. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Создание имитационной модели является трудоемким и сложным процессом, поэтому в процессе создания модели необходимо выделить несколько этапов. В данном случае это будут следующие этапы.

1. Разработка структурной схемы процесса или объекта моделирования.

2. Разработка алгоритма функционирования модели.

3. Определение исходных данных, входных, выходных переменных, выполнение математической формализации задачи.

4. Разработка модели в среде визуально-блочного моделирования.

5. Отладка модели и обеспечение адекватности ее работы на тестовых воздействиях.

6. Проведение численного эксперимента для исследования проблемы и решения поставленных задач (выявления закономерностей, узких мест процессов, оптимизации параметров и др.).

В дальнейшем создание модели выполняется в определенной выше последовательности.

1.1. Разработка структурной схемы работы зоны ремонта автотранспортного предприятия

Технологический процесс рассматриваемого примера зоны ремонта предприятия укрупненно выполняется в такой последовательности.

1. Въезд подвижной единицы в зону ожидания.

2. Выявление характера неисправности для определения специализации ремонтного поста.

3. Заезд автомобиля на ремонтный пост.

4. Поиск, определение неисправности.

5. Устранение неисправности.

6. Выезд подвижной единицы из зоны ремонта.

На постах зоны ремонта выполняются следующие специализированные виды ремонтных работ.

1. Ремонт электрооборудования.

2. Ремонт элементов газораспределительного механизма.

3. Ремонт топливной системы.

4. Ремонт системы охлаждения двигателя.

5. Ремонт ходовой части автомобиля.

6. Кузовной ремонт.

Исходя из приведенных данных, разработана структурная схема функционирования зоны ремонта (рис. 1).

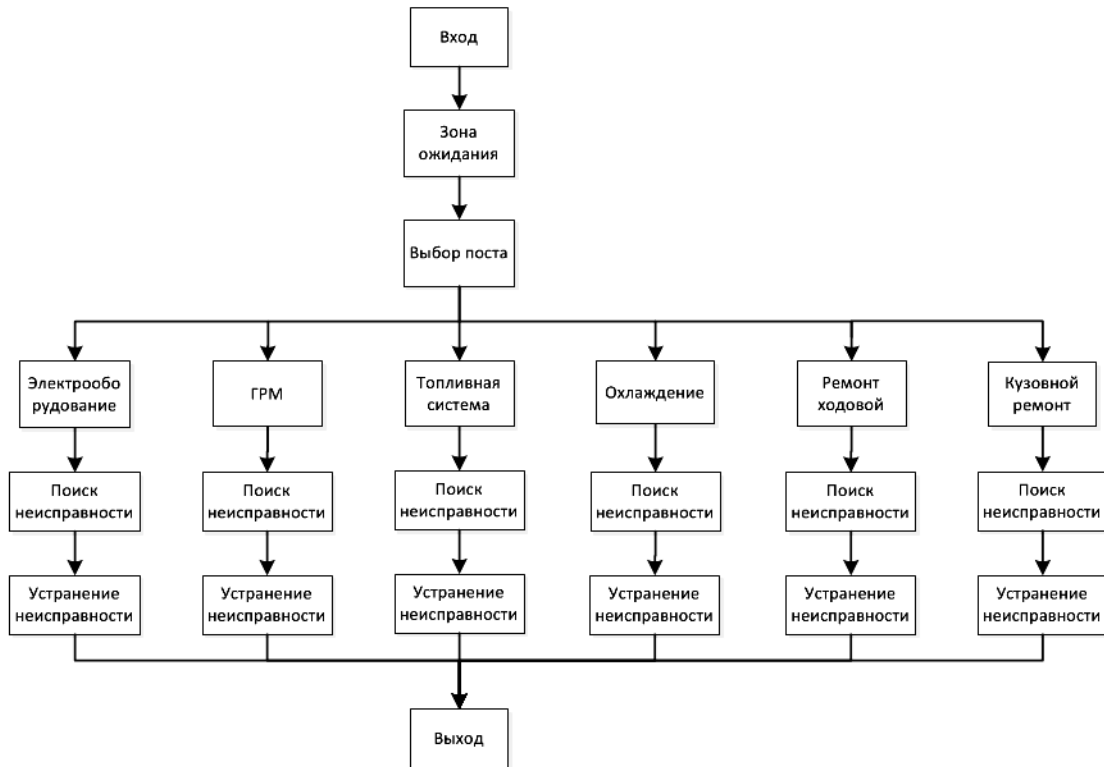


Рис. 1. Структурная схема работы зоны ремонта

1.2. Основные приемы работы в среде Anylogic

Модель разрабатывается в среде визуально-блочного моделирования Anylogic. Пользовательский интерфейс этой системы показан на рис. 2.

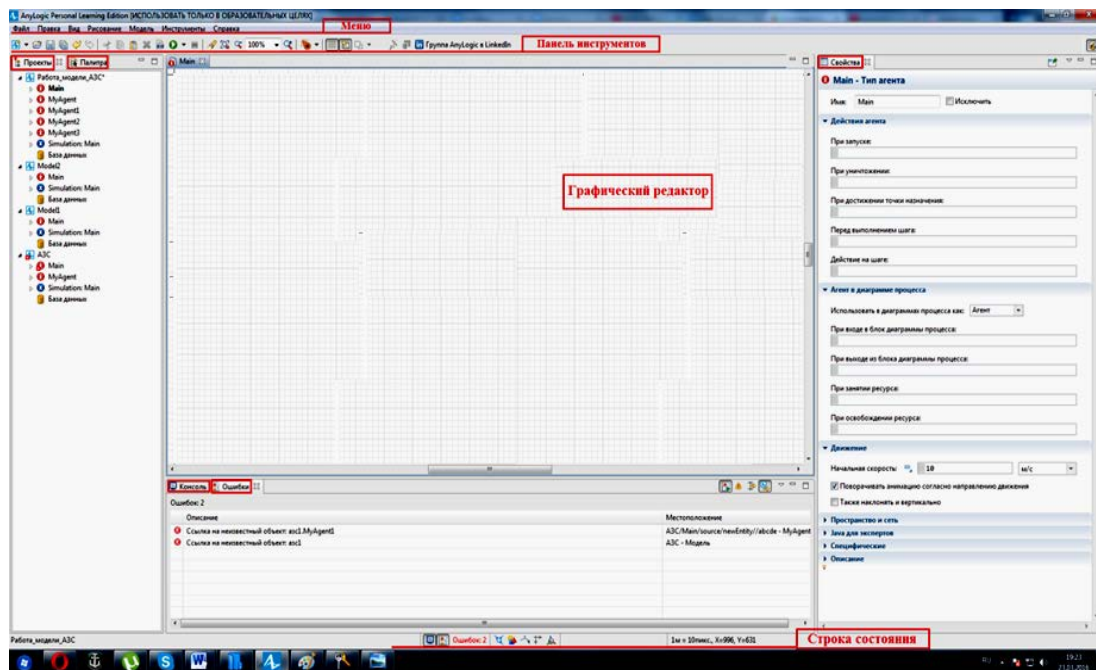


Рис. 2. Интерфейс Anylogic 8

Рассмотрим подробнее основные элементы интерфейса системы.

Панель **Проекты** (рис. 3) обеспечивает навигацию по моделям, открытым в текущий момент времени. Каждая модель представлена в панели в виде иерархической древовидной структуры.

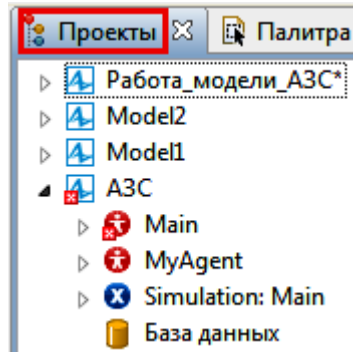


Рис. 3. Панель «Проекты»

Панель **Палитра** (рис. 4) содержит список всех элементов, которые могут быть добавлены на диаграмму агента (эксперимента). Элементы логически разбиты по категориям на несколько закладок (палитр). Здесь же отображаются и палитры библиотек Anylogic.

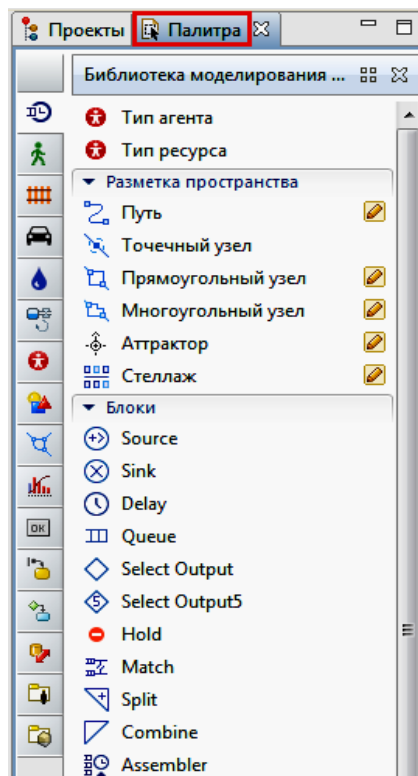


Рис. 4. Панель «Палитра»

Панель **Свойства** (рис. 5) используется для просмотра и изменения свойств выбранного в данный момент элемента (или элементов) модели.

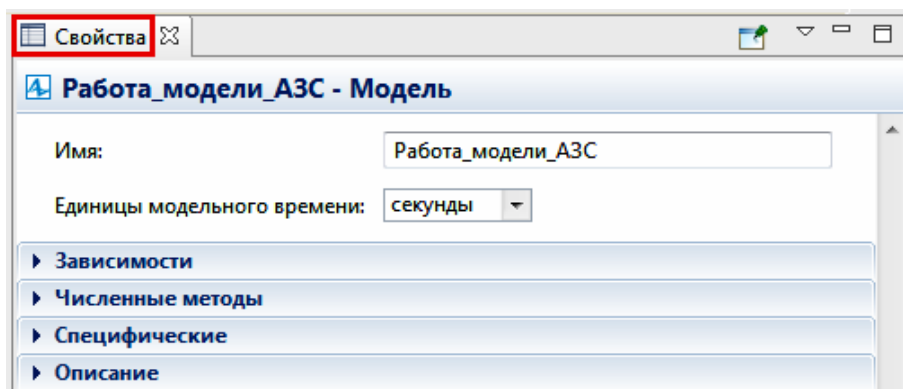


Рис. 5. Панель «Свойства»

Панель **Ошибки** (рис. 6) отображает обнаруженные на этапе построения модели ошибки.

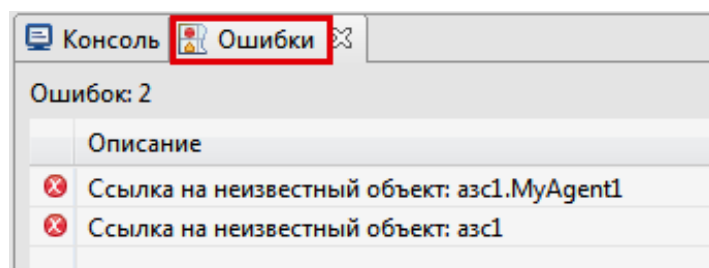


Рис. 6. Панель «Ошибки»

Панель **Консоль** (рис. 7) отображает информацию, выводимую в процессе моделирования, а также позволяет вводить нужную информацию.

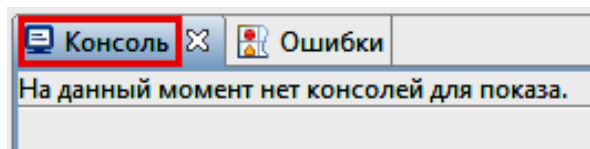


Рис. 7. Панель «Консоль»

Строка состояния (рис. 8) расположена в нижней части окна Anylogic и отображает информацию о выполняемых задачах.

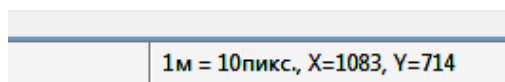


Рис. 8. Строка состояния

Графический редактор (рис. 9) является местом для визуального редактирования диаграммы типа агентов или эксперимента (в данном случае в редакторе элементы не используются).



Рис. 9. Графический редактор

Панели инструментов предоставляют пользователю быстрый доступ к наиболее часто используемым командам (рис. 10).



Рис. 10. Панель инструментов

Строка меню (рис. 11) – это разновидность **меню**, предоставляющая доступ ко всем функциям программы.

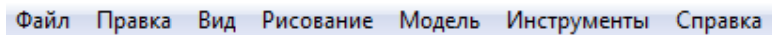


Рис. 11. Элемент «Строка меню»

1.3. Разработка алгоритма функционирования модели

Разработка алгоритма функционирования имитационной модели производится на основе ранее спроектированной структурной схемы. Реализованный в системе Anylogic 8 алгоритм показан на рис. 12.

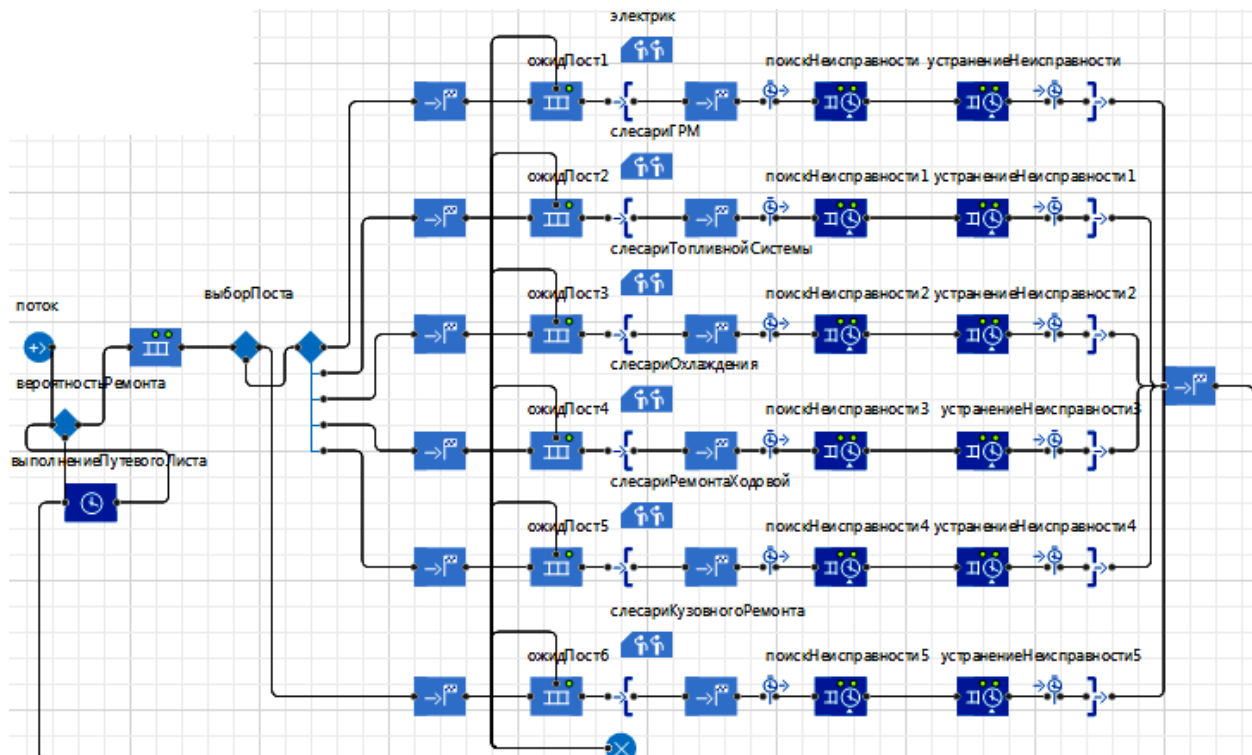






Рис. 12. Алгоритм работы зоны ремонта в Anylogic 8

Алгоритм работы зоны ремонта создан в соответствии со структурной схемой, показанной на рис. 1. В модели блок, названный «поток», моделируется блоком «Source» , который генерирует агентов, в данном случае автомобилей. Этот блок используется в качестве начальной точки потока агентов.


Блок «вероятностьРемонта» задается блоком «SelectOutput» , который направляет входящих агентов в один из двух выходных портов в зависимости от выполнения заданного (детерминированного или заданного с помощью вероятностей) условия. Условие может зависеть как от агента, так и от каких-то внешних факторов.



Поступивший агент покидает объект «SelectOutput» в заданный момент времени. Блок «вероятностьРемонта» разделяет поток автомобилей на нуждающихся в ремонте и исправных.




Исправленные автомобили отправляются в блок «выполнениеПутевогоЛиста», нуждающиеся в ремонте – в блок «зонаОжидания». Блоком «выполнениеПутевогоЛиста» в данном случае задается время, которое затрачивается на прохождение маршрута и возвращение в парк. Блок «выполнениеПутевогоЛиста» моделируется блоком «Delay» . Блок «Delay» задерживает агентов на заданный период времени. Время задержки вычисляется динамически, может быть случайным, зависеть от текущего агента или от каких-то других условий.

Сразу несколько агентов (не более заданной вместимости объекта) могут быть задержаны одновременно или независимо друг от друга. Блок «зонаОжидания» несет функцию стоянки для автомобилей. В том случае, если одна из зон ожидания будет занята, неисправный автомобиль будет находиться на стоянке до момента, когда в зоне ожидания поста освободится место. Блок «зонаОжидания» моделируется блоком «Queue» . Объект «Queue» моделирует очередь агентов, ожидающих приема объектами, следующими далее в потоковой диаграмме, или хранилище агентов общего назначения.


Из блока «Queue» агенты (автомобили) перемещаются в блок «выборПоста», который задается блоком «SelectOutput». После выбора поста автомобиль направляется на необходимый для него пост ремонта.


В алгоритме работы модели после блока «выборПоста» агенты переходят в блок «MoveTo» . Блок «MoveTo» перемещает агента в новое место. Если к агенту присоединены какие-то ресурсы, то они перемещаются вместе с агентом. При этом независимо от скорости ресурсов перемещаться такая группа из агента и его ресурсов будет со скоростью агента. Время, которое агент проведет в этом объекте, будет равно длине кратчайшего из возможных путей из текущего местоположения агента в место назначения, поделенной на скорость агента. Также блок «MoveTo» должен быть привязан к узлу «node», расположенному на двумерном изображении имитационной модели.



У каждого поста есть своя зона ожидания, которая моделируется блоком «Queue» . Далее находится блок «RestrictedAreaStart» . Блок «RestrictedAreaStart» обозначает вход в область процесса, в которой одновременно может находиться ограниченное количество агентов. Такая область может иметь только один вход и несколько выходов, каждый из которых должен быть задан объектом «RestrictedAreaEnd», который, в свою очередь, должен содержать ссылку на соответствующий объект входа в область «RestrictedAreaStart».

Далее следует блок «MoveTo» , который моделирует перемещение автомобиля из зоны поста ожидания на пост ремонта. После блока «MoveTo» стоит блок «TimeMeasureStart» , который вместе с «TimeMeasureEnd»  составляет пару объектов, позволяющую измерять время, проведенное агентами между двумя точками диаграммы процесса. Обычно с их помощью измеряется время нахождения агента в системе или длительность пребывания агента в отдельном подпроцессе.

«TimeMeasureStart» задает начальную точку, он запоминает момент времени, в который агент проходит через этот объект. «TimeMeasureEnd» вычисляет для каждого поступившего в него агента разность между текущим моментом времени и значением момента времени, записанным объектом «TimeMeasureStart».

Далее стоят последовательно друг за другом два блока «Service» , моделирующие поиск неисправности и устранение неисправности автомобиля. Блок «Service» захватывает для агента заданное количество ресурсов, задерживает его, а затем освобождает захваченные им ресурсы. Используется блок «Service» в тех случаях, когда необходимо задержать захваченные ресурсы на заданное время, а затем отпустить.

Далее находится блок «TimeMeasureEnd» , который был описан выше. Этот блок позволяет измерять время, проведенное агентами между двумя точками диаграммы процесса. Измерение времени ремонта необходимо для получения гистограмм распределения времени ремонта на каждом посту и получения соответствующих статистических данных во время работы имитационной модели.

Далее расположен блок «RestrictedAreaEnd» , который означает выход из области процесса с ограниченным количеством агентов. После блока «RestrictedAreaEnd» расположен блок «MoveTo» , который моделирует завершение ремонта автомобиля. Также блок «MoveTo» должен быть привязан к узлу «выход», расположенному на двухмерном изображении имитационной модели. Из блока «MoveTo» агенты (автомобили) направляются в блок «выполнениеПутевогоЛиста». Это значит, что после проведения ремонта автомобиль проезжает маршрут, после чего снова выполняется проверка появления отказа с необходимостью ремонта или продолжения работы на маршруте.

Созданный алгоритм достаточно точно описывает работу зоны ремонта автотранспортного предприятия, что позволяет проводить численные эксперименты и исследовать объект. Для более точного функционирования имитационной модели необходима настройка каждого блока в соответствии с реальными данными работы предприятия.

Настройка и поэлементное создание модели будет отдельно рассмотрено в дальнейшем.

1.4. Определение исходных данных для имитационной модели

Настройка блоков имитационной модели должна проводиться в соответствии с исходными данными технологического процесса зоны ремонта. Основными параметрами для настройки имитационной модели будут следующие данные.

1. Численность парка техники.
2. Количество постов по видам ремонта.
3. Интенсивность поступления машин на маршрут.
4. Вероятность появления необходимости в ремонте.
5. Вероятность выбора ремонтного поста.
6. Графики работы автомобилей на маршруте и рабочих в зоне ремонта.
7. Статистическое распределение и минимальное, среднее и максимальное время ремонта на каждом посту.
8. Количество рабочих на каждом посту.
9. Среднее время поиска неисправности на каждом посту на одного слесаря.
10. Среднее время устранения неисправности на каждом посту на одного слесаря.
11. Минимальное, среднее и максимальное время прохождения маршрута автомобилем.

Численность автомобилей в парке равно эталонному значению в 150 единиц.

Количество постов по видам ремонта представлено в табл. 1.

Таблица 1

Количество постов по видам ремонта

Наименование поста	Количество
Пост ремонта электрокомпонентов	1
Пост ремонта элементов ГРМ	1
Пост ремонта элементов топливной системы	1
Пост ремонта элементов системы охлаждения	1
Пост ремонта ходовой части	2
Пост кузовного ремонта	1

В качестве показателя интенсивности поступления автомобилей на маршрут взято среднее значение выхода автобусов на маршрут за день. Таким образом, средняя интенсивность будет равной 8 ед./ч.

Вероятность появления необходимости в ремонте задается коэффициентом, где коэффициент 1 обозначает 100 % сходов подвижных единиц с маршрута за сутки и поступление на ремонт. В среднем за одни рабочие сутки происходит 2 схода по причине поломки подвижной единицы. Следовательно, $150 \text{ ед.} / 100 \% \times 2 = 3 \% = 0,03$ будет параметр вероятности возникновения необходимости в ремонте.

Вероятность выбора вида ремонтного поста также задается коэффициентом, где 1 обозначает максимальную вероятность поступления автомобиля на данный пост. В табл. 2 представлены данные о сходах с маршрута по причине внезапных отказов за определенный период.

Таблица 2

Количество ремонтов по видам отказов за модельный период

Вид поломки	Электрооборудование	ГРМ	Топливная система	Система охлаждения	Ходовая часть	Кузов
Количество отказов за период	72	32	31	53	55	72
Количество отказов, %	23	10	10	16	18	23
Итого количество ремонтов	315					

С учетом табл. 2 можно определить коэффициенты вероятности возникновения отказа. Коэффициенты вероятности отказов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты вероятности отказов

Вид отказа	Коэффициент вероятности
Электрооборудование	0,23
ГРМ	0,10
Топливная система	0,10
Система охлаждения	0,16
Ходовая часть	0,18
Кузов	0,23

Первый маршрут для автобусов начинается в 5:00, последний маршрут начинается в 23:00. Рабочие в зоне ремонта работают с 8:00 до 17:00.

Минимальное время ремонта на посту – 8 ч, среднее время ремонта на посту – 24 ч, максимальное – 48 ч.

Количество рабочих на постах в зоне ремонта приведено в табл. 4.

Таблица 4

Количество рабочих на постах

Назначение поста ремонта	Количество рабочих
Электрооборудования	2
ГРМ	3
Топливной системы	3
Системы охлаждения	6
Ходовой части	6
Кузова	3
Итого	23

Среднее время поиска неисправности указано в табл. 5.

Таблица 5

Среднее время поиска неисправности

Вид ремонта	Время, ч
Электрооборудования	1,0
ГРМ	0,5
Топливной системы	0,5
Системы охлаждения	0,3
Ходовой части	0,4
Кузова	1,0

Среднее время устранения неисправности указано в табл. 6.

Таблица 6

Среднее время устранения неисправности

Вид ремонта	Время, ч
Электрооборудования	12,0
ГРМ	5,3
Топливной системы	5,1
Системы охлаждения	8,8
Ходовой части	9,1
Кузова	12,0

Время прохождения маршрута указано в табл. 7.

Таблица 7

Время прохождения маршрута

Длительность прохождения маршрута	Время, ч
Минимальная	2,0
Средняя	3,0
Максимальная	6,0

Используя данные из табл. 6, можно рассчитать среднюю норму часов на одного работника по каждому виду ремонта из следующего соотношения: Норма часов на 1 рабочего = Среднее время устранения неисправности/ Количество рабочих на посту. Результаты расчетов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Средняя норма часов на одного рабочего по каждому виду ремонта

Вид ремонта	Норма часов
Электрооборудования	6,00
ГРМ	1,76
Топливной системы	1,70
Системы охлаждения	1,46
Ходовой части	1,52
Кузова	4,00

1.5. Разработка имитационной модели зоны ремонта автомобилей в среде Anylogic

Создание имитационной модели работы зоны ремонта будет показано в виде подробной пошаговой процедуры.

1. После создания новой модели следует перенести на поле рабочего пространства блок **Source** для генерации потока автомобилей. В строке свойства задать ему название «поток» (рис. 13).

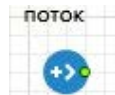


Рис. 13. Добавление на поле рабочего пространства блока «Source»

2. Добавление блок **Queue**. Этот блок будет моделировать очередь. Назвать этот блок «зона Ожидания» (рис. 14).



Рис. 14. Добавление блока «Queue»

3. Добавление блока **Hold**. Блок моделирует пропуск автомобилей на свободный пост (рис. 15).

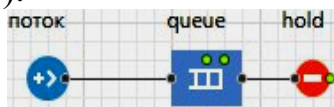


Рис. 15. Добавление блока «Hold»

4. Добавление блока **SelectOutput**. Блок направляет автомобили на нужный пост. Назвать этот блок «вероятностьРемонта» (рис. 16) .

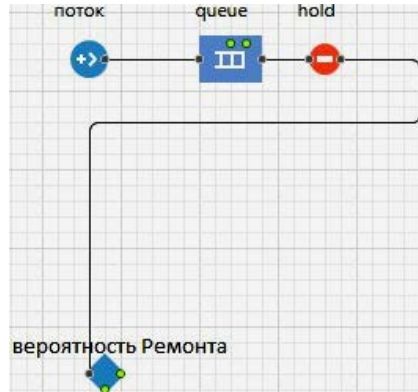


Рис. 16. Добавление блока «SelectOutput»

5. Добавление блока **Queue** (рис. 17). Блок моделирует очередь автомобилей.

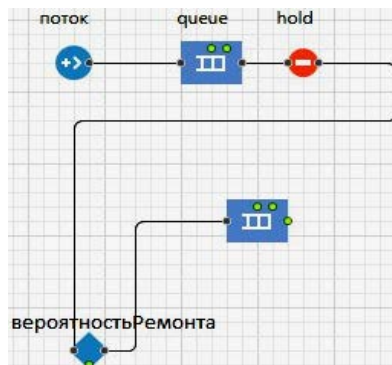


Рис. 17. Добавление блока «Queue»

6. Добавление блока **Delay** (рис. 18). Назвать этот блок «выполнениеПутевогоЛиста».

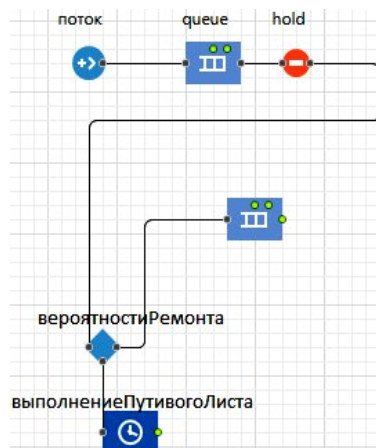


Рис. 18. Добавление блока «Delay»

7. Добавление блока **SelectOutput** (рис. 19) .

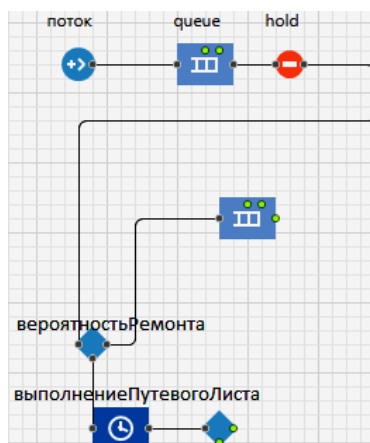


Рис. 19. Добавление блока «SelectOutput»

8. Добавить два блока **SelectOutput** и **SelectOutput5** (рис. 20). Следует назвать этот блок «выборПотока».

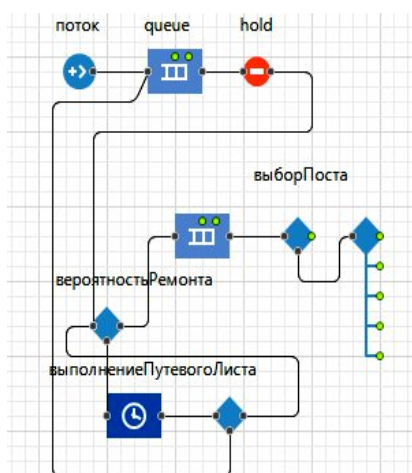


Рис. 20. Добавление блоков «SelectOutput» и «SelectOutput5»

9. Добавление блоков **Move To** (рис. 21).

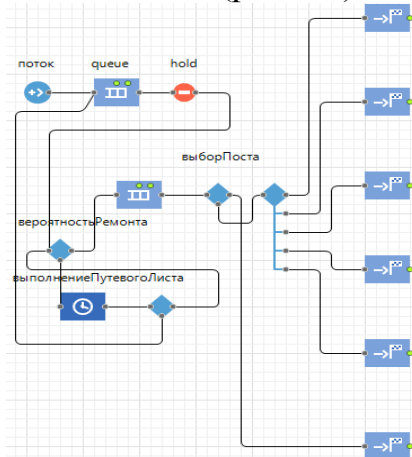


Рис. 21. Добавление блоков «Move To»

10. Добавление блоков **Queue** (рис. 22). Назвать эти блоки «ожидПост».

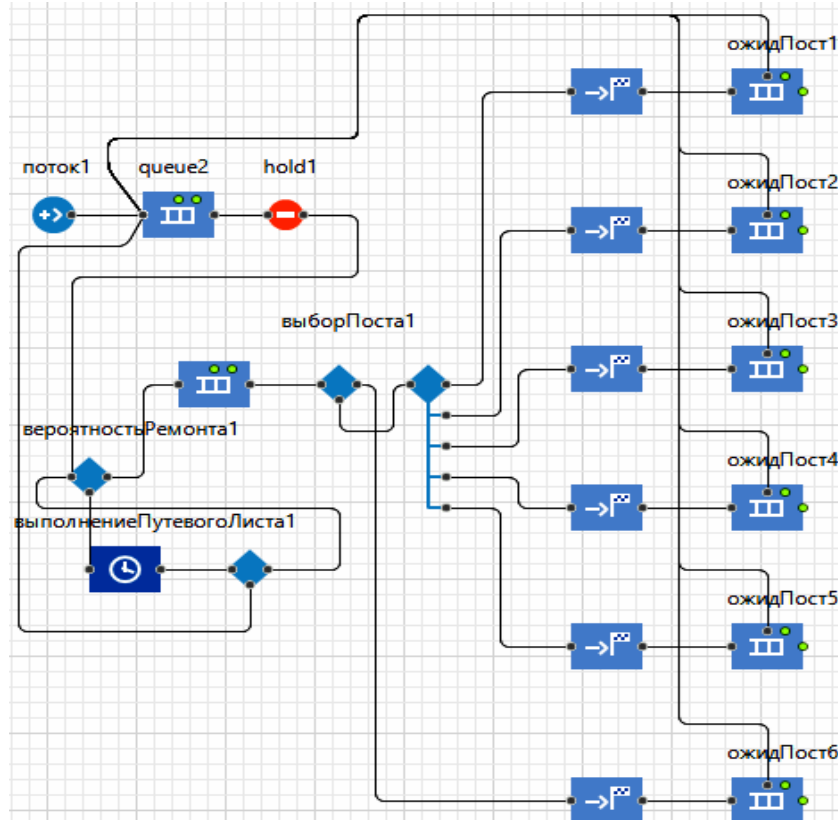


Рис. 22. Добавление блоков «Queue»

11. Добавление блоков **RestrictedAreaStart** (рис. 23).

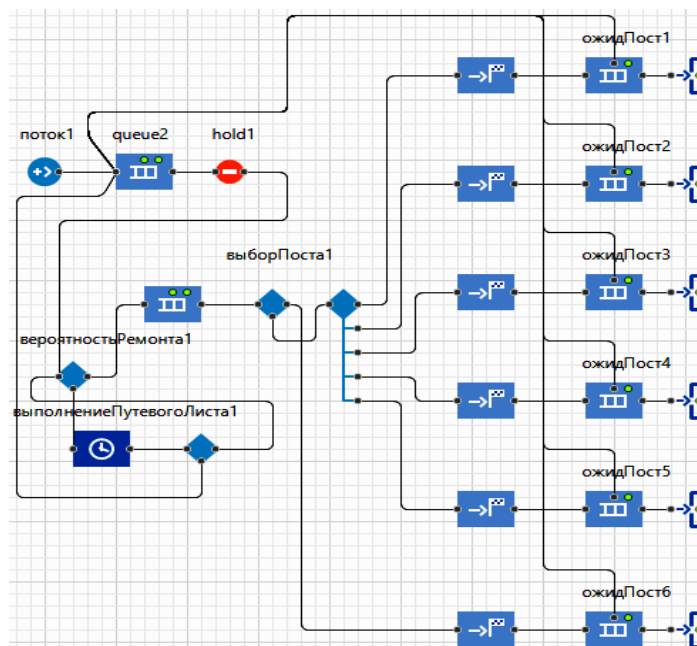


Рис. 23. Добавление блоков «RestrictedAreaStart»

12. Добавление блоков **Resource Pool** (рис. 24). Назвать эти блоки в соответствии с названием поста.

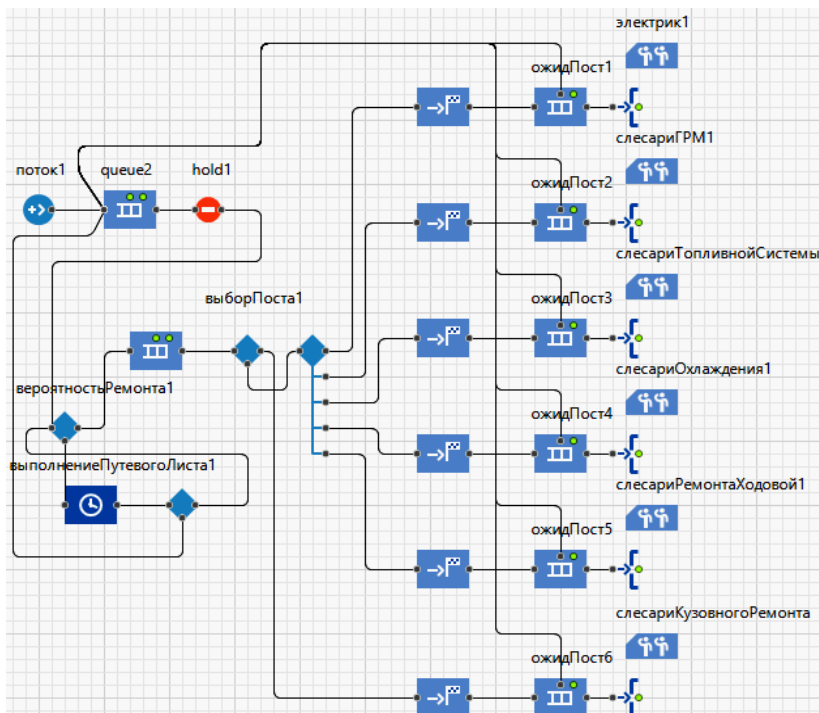


Рис. 24. Добавление блоков «Resource Pool»

13. Добавление блоков **Move To** (рис. 25).

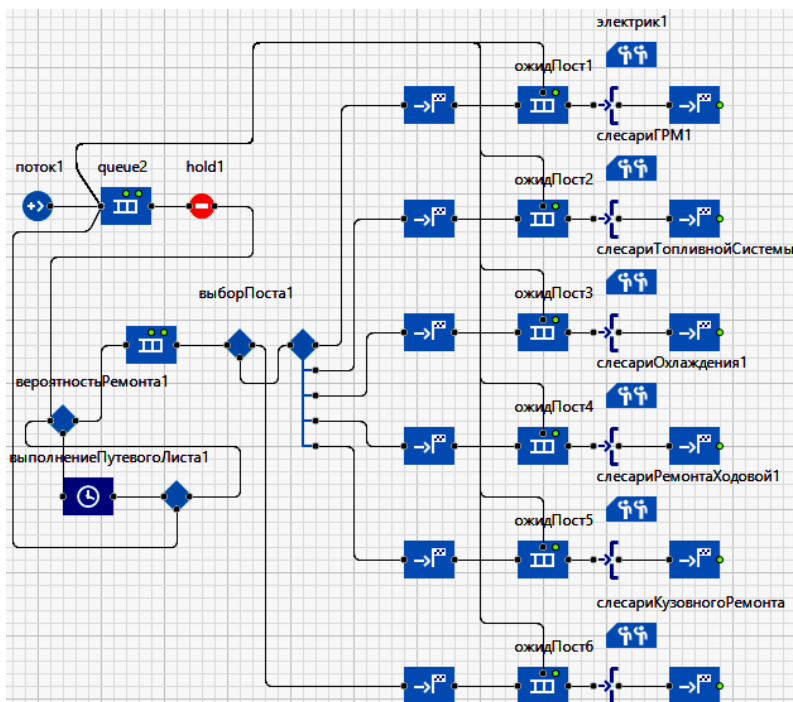


Рис. 25. Добавление блоков «Move To»

14. Добавление блоков **TimeMeasureStart** (рис. 26).

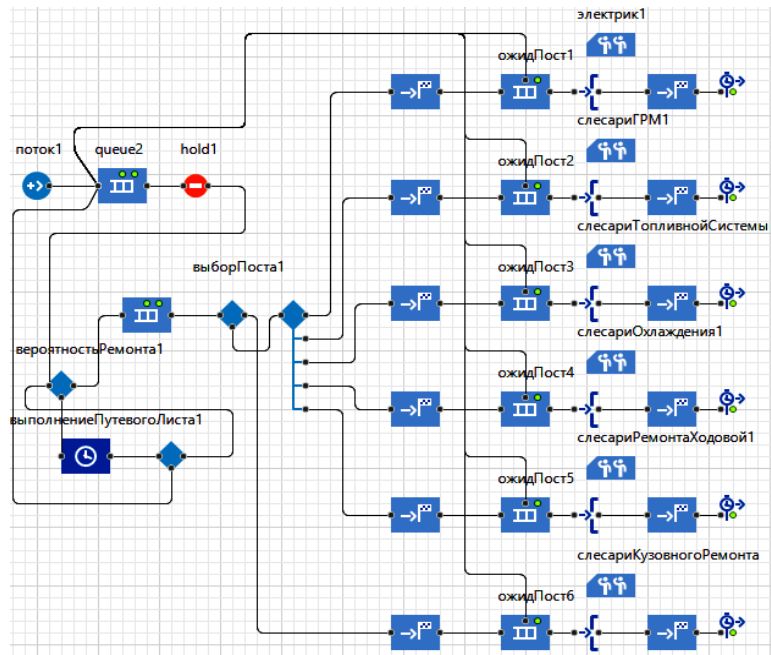


Рис. 26. Добавление блоков «TimeMeasureStart»

15. Добавление блоков **Service** (рис. 27) . Назвать эти блоки «поиск-Неисправностей».

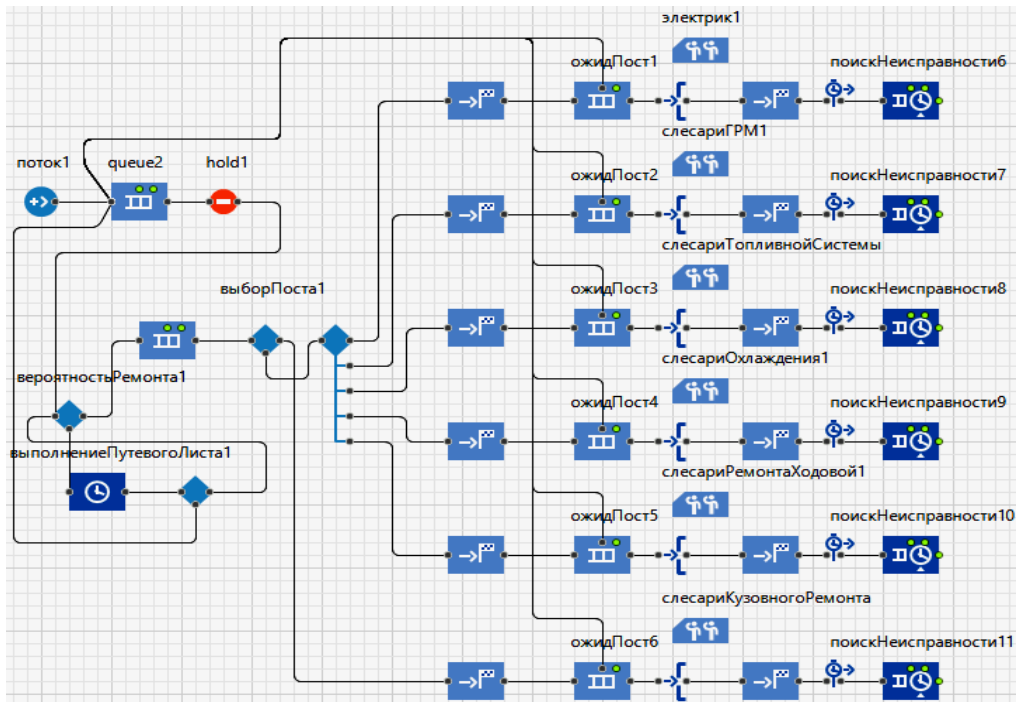


Рис. 27. Добавление блоков «Service»

16. Добавление блоков **Service** (рис. 28). Назвать эти блоки «устранениеНеисправностей».

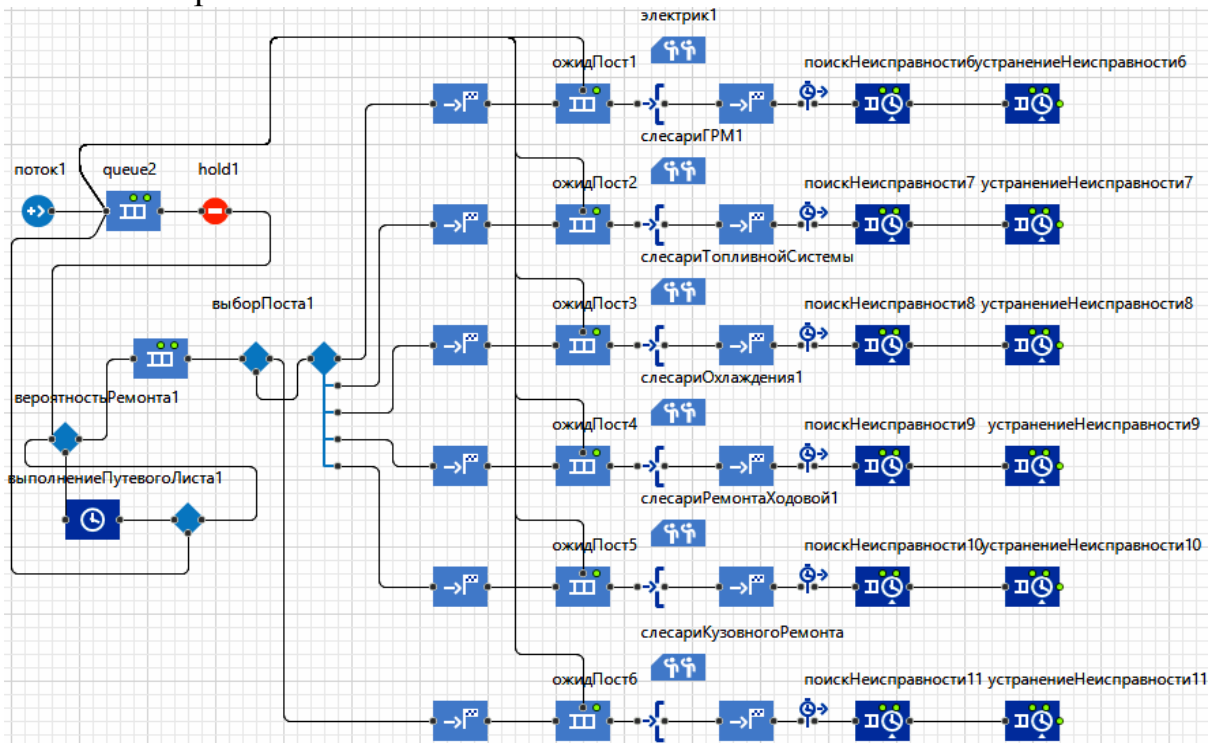


Рис. 28. Добавление блоков «Service»

17. Добавление блоков **TimeMeasureEnd** (рис. 29).

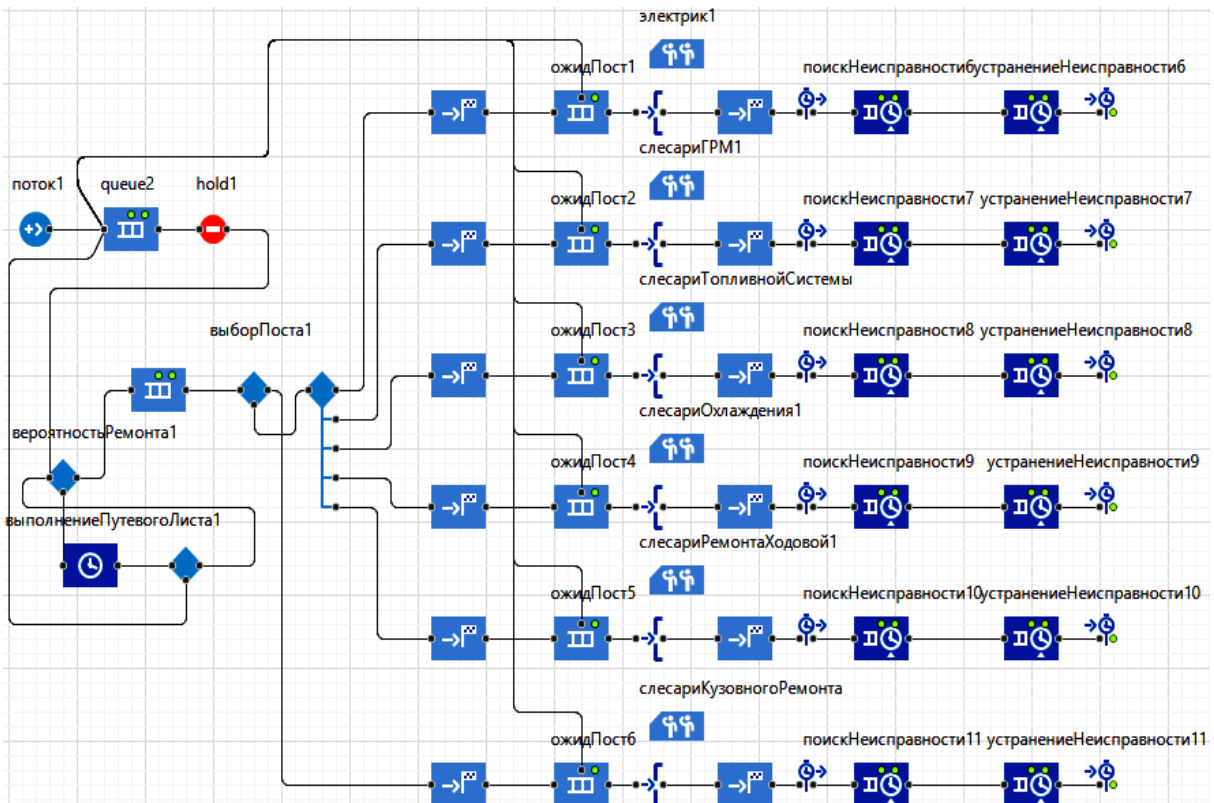


Рис. 29. Добавление блоков «TimeMeasureEnd»

18. Добавление блоков **RestrictedAreaEnd** (рис. 30).

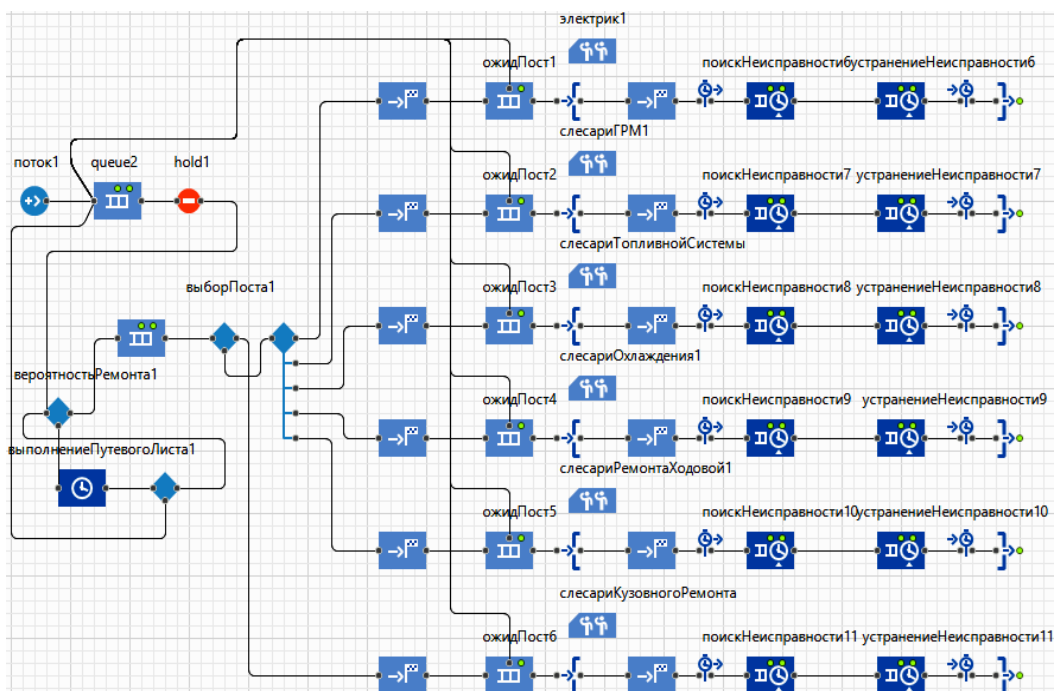


Рис. 30. Добавление блока «RestrictedAreaEnd»

19. Добавление блока **Move To** (рис. 31). Соединить этот блок с блоком «выполнениеПутевогоЛиста1».

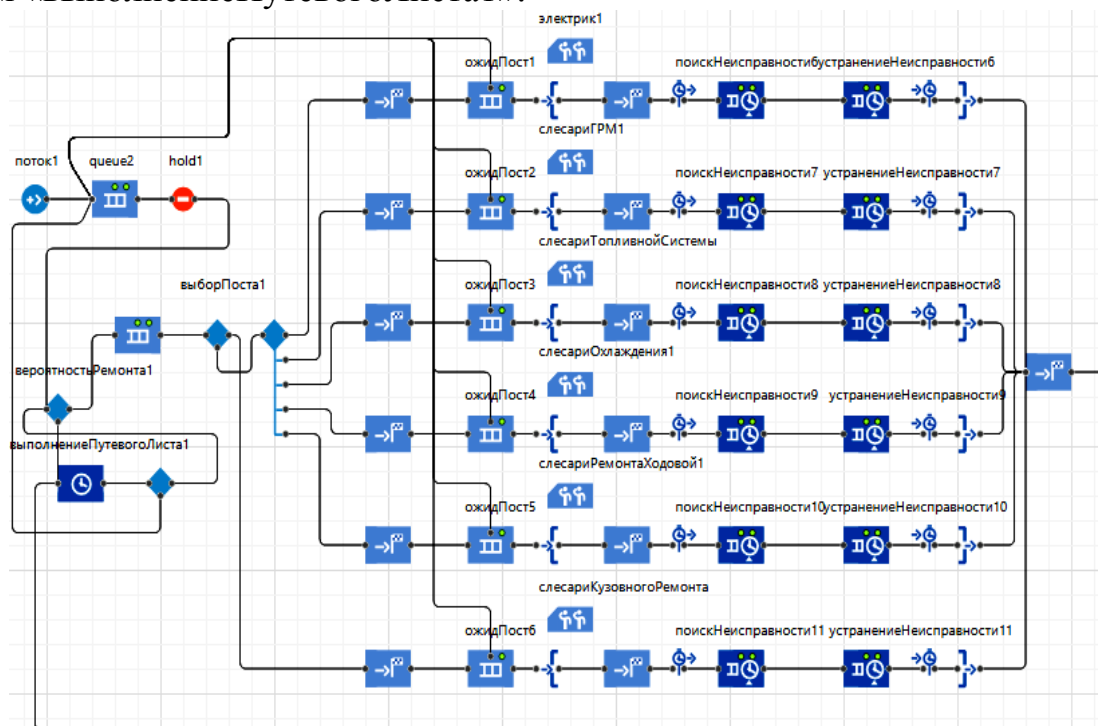


Рис. 31. Добавление блоков «Move To»

Далее требуется добавить параметры и расписания выезда автобусов из парка, а также расписание работы слесарей в зоне ремонта (рис. 32).

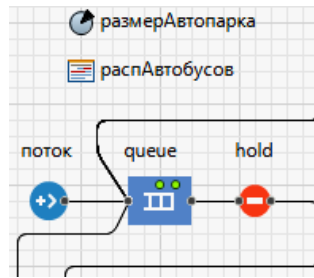


Рис. 32. Добавление блоков «Параметры» и «расписанияАвтобусов»

Затем требуется добавить полную схему связанных между собой необходимых параметров и динамических переменных, как показано на рис. 33.

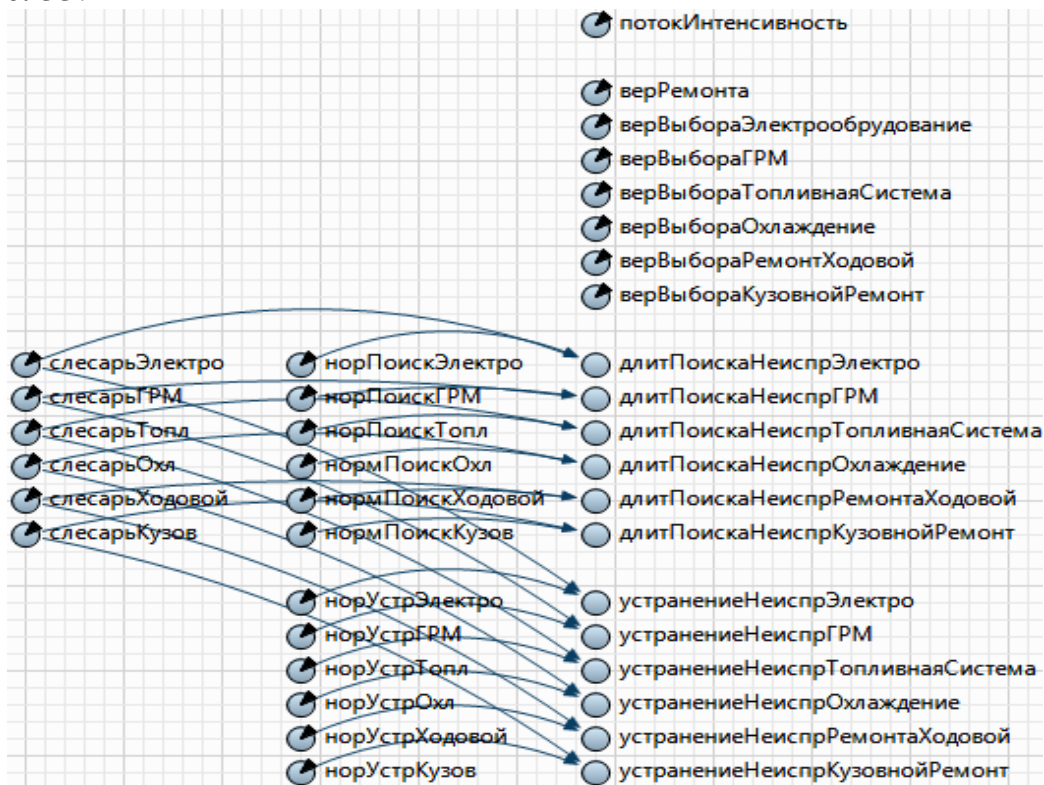


Рис. 33. Задание необходимых параметров, динамических переменных и связей между ними

Алгоритм модели реализован, блоки настроены, далее следует разработать визуализацию модели.

2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ

Визуализация процесса работы и состояния основных элементов позволяет контролировать адекватность ее поведения, следовательно, выполнять отладку модели и обеспечивает большую точность результатов. Поэтому рекомендуется использовать элементы визуализации, особенно в больших сложных моделях. Система Anylogic располагает богатыми

средствами визуализации, используем основные из них в рассматриваемом примере. В данном случае будет поэлементно разрабатываться визуализация технологического процесса зоны ремонта.

1. Перенос на поле рабочего пространства блока **Точечный узел** (рис. 34). Назвать эти блоки «устранение Неисправностей».



Рис. 34. Добавление блока «Точечный узел»

2. Перенос на поле рабочего пространства элемента **Путь** в виде небольшого отрезка (рис. 35).



Рис. 35. Добавление отрезка «Путь»

3. Задание отрезку **Путь** требуемой траектории движения, например, «Прямоугольный узел» (рис. 36).

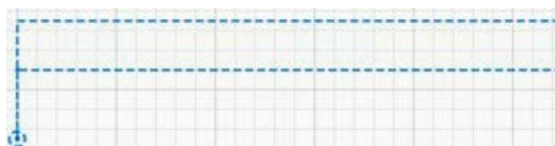


Рис. 36. Задание отрезку **Путь** требуемой траектории движения «Прямоугольный узел»

4. Перенос на поле рабочего пространства элементов **Аттрактор**. Нужно заполнить ими все прямоугольное пространство.

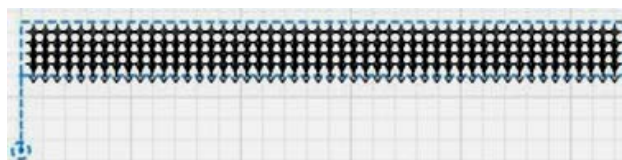


Рис. 37. Добавление «Аттракторов»

5. Перенос на поле рабочего пространства элементов **Путь** в виде небольших отрезков.

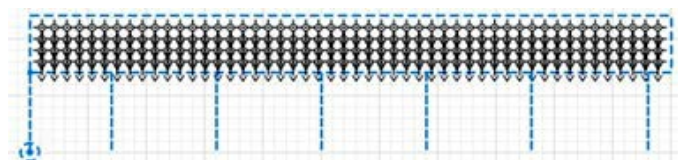


Рис. 38. Добавление «отрезков Пути»

6. Перенос на поле рабочего пространства объектов **Дорога** в виде небольших отрезков, как показано рис. 39.

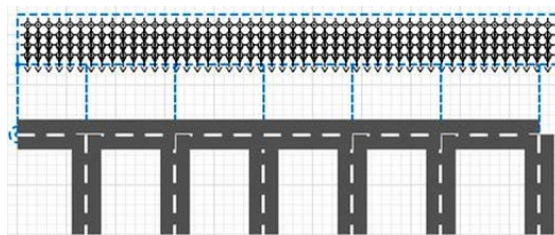


Рис. 39. Добавление объектов «Дорога»

7. Перенести на поле рабочего пространства элементы **Прямоугольного узла** и в свойствах изменить цвет линии на серый, а также изменить толщину линии, выставив параметр 1. Далее в данный прямоугольный узел поместить несколько элементов **аттракторов**, как показано на рис. 40.

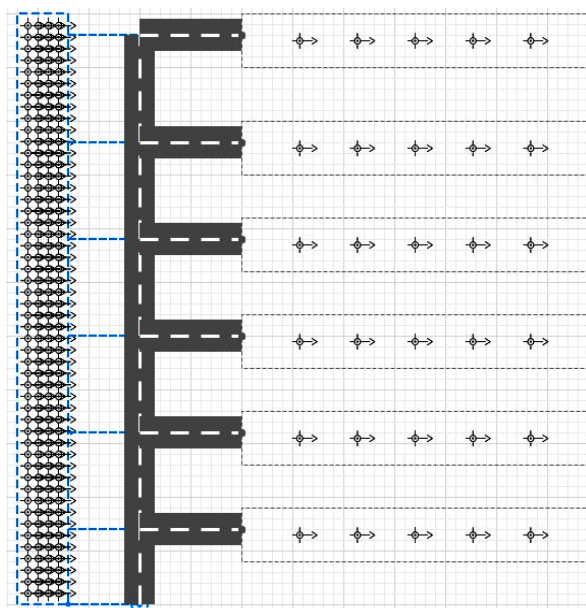


Рис. 40. Добавление элементов «Прямоугольного узла» и «Аттракторов»

8. Перенос на поле рабочего пространства элемента **Дорога** в виде небольших отрезков, как показано на рис. 41.

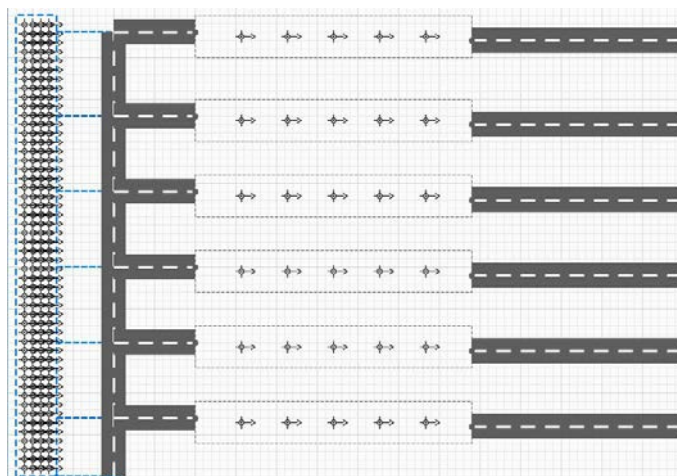


Рис. 41. Добавление элементов «Дорога»

9. Перенос на поле рабочего пространства элемента **Точечный узел** (рис. 42).

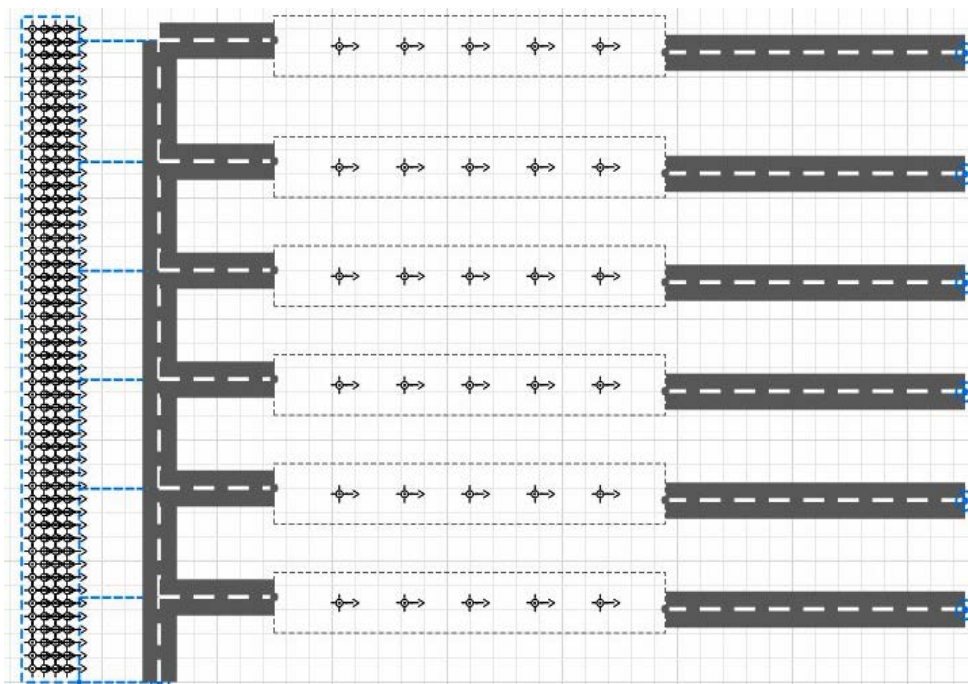


Рис. 42. Добавление элемента «Точечный узел»

10. Перенос на поле рабочего пространства элемента **Дорога** в виде небольших отрезков, как показано на рис. 43.

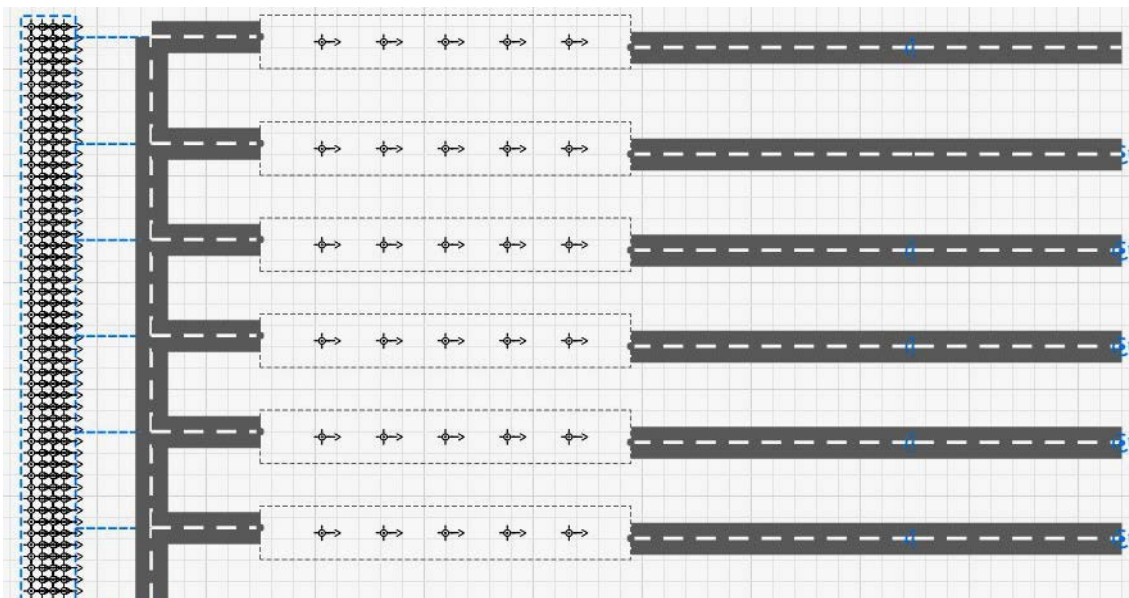


Рис. 43. Добавление объекта «Дорога» и элемента «Точечный узел»

11. Перенос на поле рабочего пространства объекта **Дорога** в виде небольших отрезков, как показано на рис. 44.

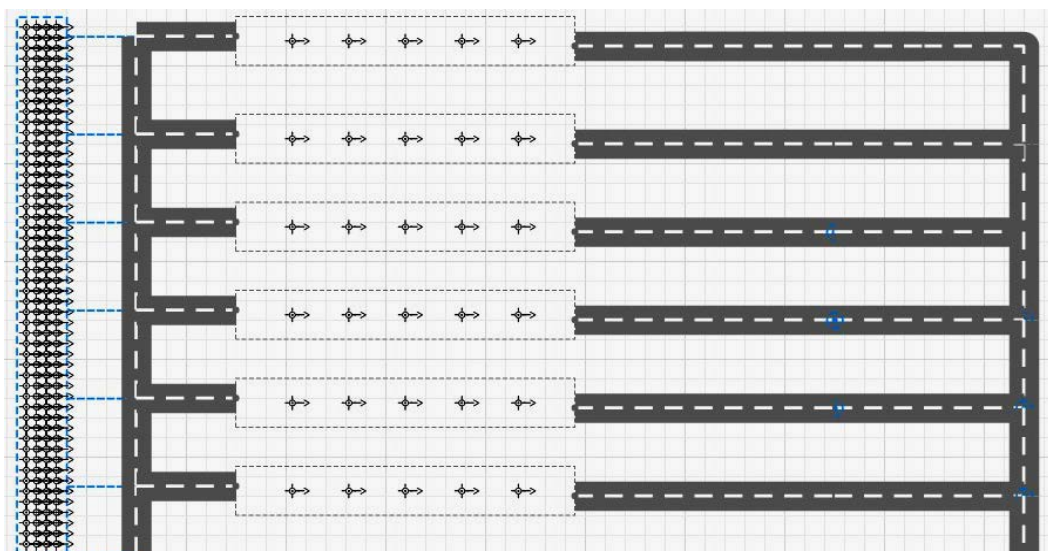


Рис. 44. Добавление объекта «Дорога»

12. Перенести на поле рабочего пространства элемента **Точечный узел** и назвать его «выход». Добавить объект **Путь** и соединить **Точечные узлы** «выход» и «входНаРемонт», как показано на рис. 45.

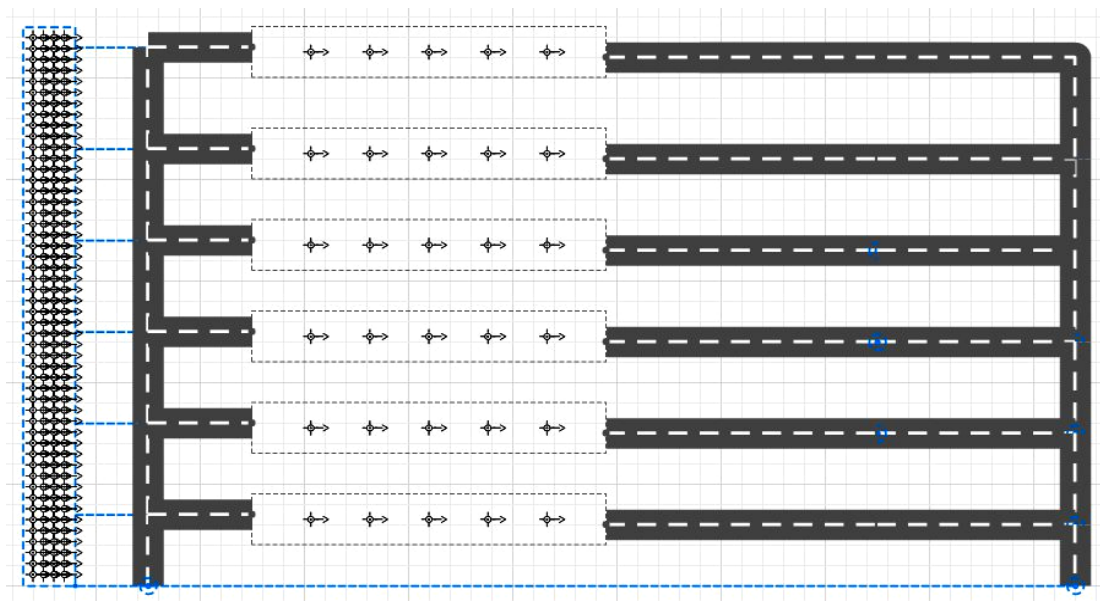


Рис. 45. Добавление объекта «Путь» и соединение точечных узлов

13. Для наглядности можно подчеркнуть и подписать некоторые визуализированные объекты. Чтобы добавить текст в **Палитре**, во вкладке презентация найти поле **Текст** и перенести его на выбранное место. Для подчеркивания объектов нужно выбрать в **Палитре** во вкладке «Pedestrian Liberty» объект **Стена** и перенести его на рабочее пространство. Подчеркнуть, как показано на рис. 46.

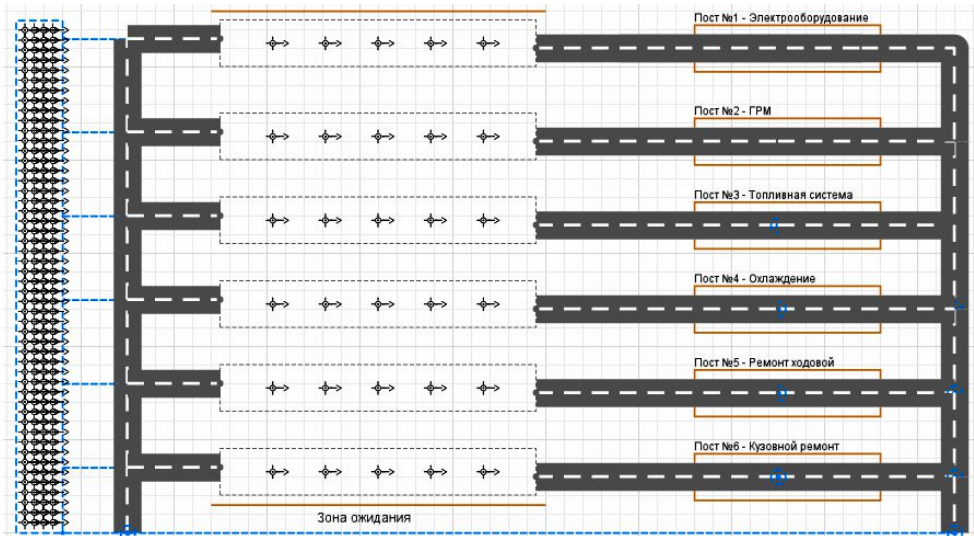


Рис. 46. Добавление объектов «Текст» и «Стена»

3. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ БЛОКОВ

1. Настройка параметров блока **Source** (рис. 47). Присвоить имя блоку «поток» и поставить галочку напротив поля *Отобразить имя*. В строке *Arrivals defined by* выбирать команду «Rate». Далее в строке *Arrival rate* прописать команду «потокИнтенсивность» и установить единицы измерения в часах. Далее в строке *Limited number of arrivals* поставить галочку. Затем в строке *Maximum number of arrivals* прописать «размерАвтопарка». Далее в строке *New agent* агента **Автобус**, в строке *Location of arrival* выставить команду «Network /GIS node», а в строке *Node* присвоить точечный узел с названием «входНаРемонт». В строке *Speed* выставить значение 10 м/с.

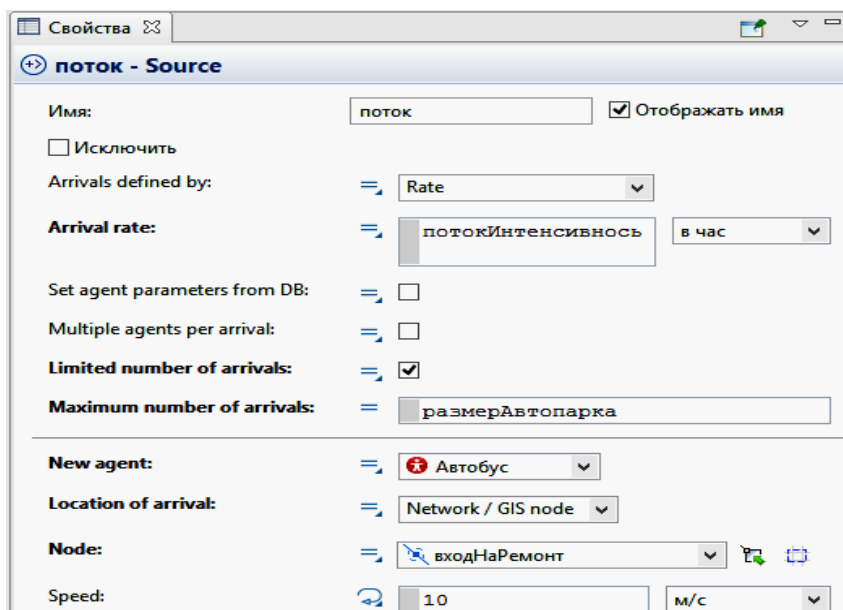


Рис. 47. Настройка параметров блока «поток»

2. Настройка параметров блока **Queue** (рис. 48). В строке *Maximum capacity* выставить галочку. Далее в строке *Agent location* присвоить «прямоугольный узел node6». В строке *Queuing* выбрать «FIFO». Далее в строке *Restore agent location on exit* выставить галочку. Все остальные параметры остаются без изменений.

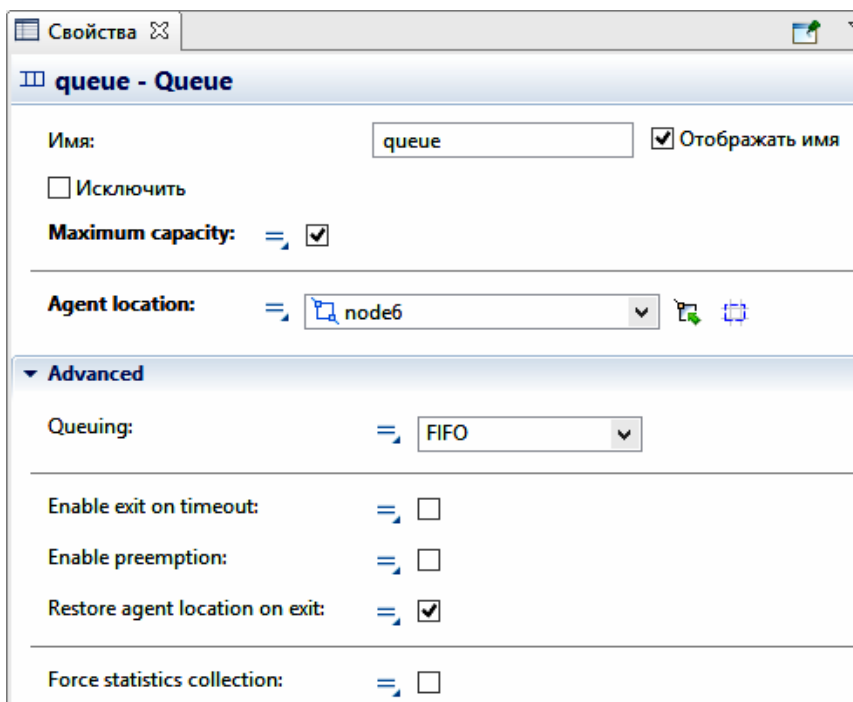


Рис. 48. Настройка параметров блока «Queue»

3. Настройка параметров блока **Hold** (рис. 49). В строке *Mode* выбрать «Manual (use block(), unblock())». Далее в строке *Initially blocked* поставить галочку.

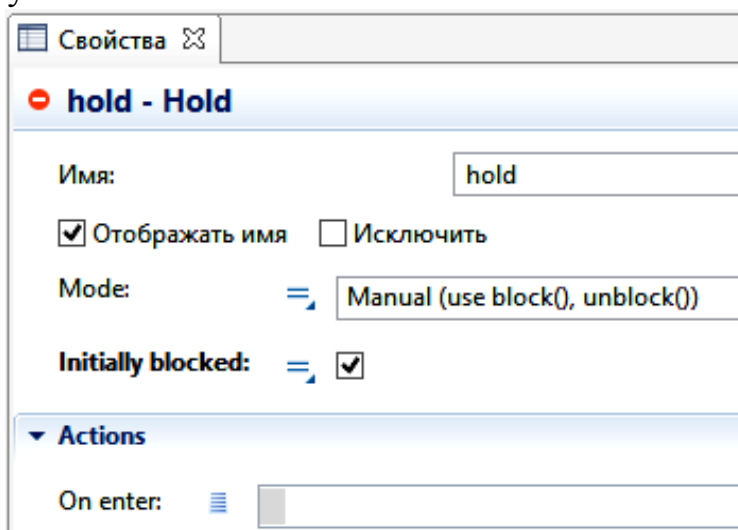


Рис. 49. Настройка параметров блока «Hold»

4. Настройка параметров блока **SelectOutput** (рис. 50). В строке *Имя* прописать «вероятностьРемонта». В строке *Select True output* выбирать строку *With specified probability [0..1]*. В строке *Probability* прописать «верРемонта».

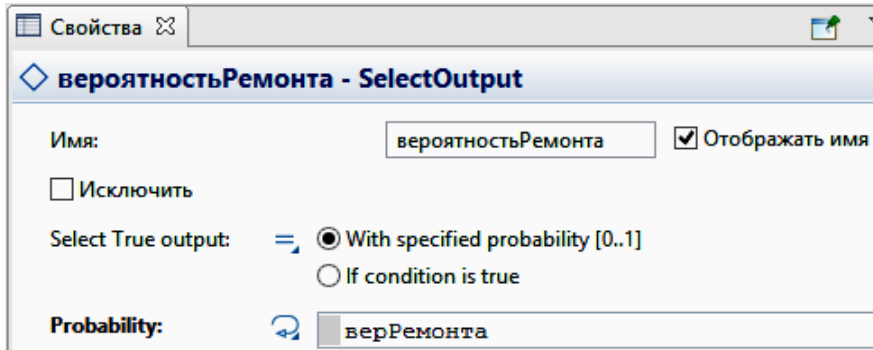


Рис. 50. Настройка параметров блока «SelectOutput»

5. Настройка параметров блока **Queue** (рис. 51). В строке *Имя* прописать «зонаОжидания». В строке *Capacity* выставляем значение 100. Далее в строке *Queuing* выбрать FIFO. Далее в строке *Restore agent location on exit* выставить галочку. Все остальные параметры остаются без изменений.

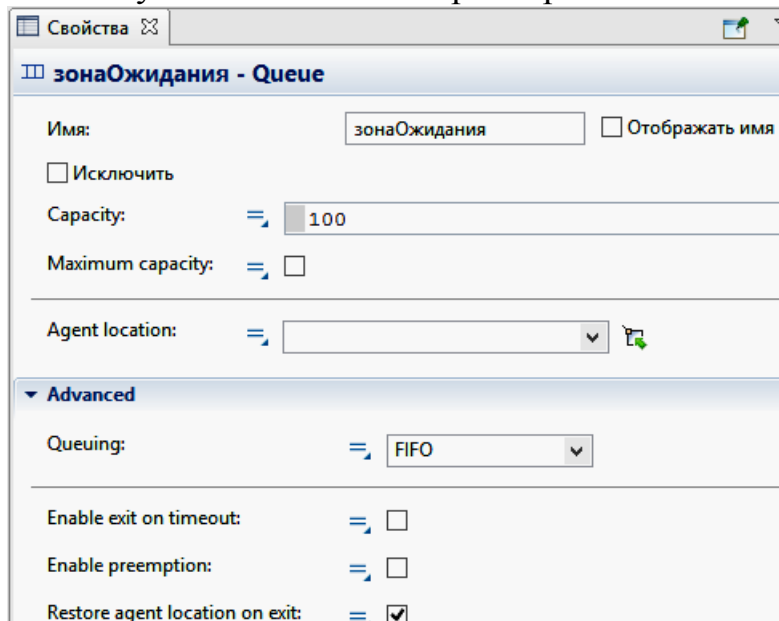


Рис. 51. Настройка параметров блока «Queue»

6. Настройка параметров блока **Delay** (рис. 52). В строке *Имя* прописать «выполнениеПутевогоЛиста». В строке *Type* выставить значение *Specified time*. Далее в строке *Delay time* прописать значения *triangular (2, 3, 6)*. Далее в строке *Maximum capacity* поставить галочку. В строке *Agent location* выбрать «path 28». В строке *Restore agent location on exit* выставить галочку. Все остальные параметры остаются без изменений.

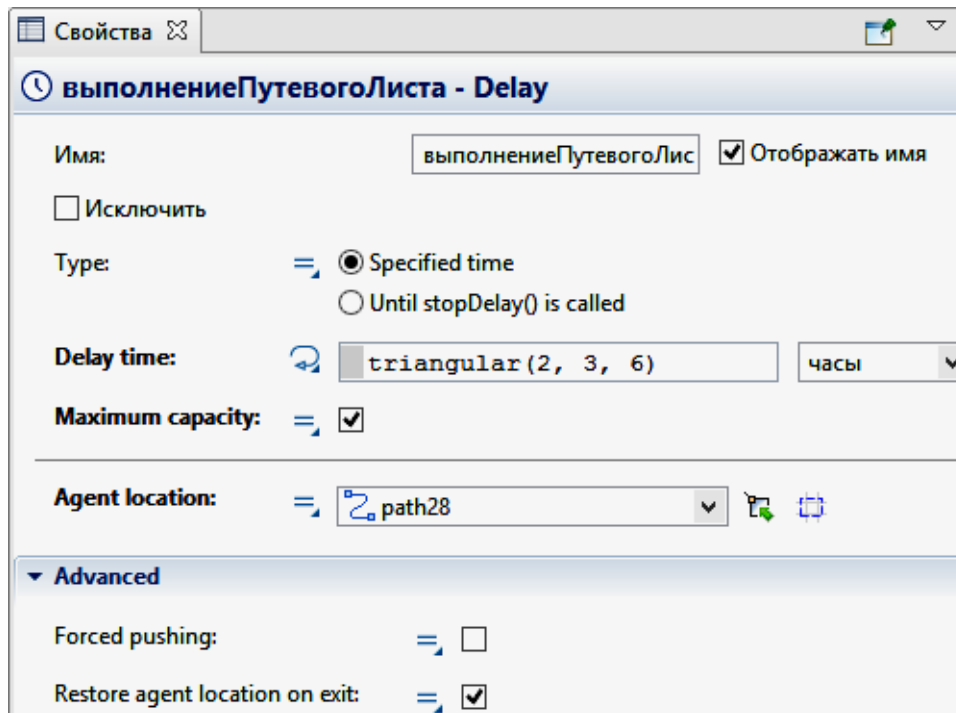


Рис. 52. Настройка параметров блока «выполнениеПутевогоЛиста»

7. Настройка параметров блока **SelectOutput1** (рис. 53). В строке *Имя* прописать «вероятностьРемонта». В строке *Select True output* выбрать строку «if condition is true». В строке *Condition* прописать «распАвтобусов.getValue()». Все остальное остается без изменений.

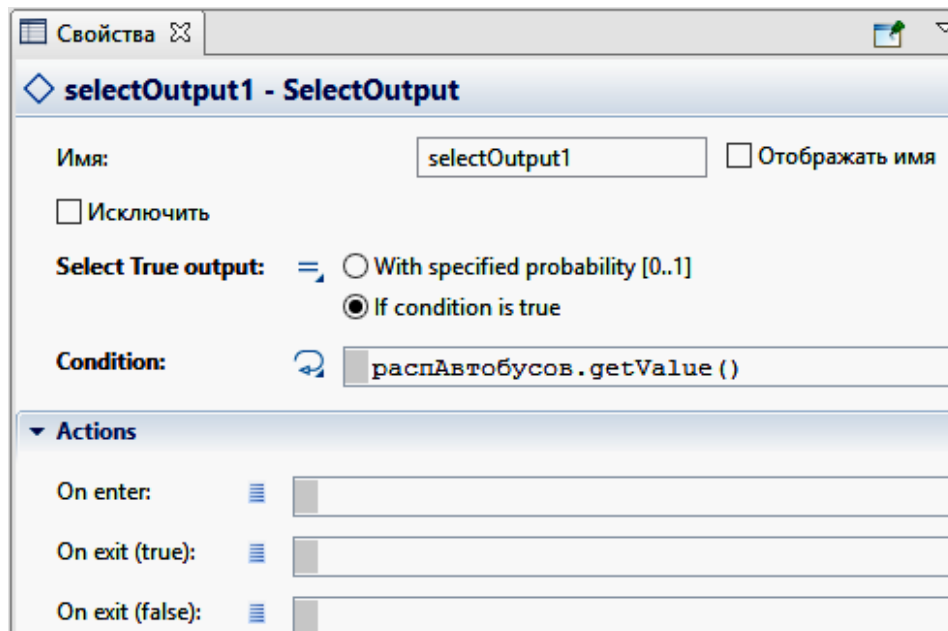


Рис. 53. Настройка параметров блока «SelectOutput1»

8. Настройка параметров блока **SelectOutput** (рис. 54). В строке *Select True output* выбрать строку «With specified probability [0..1]». В строке

Probability прописать «верВыбораКузовнойРемонт». Все остальное остается без изменений.

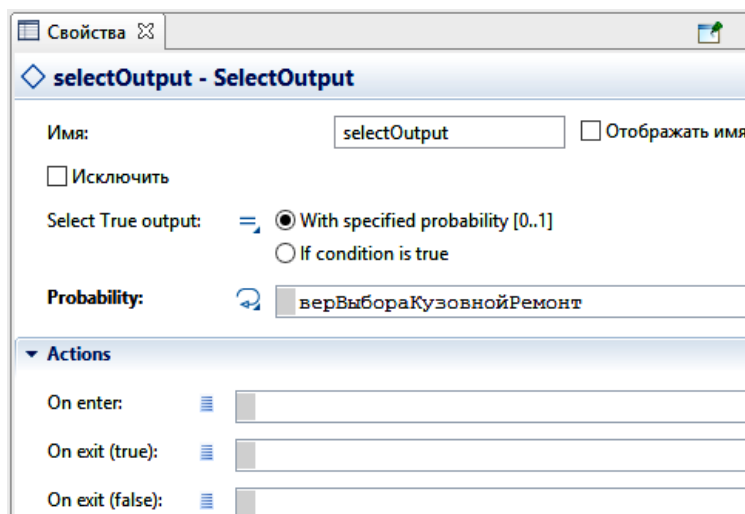


Рис. 54. Настройка параметров блока «SelectOutput»

9. Настройка параметров блока **SelectOutput5** (рис. 55). В строке *Имя* прописать «выборПоста». В строке *Use* выбрать строку «Probabilities». В строке *Probability1* прописать «верВыбораЭлектрооборудования». В строке *Probability2* прописать «верВыбораГРМ». В строке *Probability3* прописать «верВыбораТопливнаяСистема». В строке *Probability4* прописать «верВыбораОхлаждение». В строке *Probability5* прописать «верВыбораРемонтХодовой». Все остальное остается без изменений.

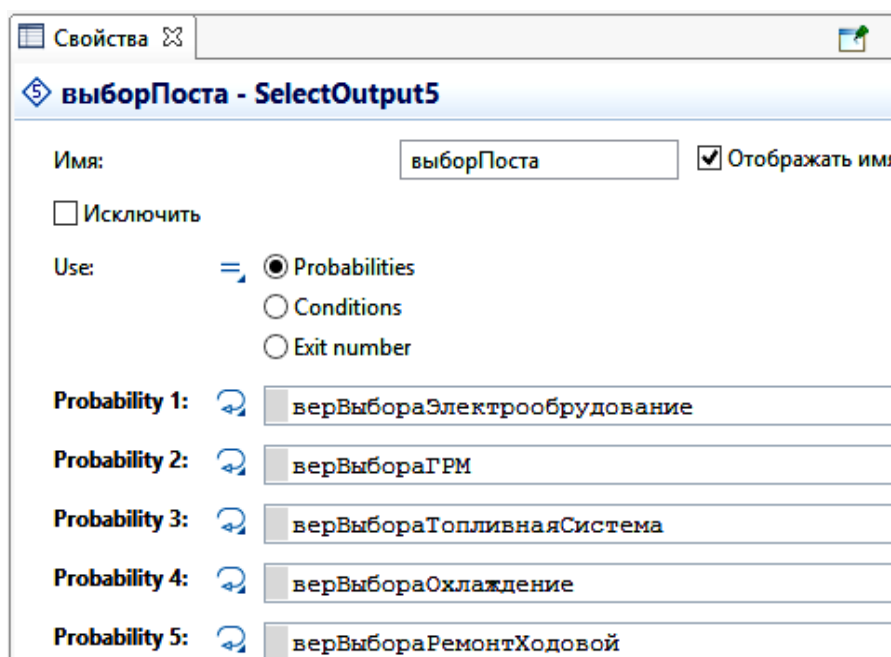


Рис. 55. Настройка параметров блока «SelectOutput5»

10. Настройка параметров блока **Move To** (рис. 56). В строке *Agent* выбрать «moves». В строке *Destination* выбрать «Network/ GIS node». В строке *Node* для каждого блока выбрать «node», «node1», «node2», «node3», «node5» соответственно. В строке *Movement is defined by* выбрать «Distance/ speed». Все остальное остается без изменений.

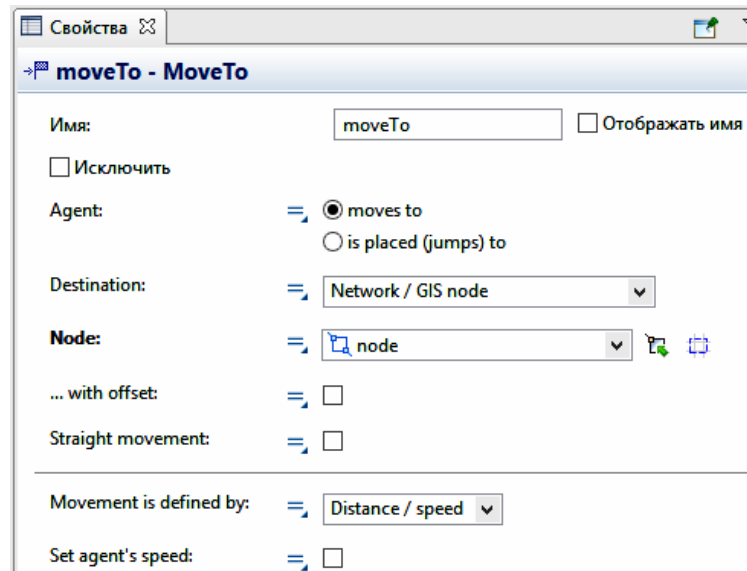


Рис. 56. Настройка параметров блока «Move to»

11. Настройка параметров блока **Queue** (рис. 57). В строке *Имя* прописать «ожидПост1». В строке *Capacity* выставить значение 5. В строке *Agent location* выбрать «node», «node1», «node2», «node3», «node5» соответственно для каждого блока. Далее в строке *Queuing* выбрать FIFO. Далее в строках *Enable preemption* и *Restore agent location on exit* поставить галочки. Все остальные параметры остаются без изменений.

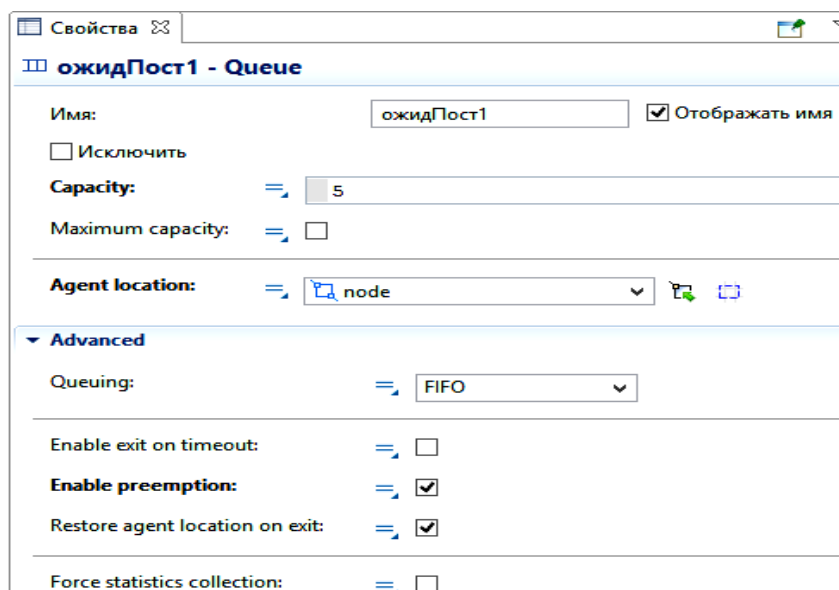


Рис. 57. Настройка параметров блока «ожидПост1»

12. Настройка параметров блока **RestrictedAreaStart** (рис. 58). В строке *Capacity (max allowed)* выставить значение 1. Все остальные параметры остаются без изменений.

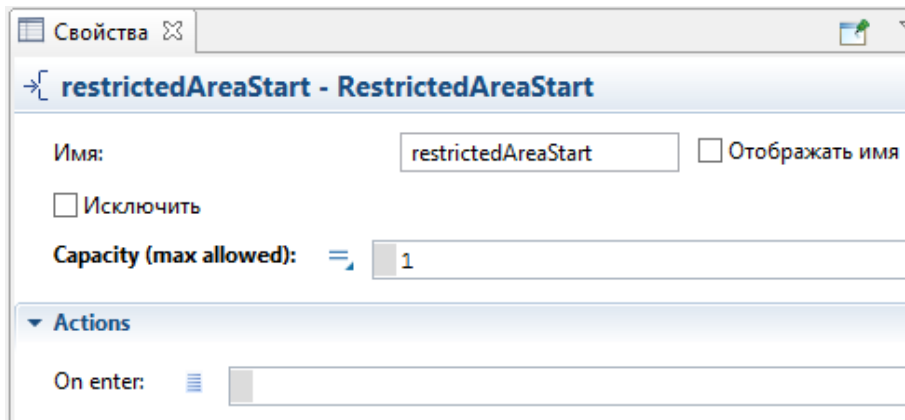


Рис. 58. Настройка параметров блока «RestrictedAreaStart»

13. Настройка параметров блока **Resource pool** (рис. 59). В строке *Имя* прописать «Электрик». В строке *Resource type* выбрать «Moving». В строке *Capacity defined* выбрать «By “on/off” schedule». Далее в строке *On/off schedule* выбрать «распМастерской». В строке *Capacity when “On”* поставить значение 1. В строке *When capacity decreases* выбрать «units are preserved (‘End of shift’)». Все остальные параметры остаются без изменений.

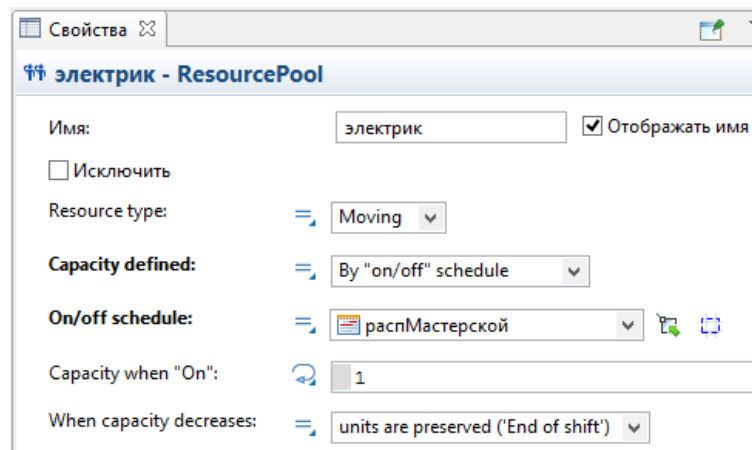


Рис. 59. Настройка параметров блока «Resource pool»

14. Настройка свойств блока **Move To** (рис. 60). В строке *Agent* выбрать «moves to». В строке *Destination* выбрать «Network/ GIS node». В строке *Node* для каждого блока выбрать «post1», «post2», «post3», «post4», «post5» соответственно. В строке *Movement is defined by* выбрать «Distance/ speed». Все остальное остается без изменений.

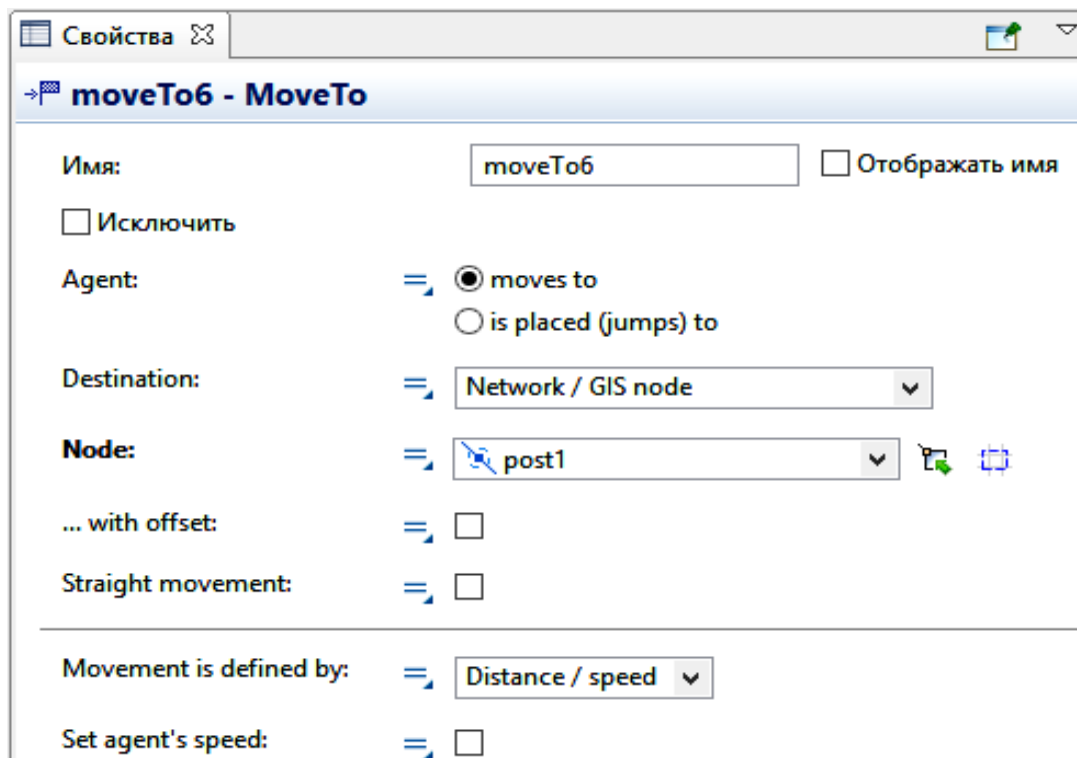


Рис. 60. Настройка параметров блока «moveTo6»

15. Настройка параметров блока **TimeMeasureStart** (рис. 61). В данном блоке все свойства остаются по умолчанию.

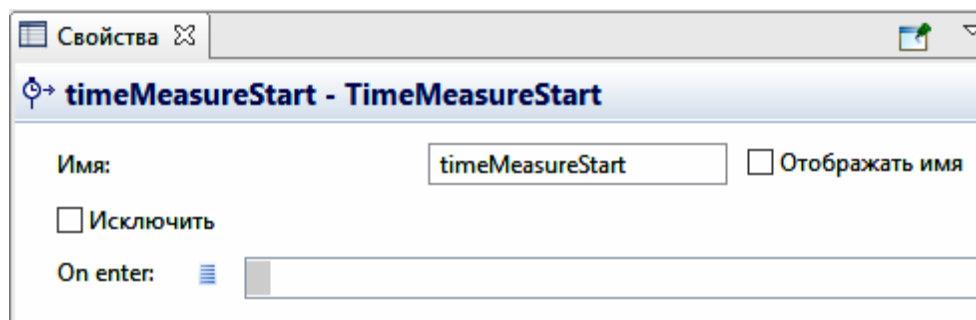


Рис. 61. Параметры блока «timeMeasureStart» (остаются по умолчанию)

16. Настройка параметров блока **Service** (рис. 62). В строке *Имя* прописать «поискНеисправности». В строке *Seize* выбрать «(alternative) resource sets». Далее в строке *Resource sets (alternatives)* выбрать *электрик* и прописать значение 1. В строке *Queue capacity* указать значение 1. Далее в строке *Delay time* прописать «triangularAV (длитПоискНеиспрЭлектро, 0.2)» и выбрать значение *часы*. В строке *Agent location(queue)* выставить «post1», также в строке *Agent location(delay)* выбрать «post». Все остальные параметры остаются без изменений.

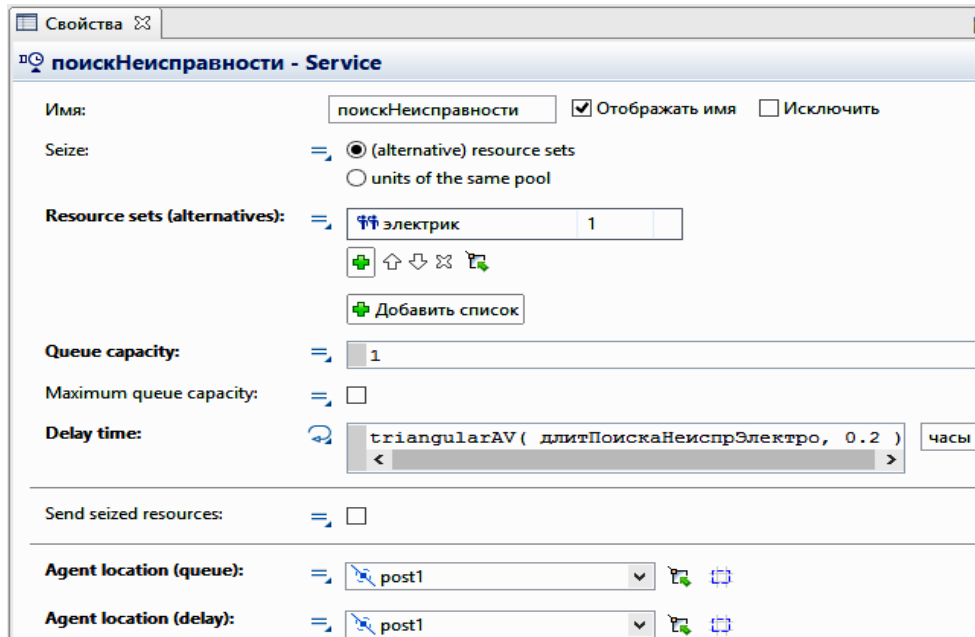


Рис. 62. Настройка параметров блока «поискНеисправности»

17. Настройка параметров блока **Service** (рис. 63). В строке *Имя* прописать «устранениеНеисправности». В строке *Seize* выбрать «(alternative) resource sets». Далее в строке *Resource sets (alternatives)* выбрать *электрик* и поставить значение 1. В строке *Queue capacity* поставить значение 1. Далее в строке *Delay time* прописать» *triangularAV (устранениеНеиспрЭлектро, 0.2)»* и выбрать значение *часы*. В строке *Agent location(queue)* выставить «*post1*» и в строке *Agent location(delay)* выбрать «*post1*». Все остальные параметры остаются без изменений.

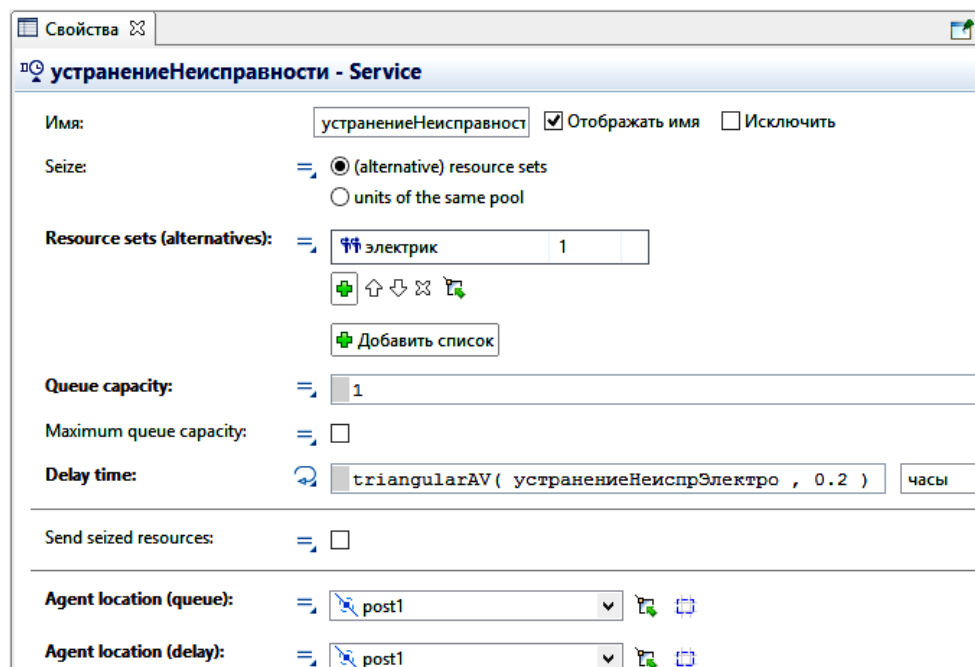


Рис. 63. Настройка параметров блока «устранениеНеисправности»

18. Настройка параметров блока **TimeMeasureEnd** (рис. 64). В строке *TimeMeasureStart blocks* выбрать «TimeMeasureStart». Далее в строке *Dataset capacity* указать значение 100. Все остальные параметры остаются без изменений.

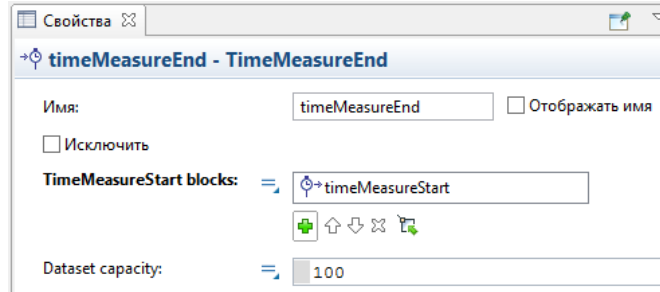


Рис. 64. Настройка параметров блока «timeMeasureEnd»

19. Настройка параметров блока **RestrictedAreaStart** (рис. 65). В строке *RestrictedAreaStart object* выбрать «restrictedAreaStart». Все остальные параметры остаются без изменений.

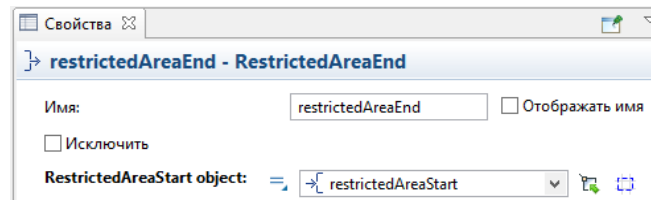


Рис. 65. Настройка параметров блока «restrictedAreaEnd»

20. Настройка параметров блока **Move To** (рис. 66). В строке *Имя* прописать «завершениеРемонта». В строке *Agent* выбрать «moves to». В строке *Destination* выбрать «Network/ GIS node». В строке *Node* для каждого блока выбрать «выход». В строке *Movement is defined by* выбрать «Distance/ speed». Все остальное остается без изменений.

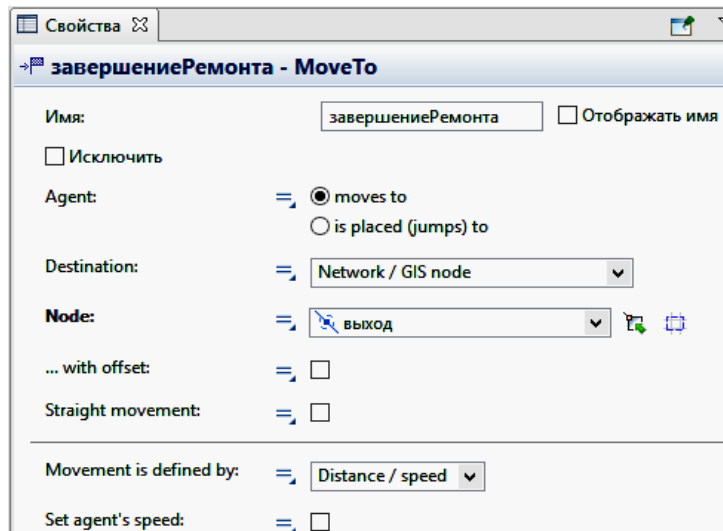


Рис. 66. Настройка параметров блока «завершениеРемонта»

4. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ

Для того чтобы начать работать с диаграммами, необходимо в «палитре» во вкладке «статистика» перенести на рабочее пространство любой объект из раздела «Диаграммы» (в данном случае переносятся гистограммы). На каждый пост задать по одной гистограмме. Для наглядности сверху подписать каждую гистограмму с помощью блока текста, как показано на рис. 67.

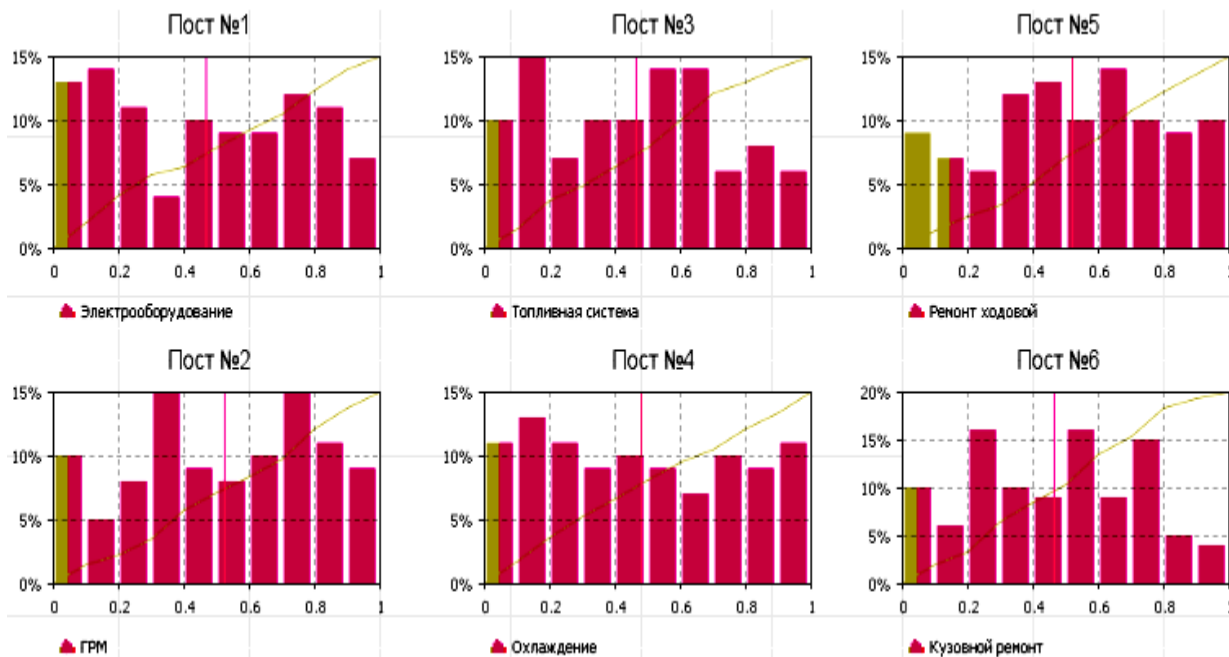


Рис. 67. Гистограммы

Нажать на вкладку «гистограмма поста №1». Далее перейти в «свойства». В разделе «данные» нажать на кнопку *Добавить данные*. Далее в заголовке прописать «Электрооборудование». В строке *Данные* прописать «timeMeasureEnd.distribution». По аналогии для других гистограмм прописать в данных «timeMeasureEnd2.distribution», «timeMeasureEnd3.distribution» и т.д.

Далее задать цветовые решения для гистограмм, как показано на рис. 68. В строке *Обновления данных* выбрать «Не обновлять данные автоматически». Далее место и размер задаются сразу при переносе гистограммы на рабочее пространство. На рис. 69 отображаются размеры и координаты данной гистограммы. Все остальные параметры задаются по умолчанию.

Можно добавить столбиковую диаграмму. Для наглядности с помощью элемента текста сверху подписать «Загрузка постов» (рис. 70).

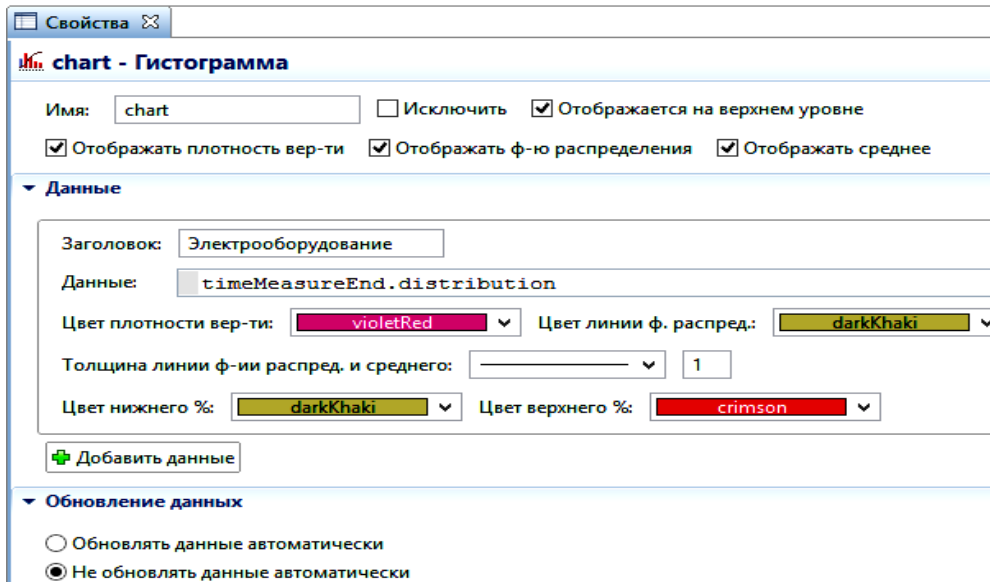


Рис. 68. Задание цветовых параметров гистограммы

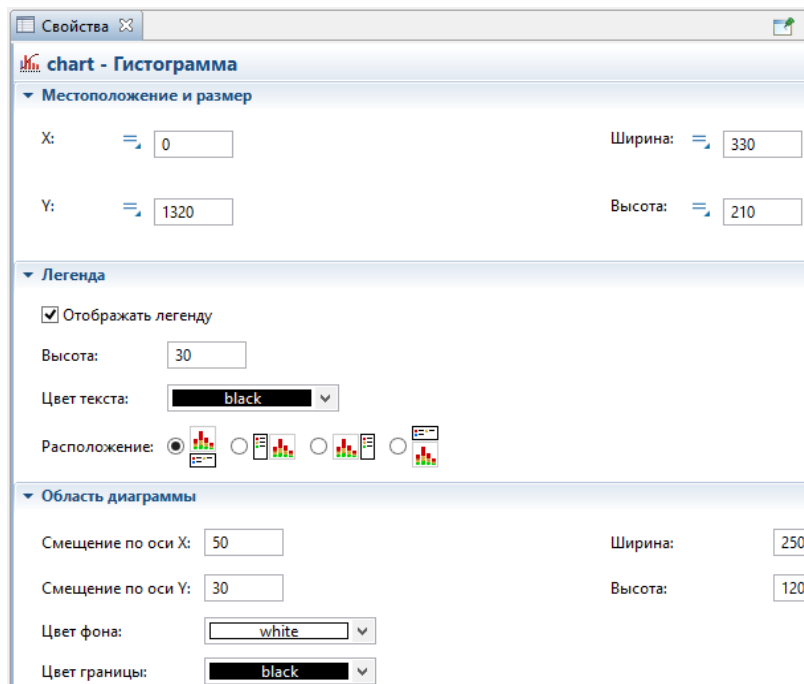


Рис. 69. Задание координат и размеров гистограммы

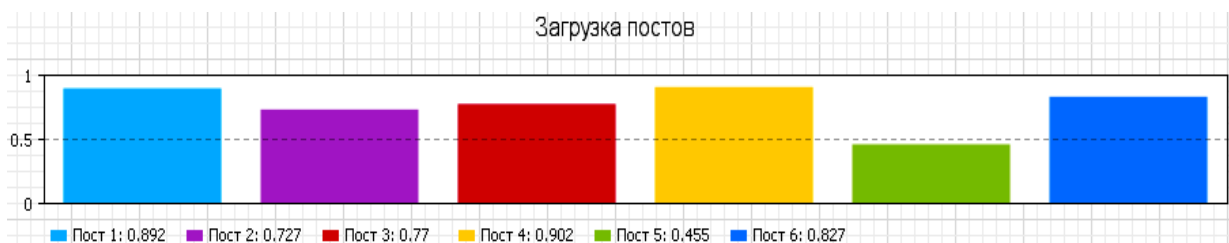


Рис. 70. Задание столбиковой диаграммы

Перейти на вкладку *Свойства*. В строке *Масштаб* выбрать «Авто». Также выбрать строку *Обновление данных автоматически* и *Использовать модельное время*. В разделе «Данные» нажать на *Добавить данные* и задать данные для каждого столбика. В строке «Заголовок» прописать «Пост 1». Далее выбрать цвет (в данном случае голубой) и в строке *Значение* прописать «электрик.utilization()» (рис. 71).

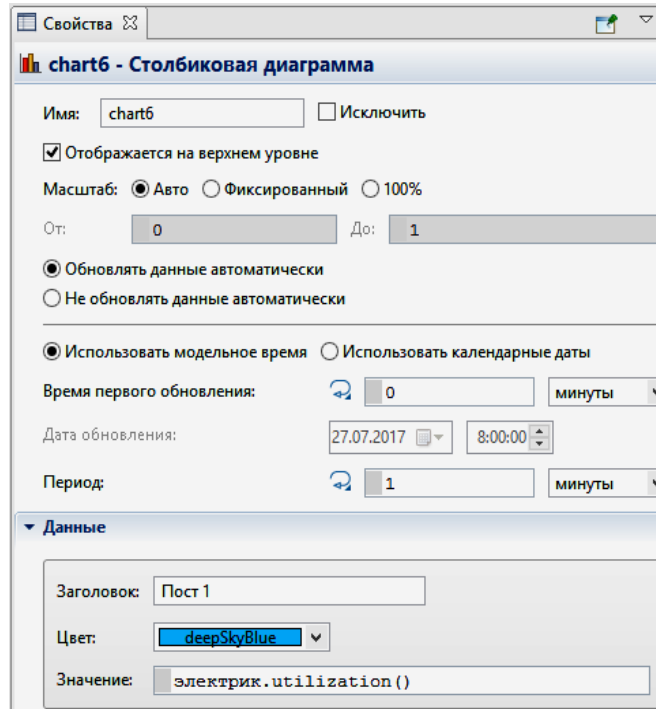


Рис. 71. Задание параметров столбиковой диаграммы

По аналогии прописать данные для остальных пяти столбцов, как показано на рис. 72.

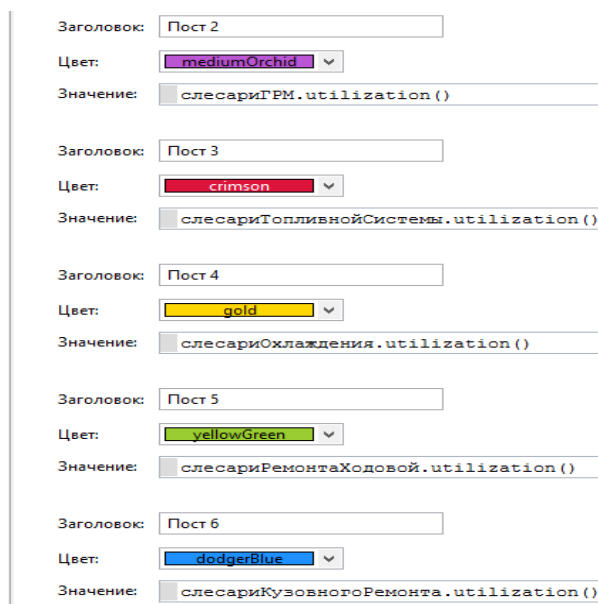


Рис. 72. Задание параметров оформления столбиковой диаграммы

Внешний вид «Столбиковой диаграммы» оставить по умолчанию (рис. 73).

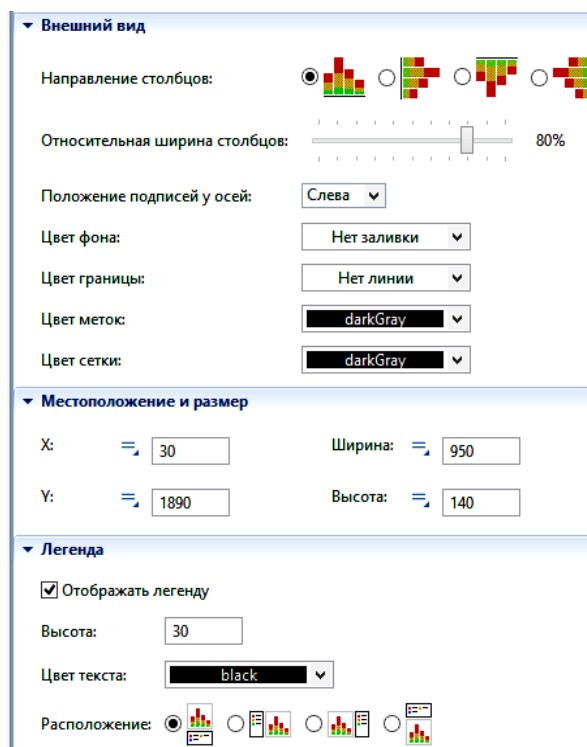


Рис. 73. Настройка внешнего вида столбиковой диаграммы

Полученная имитационная модель позволяет, изменяя варьируемые параметры, например количество слесарей на каждом ремонтном посту, время выполнения различных операций, исследовать технологический процесс ремонта автопарка, оптимизировать режимы работы зоны ремонта и рассчитывать другие характеристики.

5. ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Для оценки работы предприятия следует запустить модель. Для этого нужно нажать клавишу F5, после чего появится окно запуска модели (рис. 74).

В данном окне регулируется интенсивность поступления автобусов на маршрут, численность автомобилей в автопарке, вероятность появления необходимости в ремонте, норма часов работы на одного слесаря по виду ремонта, количество слесарей по виду ремонта. Эти настройки делаются по реальным данным. Далее нужно нажать кнопку *Запустить*. После запуска модели есть возможность наблюдать визуальную часть: выход автобусов на маршрут, поступление в ремонт, в зону ожидания и на ремонтные посты (рис. 75).

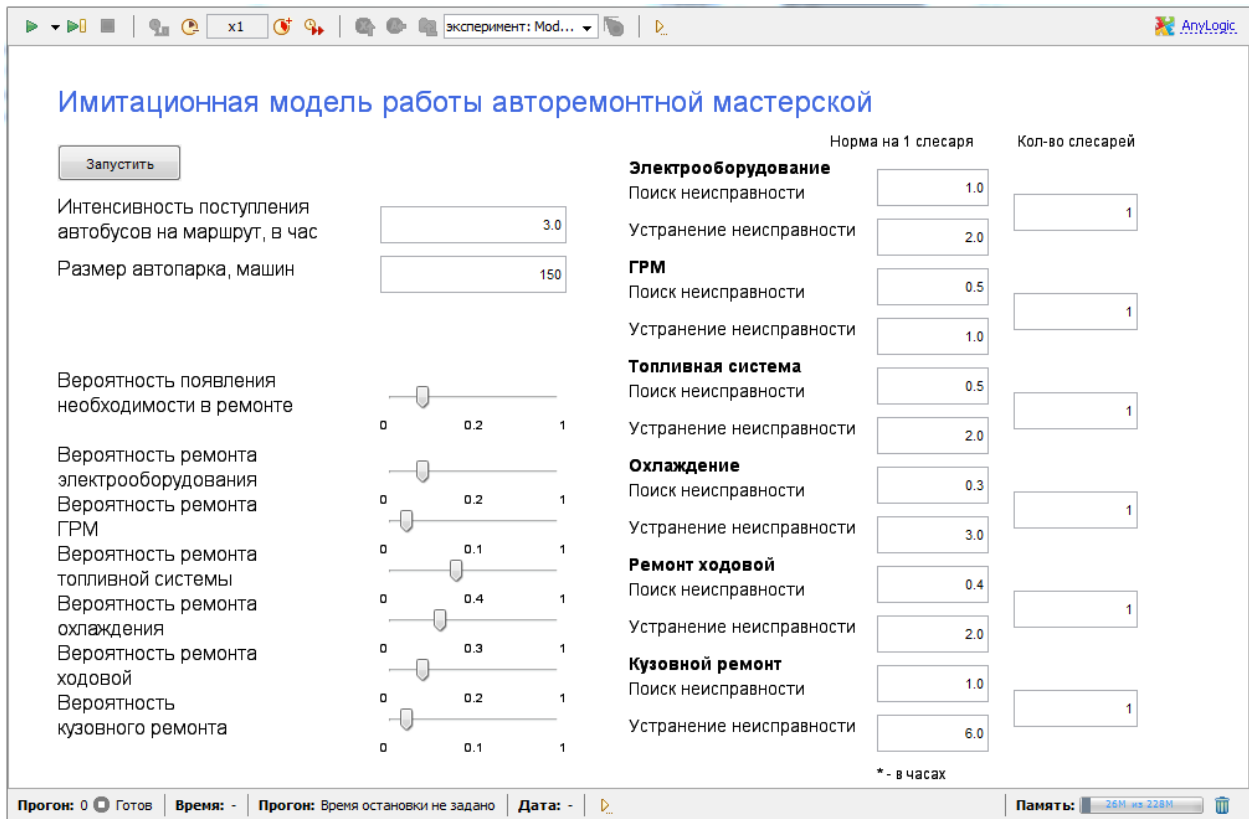


Рис. 74. Окно настройки исходных данных перед запуском модели

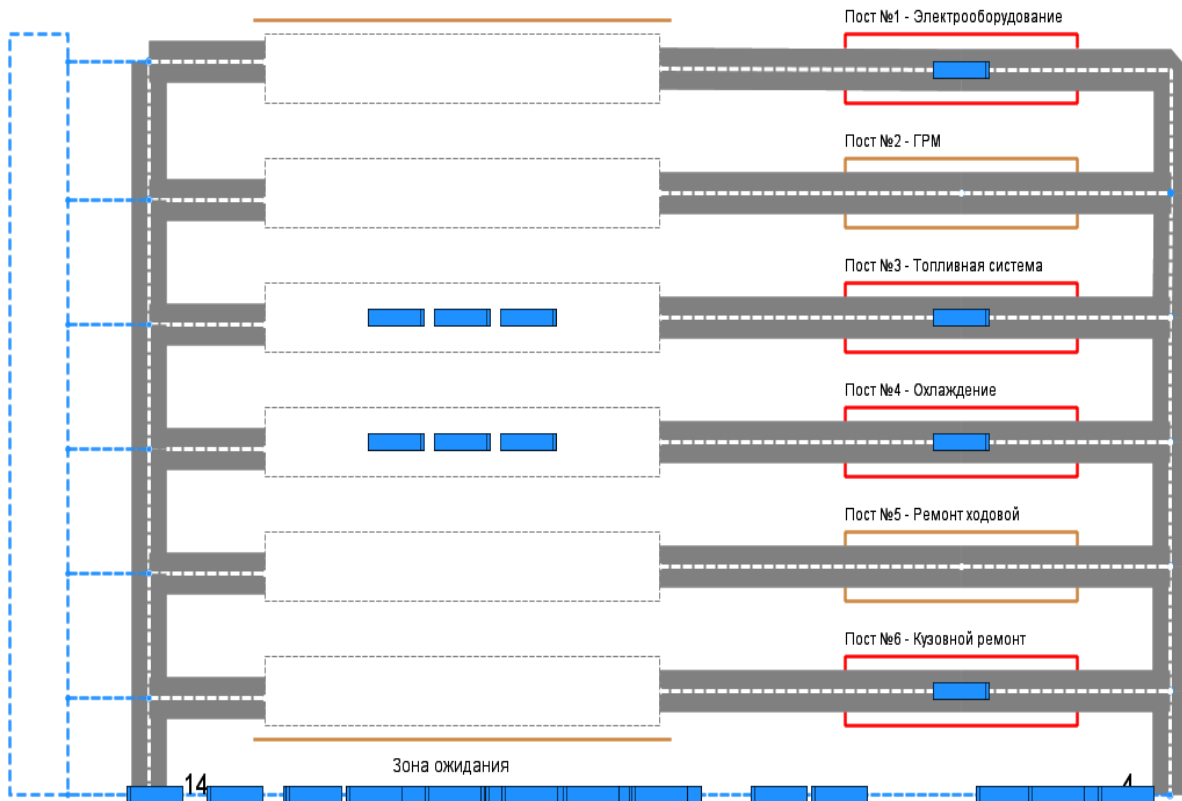


Рис. 75. Визуализация работы имитационной модели

Можно контролировать работу всех блоков модели, количество автомобилей, прошедших через различные зоны (рис. 76).

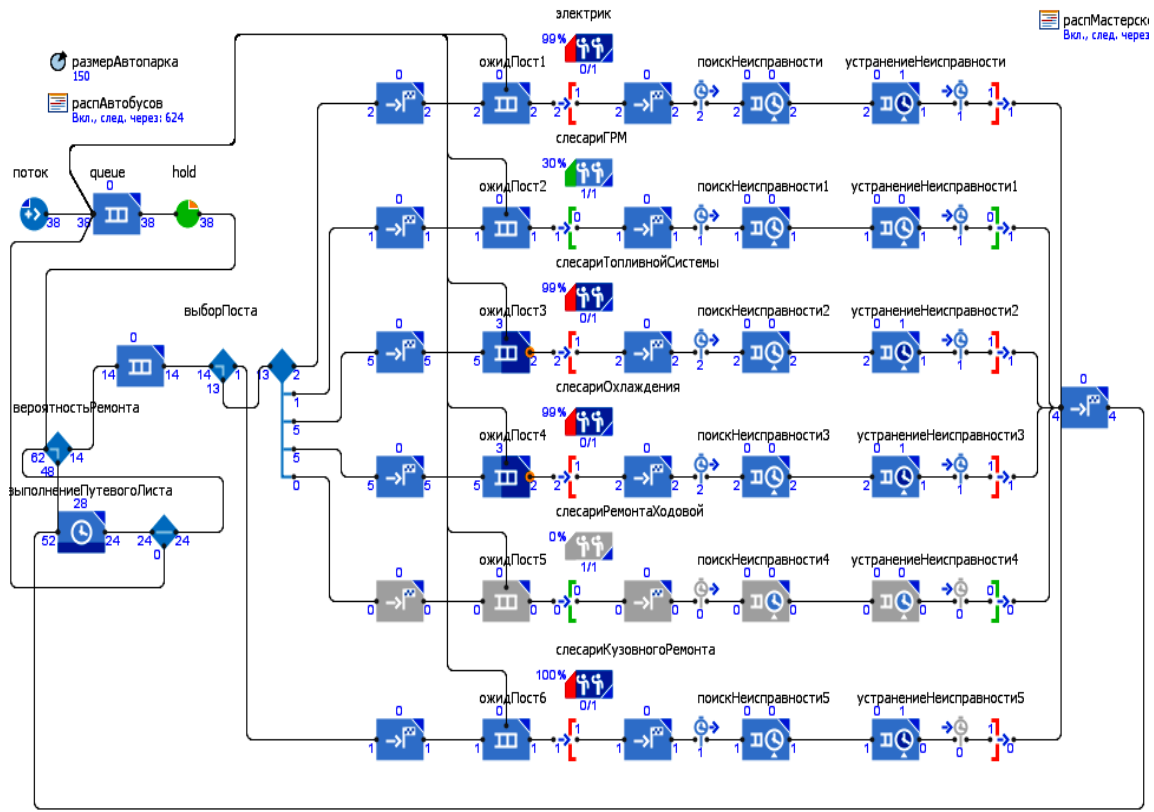


Рис. 76. Визуализация работы блоков имитационной модели

Для примера в ускоренном режиме модели задана работа в течение года. Полученные после имитационного эксперимента данные приведены на рис. 77.

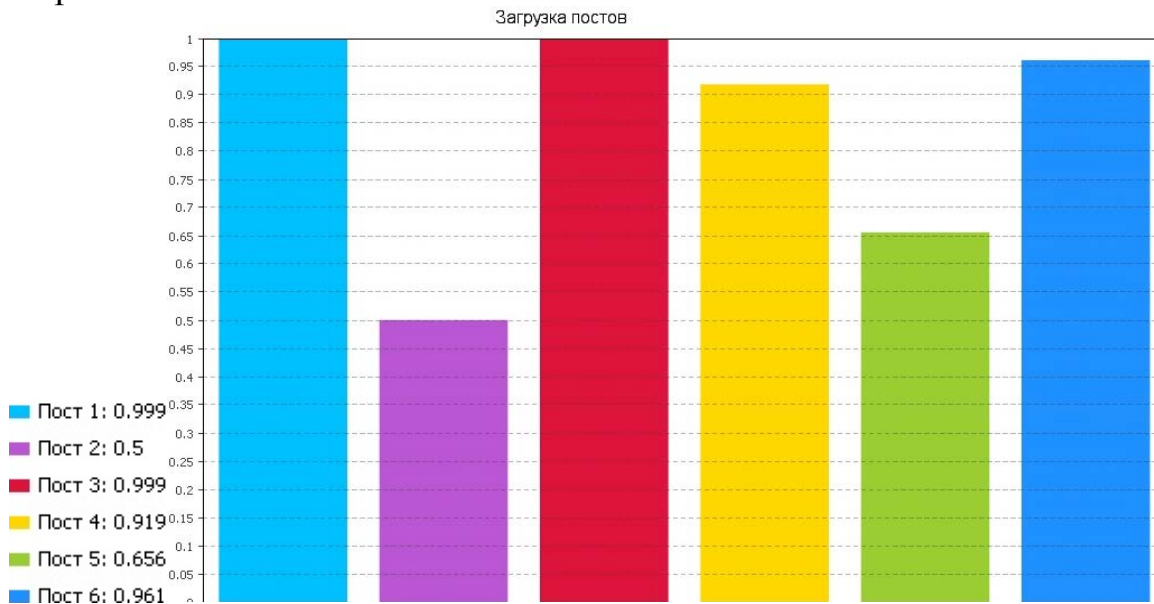


Рис. 77. Гистограмма загруженности постов

По результатам анализа полученных данных можно сделать следующие выводы: посты ремонта электрооборудования, топливной системы, системы охлаждения и кузовного ремонта загружены более чем на 90 %, это может вызывать перегруженность зоны ожидания данных постов. Кроме того, если рабочие на постах 1, 3, 4, 6 не справляются с потоком автомобилей, то требуется увеличить штат исполнителей.

Посты ремонта газораспределительного механизма и ходовой части имеют низкую занятость – 50 и 66 % соответственно.

Проанализировав данные, можно изменить график работы слесарей следующим образом (рис. 78).

Повторять расписание еженедельно

Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Нача...	Конец	Значение
✓	✓	✓	✓	✓	☐	☐	8:00	20:00	<input checked="" type="checkbox"/> да

Рис. 78. График работы слесарей

В данном случае режим работы слесарей изменен на работу по схеме «две смены через два дня». В смену на каждый пост было установлено по два слесаря. Результаты повторного эксперимента работы модели за один год приведены на рис. 79.

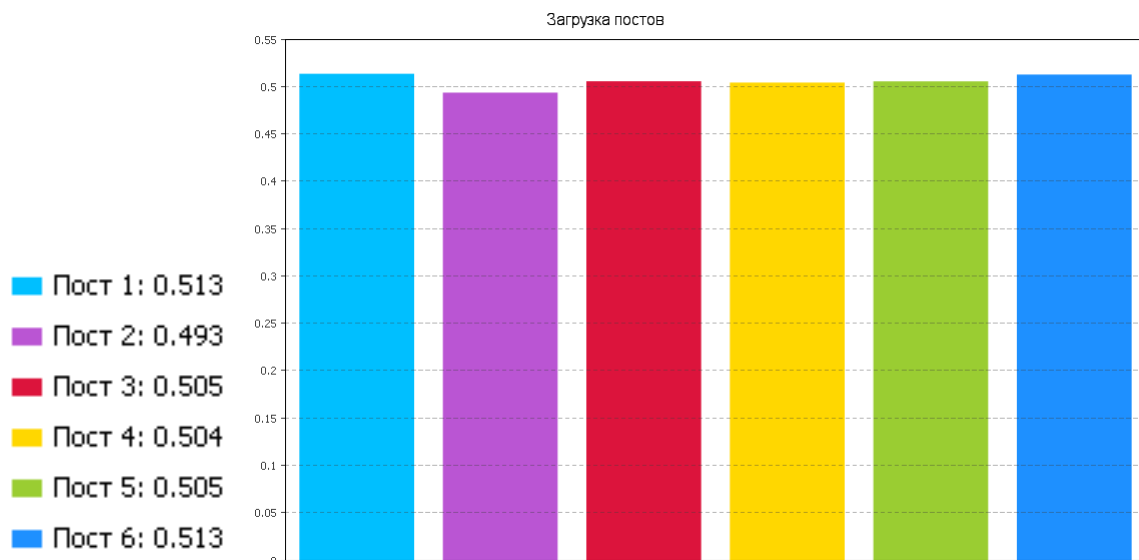


Рис. 79. Гистограмма загруженности постов в авторемонтной мастерской после настройки модели

Из графиков видно, что после изменений исходных данных загрузка постов стала равномерной и с минимальными простоями. Занятость постов ремонта электрооборудования, поста ремонта топливной системы и поста кузовного ремонта увеличилась до 40 %.

6. ВЫПОЛНЕНИЕ ОТЧЕТА О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

В отчете о выполнении практической работы приводятся следующие данные.

1. Исходные данные.
2. Фамилии, номер группы студентов, выполнявших данную работу.
3. Принтскрин построенной модели зоны ремонта.
4. Принтскрин визуализации процессов, выполняемых на постах.
5. Принтскрин визуализации результатов.

Библиографический список

1. The Anylogic Company. URL: <https://www.Anylogic.ru>
2. Киселева М.В. Имитационное моделирование систем в среде Anylogic: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 88 с.