

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный  
университет (СибАДИ)»  
Кафедра «Цифровые технологии»

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД  
Об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)  
«СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ»

по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная» техника»  
научная направленность «Системы автоматизации проектирования»

Аспирант



Афоуф Мотасем

Допустить к защите научного доклада:

И.о. заведующего кафедрой «ЦТ»



к.п.н. С.Ю. Пестова

Научный руководитель



д.т.н., доц. В.А. Мещеряков

Нормоконтроль



А.В. Козлова

Омск 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Актуальность темы исследования .....	3
2. Цель, задачи, объект и предмет исследования .....	3
3. Методология и методы исследования .....	5
3.1. Модель планирования даты ТОиР транспортного средства и генерации заявки.....	6
3.2. Сбор и статистический анализ данных о трудоемкости ТОиР.....	10
3.3. Модель системы массового обслуживания и распределения ресурсов ....	13
4. Результаты исследования имитационной модели, рекомендации и выводы..	16
5. Оценка и апробация результатов работы.....	18

## **1. Актуальность темы исследования**

Эффективность управления автосервисным предприятием может быть повышена за счет создания системы поддержки принятия решений на основе цифрового двойника автосервисного предприятия. Цифровой двойник должен использовать данные о процессах из информационной системы учета, например, «1С:Предприятие 8. Автосервис», а также позволять моделировать различные сценарии использования имеющихся ресурсов. Сложность прогнозирования показателей автосервисного предприятия обусловлена неполнотой информации и случайностью процессов формирования потоков заявок на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) автомобилей.

В работе выдвинута гипотеза, согласно которой можно прогнозировать степень загрузки линий обслуживания и персонала с помощью имитационной модели. Это позволит принимать решения об изменении количества линий обслуживания и планировать расписание работников. При этом необходимо учитывать последовательность и специфику различных видов ТОиР, пробег автомобилей и другие случайные факторы. Поэтому разработка математической модели и системы поддержки принятия решений является актуальной научной задачей.

## **2. Цель, задачи, объект и предмет исследования**

Объект исследования: процессы технического обслуживания и ремонта автомобилей на станции технического обслуживания (СТО) Автоцентра ГАЗ компании «Форвард-Авто», г. Омск (рисунок 1).

Предметом исследования являются зависимости между параметрами процессов ТОиР, планируемым количеством ресурсов и параметрами потока заявок ТОиР.



Рисунок 1 – ТОиР автотранспортных средств марки Газель NEXT, обслуживаемых одновременно на двух линиях (постах)

Цель исследования: разработка имитационной модели основных процессов автосервисного предприятия. Имитационная модель предназначена для принятия решений о планировании и рациональном использовании ресурсов: линий обслуживания и работников.

Задачи исследования:

- обзор и анализ работ по теме исследования, выбор подходов к моделированию процессов и систем;
- анализ объекта исследования, сбор и обработка статистической информации о параметрах процессов технического обслуживания и ремонта;
- разработка математической модели, программная реализация имитационной модели процессов формирования потока заявок на ТОиР, процессов планирования и распределения ресурсов автосервисного предприятия;
- проведение вычислительных экспериментов, уточнение структуры и

параметров модели;

- интерпретация результатов моделирования, разработка практических рекомендаций по принятию решений при составлении расписаний работы сотрудников и линий.

### **3. Методология и методы исследования**

На основании анализа работ по теме исследования выбран подход к имитационному моделированию автосервисного предприятия как системы массового обслуживания. Для разработки модели проанализированы процессы выполнения заявок на ТОиР автомобилей. В качестве инструмента имитационного моделирования выбрана среда AnyLogic.

Тип ТОиР зависит от пробега конкретного автомобиля. От потребности в ТОиР зависит местоположение автомобиля в имитационной модели. Для моделирования состояний и планирования даты ТОиР конкретного автомобиля использован агентный подход.

Формируемый поток заявок на ТОиР поступает в очередь и на линии обслуживания. В системе массового обслуживания для выполнения заявок используются ограниченные ресурсы. В этой части модели применен процессный подход (дискретно-событийное моделирование). Таким образом, имитационная модель в AnyLogic основана на комбинированном подходе.

Интенсивность поступления заявок в систему массового обслуживания является случайной. Время выполнения каждой заявки на ТОиР также является случайным. Поэтому использованы методы статистической обработки собранных экспериментальных данных для вычисления характеристик системы массового обслуживания (СМО).

### 3.1. Модель планирования даты ТОиР транспортного средства и генерации заявки

При исследовании процессов автосервиса необходимо учитывать требования и рекомендации завода-изготовителя. На основе данных о надежности основных элементов в системе автомобиля разработаны нормативы технической эксплуатации по периодичности ТОиР, которые используются для планирования объемов работ, количества ремонтных рабочих и затрат на выполнение этих работ. Применительно к автотранспортному средству Газель NEXT заводом-изготовителем установлена следующая периодичность ТО: 20000 км, 40000 км, 60000 км.

Заводом-изготовителем Газель NEXT разработаны нормы выполнения ТО и текущих ремонтов (ТР), которые частично представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы выполнения ТО и ТР (двигатель УМЗ А-275)

	Операции	Трудоем- кость (н/ч)	ТО 20000	ТО 40000	ТО 60000
1	ТО: Очистить корпус воздушного фильтра и заменить (продуть) фильтрующий элемент	0,2	+	+	+
2	ТО: Замена масла. Заменить масло в двигателе и масляный фильтр	0,3	+	+	+
4	ТО: Заменить свечи зажигания	0,3	+	+	+
5	ТО: Замена. Заменить ремень привода агрегатов и ролик натяжителя	0,3	-	-	+
6	ТР: Контроль и подтяжка креплений. Проверить и подтянуть крепление шланга вакуумной системы к штуцеру воздушного фильтра	0,01	+	+	+
7	ТР: Замена. Заменить ремень привода агрегатов и ролик натяжителя	0,6	-	-	+

Согласно требованиям завода-изготовителя, трудоемкость работ после пробега автотранспортного средства 20000 км должна составлять 2,44 чел.·час, 40000 км – 2,54 чел.·час, 60000 км – 3,64 чел.·час. Производственный потенциал предприятия рассчитывается с учетом усредненных значений среднесуточного пробега: 140 км.

На основании анализа нормативной документации, наблюдений и измерений параметров объекта исследования разработана модель AnyLogic в виде агента нового типа Car со следующими параметрами (рисунок 2):

- `id` – генерируемый уникальный идентификатор ТС (при интеграции с базой данных рекомендуется использовать VIN автомобиля или госномер);
- `contract (boolean)` – наличие долгосрочного договора на ТОиР, позволяющее автомобилю повторно поступать на вход замкнутой СМО;
- `kilometrageTotal` – накапливаемый пробег в километрах;
- `kilometrageDaily` – пробег за сутки, случайно генерируется по событию `newDay`;
- `maint20Required (boolean)` – признак необходимости пройти ТО 20000 (аналогично для ТО 40000 и ТО 60000);
- `repairRequired (boolean)` – признак необходимости пройти ТР вместе с ТО 20000, ТО 40000 или ТО 60000;
- `maint20Passed (boolean)` – признак пройденного ТО 20000 (аналогично для ТО 40000 и ТО 60000);
- `serviceDefer` – дата и время запланированного посещения сервиса;
- `serviceTime` – длительность запланированных ТОиР;
- `serviceComplete (boolean)` – признак завершения ТОиР;
- `serviceDenied (boolean)` – признак отказа от ТОиР из-за слишком долгого ожидания в очереди.

Модельное время измеряется в минутах. Длительность вычислительных экспериментов изменялась от 1 до 3 лет.

При создании нового агента – автомобиля (экземпляра объекта Car) случайным образом генерируется пробег (рисунок 3). Агент находится в состоянии noServiceRequired (эксплуатация, ТОиР не требуются), пока не накопится пробег и не возникнет признак необходимости пройти соответствующее ТО.

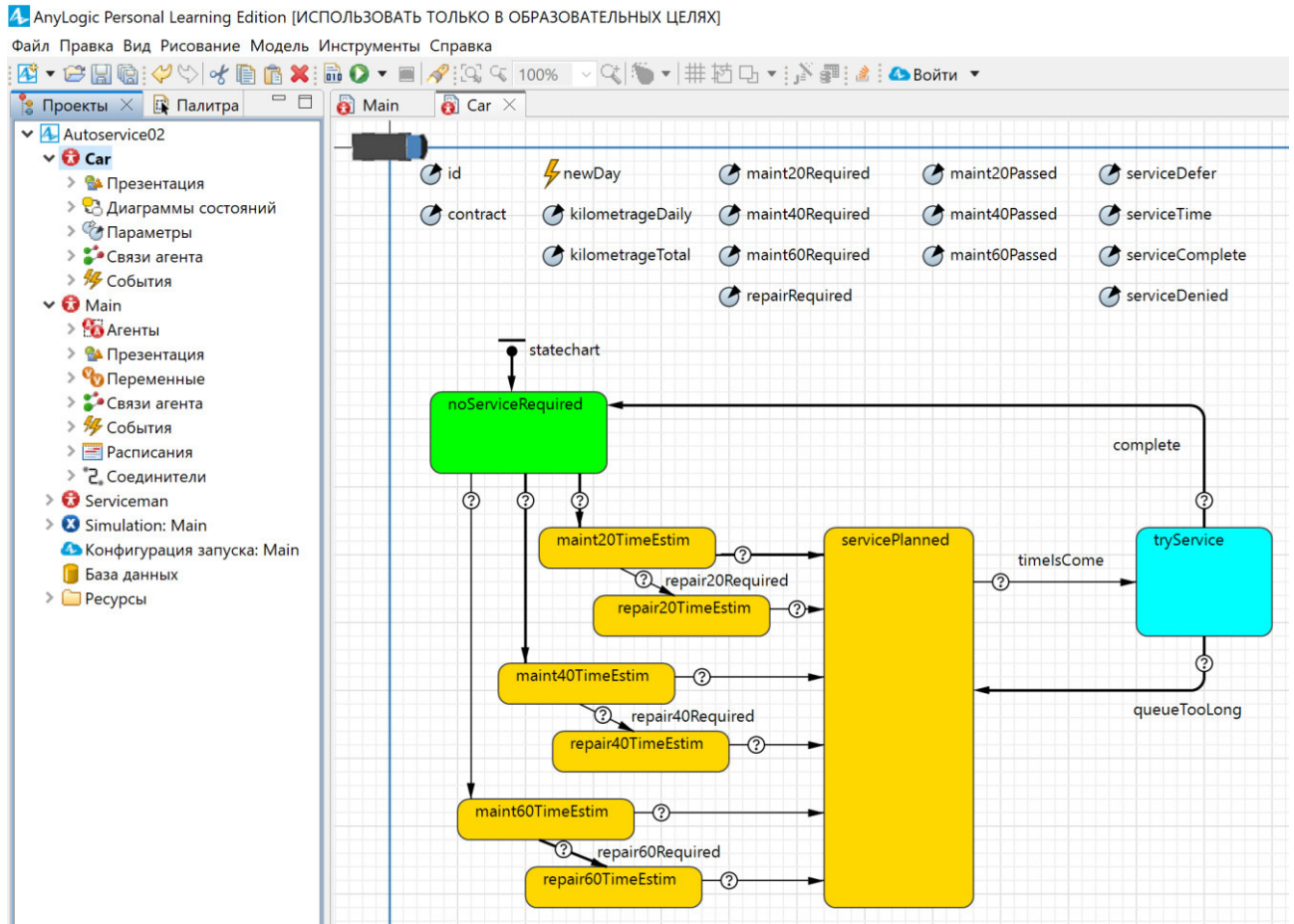


Рисунок 2 – Модель агента – автомобиля (диаграмма состояний AnyLogic)

В состояниях `main20TimeEstim` ... `repair60TimeEstim` генерируются случайные нормально распределенные длительности выполнения ТОиР `serviceTime` соответствующих типов. В состоянии агента `servicePlanned` генерируется время и дата посещения сервиса. Затем при переходе к состоянию `tryService` выполняется действие по формированию новой заявки в СМО (в



агенте верхнего уровня). В случае ее выхода из очереди СМО по таймауту (слишком долгое ожидание обслуживания) дата посещения переносится.

Если заявка принята к обслуживанию, выполняется переход к состоянию noServiceRequired. Таким образом, в зависимости от пробега каждый автомобиль может участвовать в генерации до трех заявок разного типа на ТОиР.

### statechart - Начало диаграммы состояний

Имя:   Отображать имя  Исключить

Видимость:  да

Действие: 

```
kilometrageTotal = triangular(10000, 60000, 20000);
maint20Passed = (kilometrageTotal > 20000) ? true : false;
maint40Passed = (kilometrageTotal > 40000) ? true : false;
maint60Passed = (kilometrageTotal > 60000) ? true : false;
```

### maint20TimeEstim - Состояние

Имя:   Отображать имя  Исключить

Цвет заливки:

Действие при входе: 

```
maint20Required = true;
serviceTime = normal(0.24*60, 2.12*60);
repairRequired = randomTrue(0.3);
```

### timelsCome - Переход

Имя:   Отображать имя  Исключить

Происходит:

Условие:

Действие:

### complete - Переход

Имя:   Отображать имя  Исключить

Происходит:

Условие:

Действие: 

```
if (maint20Required) {maint20Required = false; maint20Passed = t
if (maint40Required) {maint40Required = false; maint40Passed = t
if (maint60Required) {maint60Required = false; maint60Passed = t
repairRequired = false;
serviceDenied = false;
```

### 3.2. Сбор и статистический анализ данных о трудоемкости ТОиР

Для задания параметров имитационной модели необходимы статистические данные о показателях процессов, полученные на основе наблюдений и измерений. Автором выполнены экспериментальные исследования объекта на протяжении года. Начало работы СТО ежедневно в 8.00 ч, окончание – в 20.00 ч. Прибытие автомобилей на ТО планируется в назначенное время, но возможны отклонения от плана.

Установлено, что работа СТО осуществляется с ограничением по времени ожидания прибывающих машин в очереди на обслуживание. Зафиксировано прибытие автотранспортных средств на обслуживание в случайные моменты времени. Натурные наблюдения показали, что автотранспортные средства ожидают в очереди от 1,20 часа до 2,04 часа, а потом уезжают без обслуживания (система массового обслуживания с потерями).

На СТО имеется 6 линий (постов, каналов обслуживания) по выполнению ТОиР. Количество работающих линий автосервисного предприятия может изменяться (ремонт, обслуживание подъемников). Время на обслуживание автотранспортных средств не является постоянной величиной, а изменяется в пределах от 12% до 31% от времени, установленного заводом-изготовителем. В определенные периоды на практике наблюдается простой линий.

Для определения статистических характеристик каналов обслуживания использована среда Google Colaboratory, язык программирования Python, программные пакеты Pandas и SciPy. Исходные данные, полученные экспериментально для шести линий, представлены в таблице 2. Количество наблюдений в выборке 60 для каждой линии достаточно для оценки статистических характеристик.

Таблица 2 – Трудоемкость выполнения ТО 20000 на линиях СТО, чел.·час.

№	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	2,43	2,40	2,53	2,74	2,45	2,77	31	2,40	2,44	2,62	2,67	2,44	2,22
2	2,50	2,48	2,50	2,27	2,70	2,38	32	2,39	2,61	2,41	2,41	2,61	2,23
3	2,37	2,48	2,38	2,56	2,50	2,44	33	2,35	2,51	2,35	2,74	2,60	2,76
4	2,46	2,39	2,32	2,49	2,33	2,40	34	2,47	2,41	2,65	2,40	2,48	2,41
5	2,47	2,75	2,59	2,28	2,61	2,70	35	2,55	2,58	2,47	2,64	2,33	2,28
6	2,42	2,60	2,12	2,22	2,18	2,51	36	2,56	2,49	2,45	2,34	2,19	2,38
7	2,36	2,42	2,35	2,48	2,11	2,37	37	2,64	2,56	2,18	2,45	2,30	2,37
8	2,39	2,16	2,32	2,92	2,88	2,10	38	2,46	2,59	2,64	2,52	2,96	2,36
9	2,46	2,52	2,30	2,44	2,59	2,34	39	2,38	2,60	2,29	2,40	2,44	2,44
10	2,54	2,45	2,65	2,63	2,90	2,77	40	2,47	2,37	2,81	2,57	2,69	2,67
11	2,51	2,63	2,56	2,69	2,76	2,39	41	2,54	2,26	2,40	2,58	2,60	2,19
12	2,49	2,51	2,46	2,65	2,76	2,65	42	2,51	2,31	2,21	2,57	2,10	2,11
13	2,45	2,48	2,56	2,68	2,42	2,58	43	2,49	2,67	2,25	2,42	2,74	2,53
14	2,42	2,55	2,44	2,50	2,71	2,09	44	2,41	2,39	2,57	2,54	2,76	2,40
15	2,40	2,80	2,50	2,74	2,40	1,91	45	2,60	2,40	2,38	2,71	2,36	2,54
16	2,44	2,15	2,26	2,35	2,64	2,54	46	2,52	2,36	2,40	2,49	2,53	1,89
17	2,73	2,22	2,61	2,61	2,39	2,28	47	2,60	2,53	2,51	2,45	2,57	2,59
18	2,57	2,15	2,40	2,46	2,43	2,61	48	2,49	2,17	2,46	2,46	2,23	2,52
19	2,54	2,43	2,56	2,67	2,74	2,57	49	2,63	2,40	2,12	2,59	2,34	2,83
20	2,41	2,65	2,51	2,54	2,72	2,32	50	2,33	2,58	2,37	2,44	2,65	2,21
21	2,50	2,71	2,18	2,37	2,53	2,19	51	2,44	2,61	2,58	2,49	2,37	2,65
22	2,71	2,73	2,57	2,84	2,67	2,12	52	2,37	2,53	2,24	2,36	2,83	2,65
23	2,55	2,58	2,74	2,52	2,37	2,66	53	2,60	2,72	2,51	2,69	2,48	2,25
24	2,52	2,61	2,31	2,24	2,92	2,46	54	2,39	2,46	2,36	2,75	2,32	2,60
25	2,28	2,44	2,38	2,55	2,72	2,56	55	2,52	2,48	2,53	2,58	2,89	2,52
26	2,43	2,52	2,58	2,45	2,47	2,77	56	2,42	2,30	2,08	2,40	2,39	2,82
27	2,54	2,72	2,24	2,77	2,47	2,63	57	2,55	2,55	2,29	2,65	2,16	2,28
28	2,65	2,50	2,46	2,56	2,33	2,07	58	2,47	2,36	2,34	2,54	2,75	2,51
29	2,55	2,36	2,40	2,35	2,44	2,39	59	2,38	2,56	2,38	2,54	2,45	1,97
30	2,49	2,58	2,35	2,70	2,42	2,71	60	2,48	2,70	2,32	2,64	2,21	2,60

Проверка гипотезы о нормальности распределения трудоемкости ТО, выполненная при помощи гистограмм и графиков Q-Q (квантиль-квантиль), показана на рисунке 4. Математические ожидания и среднеквадратические отклонения трудоемкости ТО 20000, ТО 40000, ТО 60000 приведены в таблице 3.

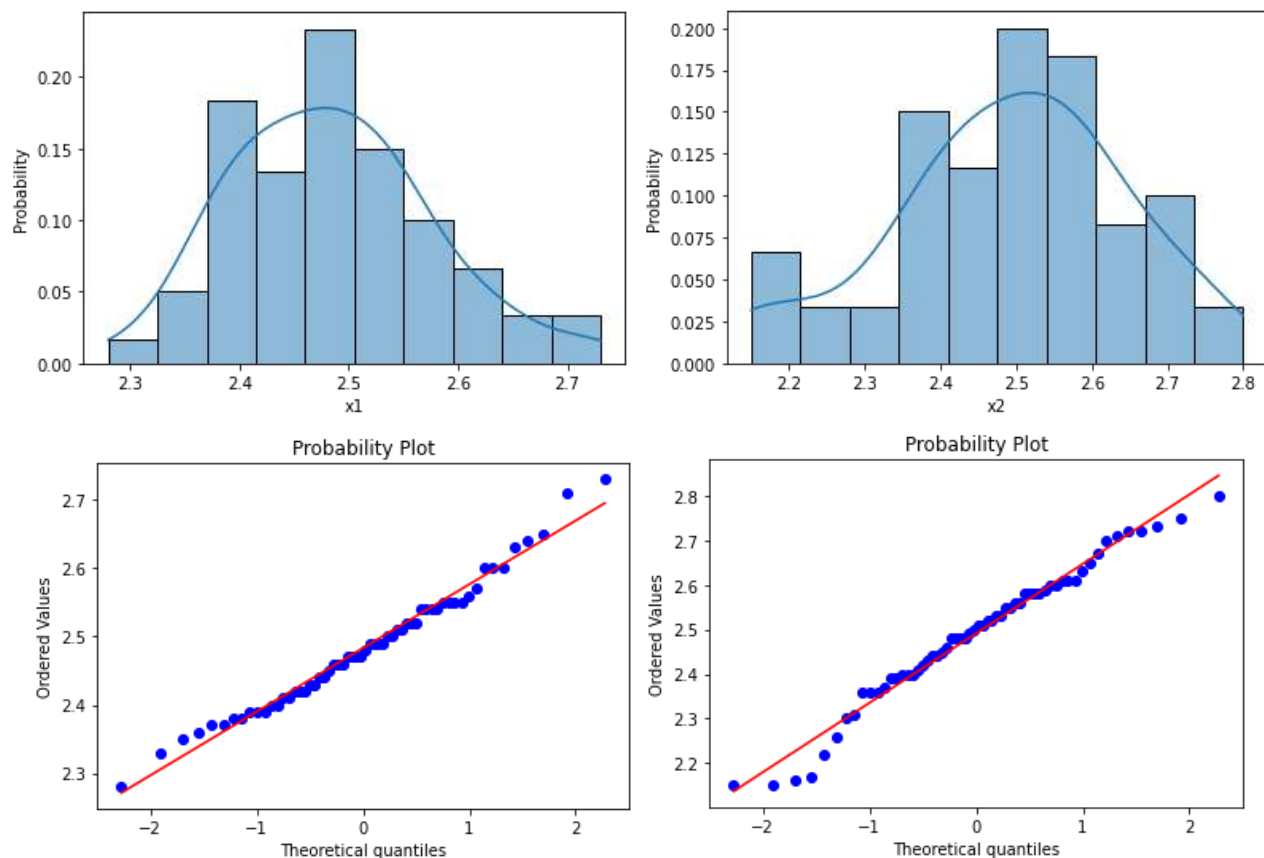


Рисунок 4 – Гистограммы и соответствие нормальному закону распределения трудоемкости ТО 20000 для линий 1 и 2

Таблица 3 – Характеристики трудоемкости ТО, чел.·час.

№ линии	Математическое ожидание			Стандартное отклонение		
	20000 км	40000 км	60000 км	20000 км	40000 км	60000 км
№1	2,48	2,72	3,85	0,09	0,20	0,10
№2	2,49	2,68	3,82	0,15	0,11	0,12
№3	2,42	2,56	3,65	0,16	0,10	0,15
№4	2,54	2,60	3,75	0,15	0,11	0,18
№5	2,52	2,61	3,72	0,22	0,12	0,21
№6	2,43	2,57	3,70	0,23	0,13	0,22

Полученные в настоящих исследованиях статистические характеристики трудоемкости технологического процесса на линиях СТО использованы при генерации значений параметров имитационной модели.

### 3.3. Модель системы массового обслуживания и распределения ресурсов

В главном агенте имитационной модели Main разработана процессная часть модели СМО (рисунок 5).

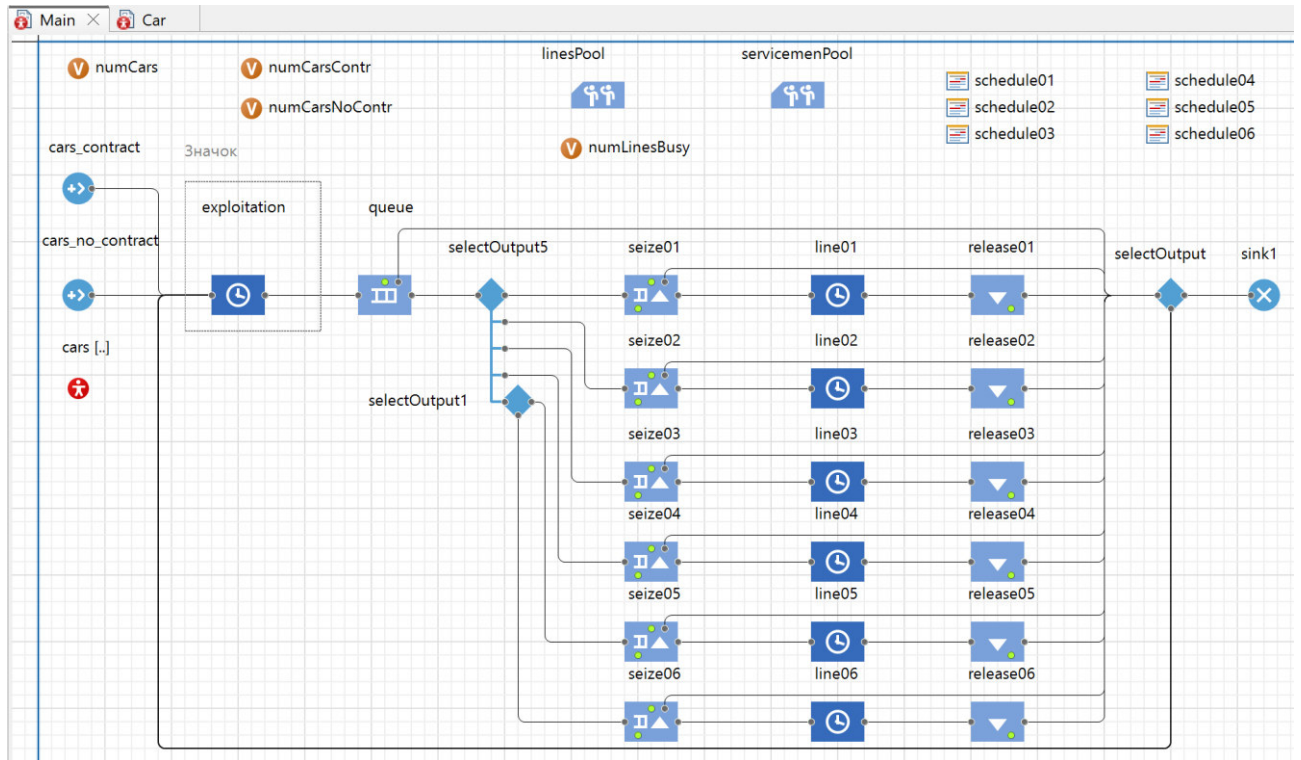


Рисунок 5 – Гистограммы и соответствие нормальному закону распределения трудоемкости ТО 20000 для линий 1 и 2

Источниками заявок на ТОиР могут служить два типа транспортных средств: клиенты по долгосрочному договору и клиенты, однократно появляющиеся на СТО. Их количество ограничено значениями переменных numCarsContr и numCarsNoContr. Соответствующие источники cars\_contract и cars\_no\_contract генерируют экземпляры объектов типа Car и помещают этих агентов в популяцию cars. В СМО эти агенты изначально попадают в блок задержки агентов exploitation, где находятся до возникновения необходимости обратиться в сервис. Блок selectOutput оставляет в СМО клиентов с договором и выводит из СМО клиентов без договора.

Интенсивность входного потока заявок промоделирована на основе результатов наблюдений за реальным СТО (таблица 4). Используются также данные по дням для наиболее загруженного месяца (сентябрь 2023).

Таблица 4 – Количество ТО за 2023 год

Месяц	Количество ТО
Январь	61
Февраль	49
Март	71
Апрель	91
Май	65
Июнь	81
Июль	91
Август	86
Сентябрь	105
Октябрь	94
Ноябрь	92
Декабрь	71

При выходе из блока exploitation (в результате перехода timeIsCome на рисунке 2) заявка на обслуживание становится в очередь queue, общую для 6 линий.

Каналы обслуживания представляют собой блоки задержки заявок line01 ... line06 на время agent.serviceTime (для каждой заявки – свое время). Каналы обслуживания используют 2 вида ресурсов, объединенных в пулы: линии (linesPool) и работников (servicemenPool). Для захвата и освобождения ресурсов в соответствующем канале использованы блоки seize и release. Каждый блок seize захватывает одну свободную линию и свободного работника.

При планировании ресурсов изменять расписание работников проще и дешевле, чем изменять количество линий. Поэтому основное назначение имитационной модели и системы поддержки принятия решений – оценка характеристик СМО при вариациях расписаний доступности работников.

Пример количества отработанных часов на реальном объекте исследования приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Время работы работника на посту, ч

Дата	Номер работника					
	1	2	3	4	5	6
1.09.2023	10	9	9	11	10	10
2.09.2023	11	10	9	9	8	0
3.09.2023	11	10	11	10	9	0
4.09.2023	10	9	11	11	10	0
5.09.2023	11	11	9	10	11	0

Доступность каждого отдельного работника задана расписаниями schedule01 ... schedule06 (рисунок 6).

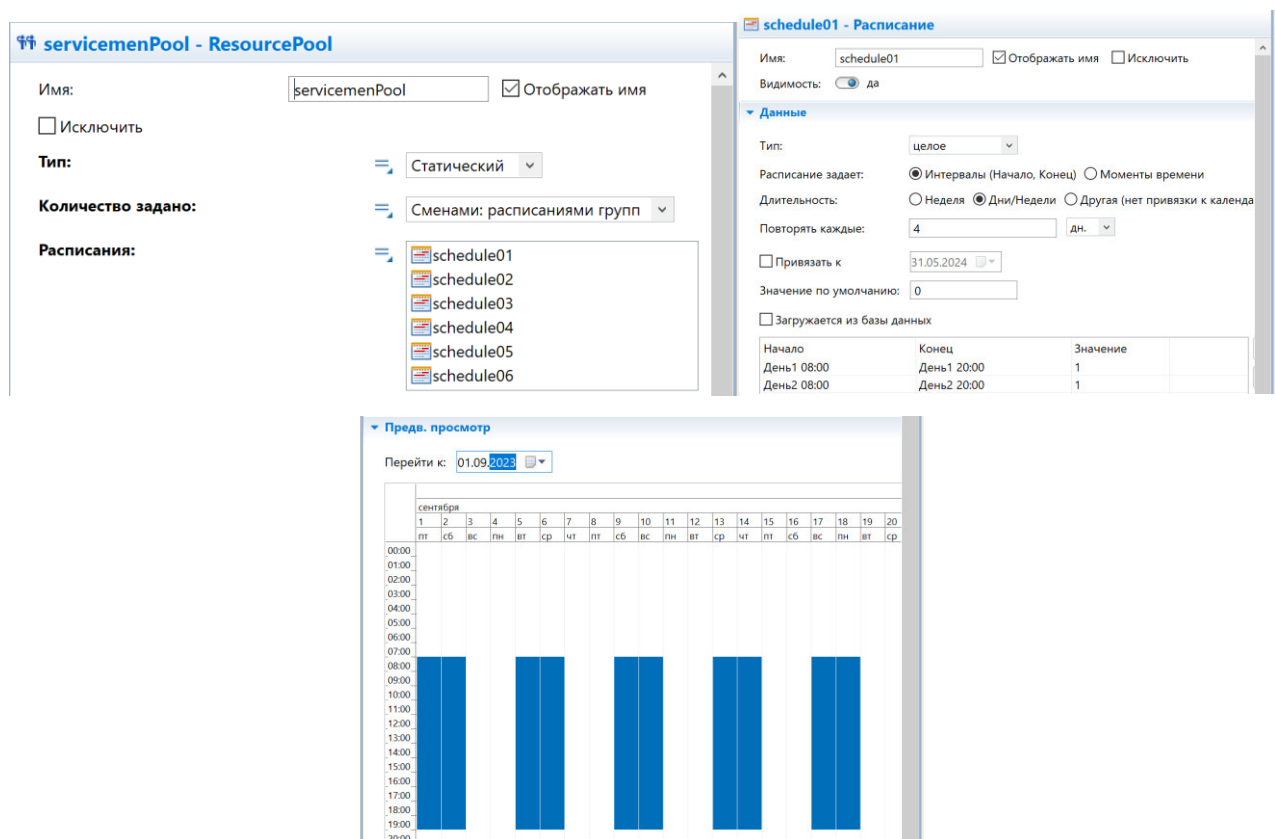


Рисунок 6 – Пул ресурсов-работников и пример расписания 1 работника

#### 4. Результаты исследования имитационной модели, рекомендации и выводы

На имитационной модели проведены вычислительные эксперименты для различных вариантов расписаний работников. Окно эксперимента показано на рисунках 7, 8.

В процессе моделирования выполнен сбор статистики: количество автомобилей, прошедших различные виды ТОиР, текущая и средняя длина очереди, количество занятых линий коэффициент загрузки линий, количество занятых и свободных работников с учетом выходных дней и нерабочего времени.

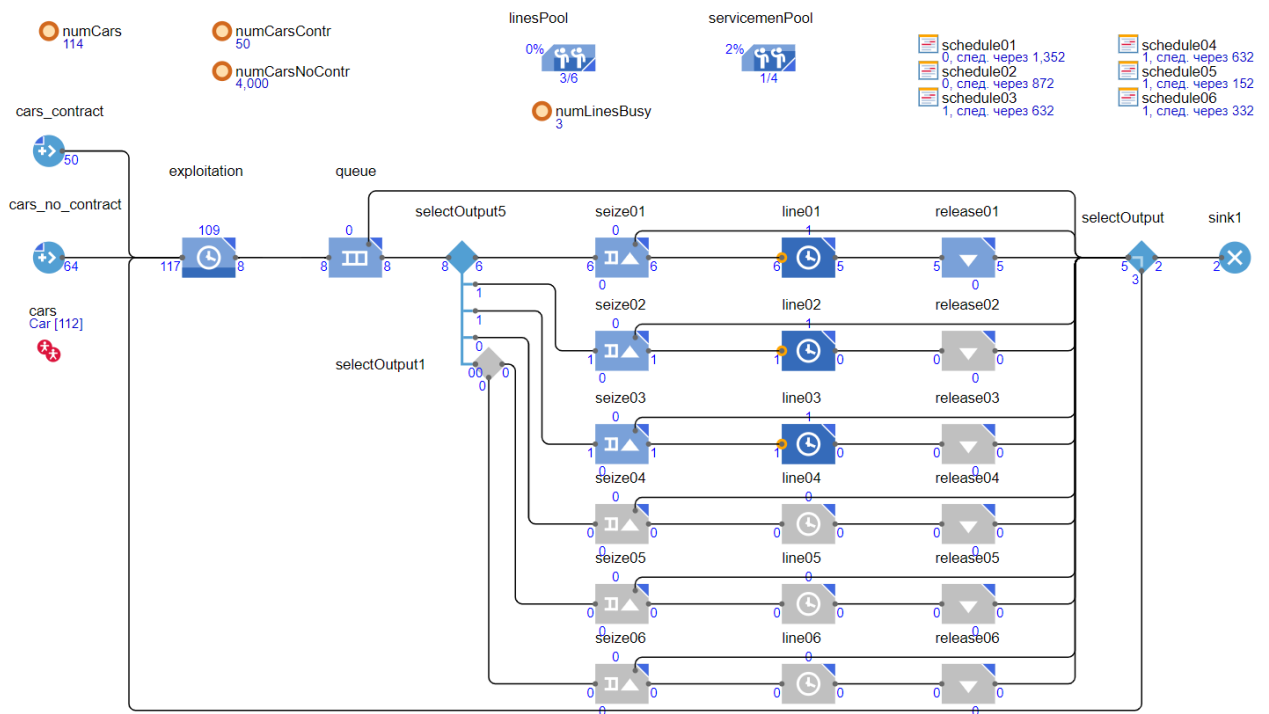


Рисунок 7 – Прохождение заявок через СМО и использование ресурсов



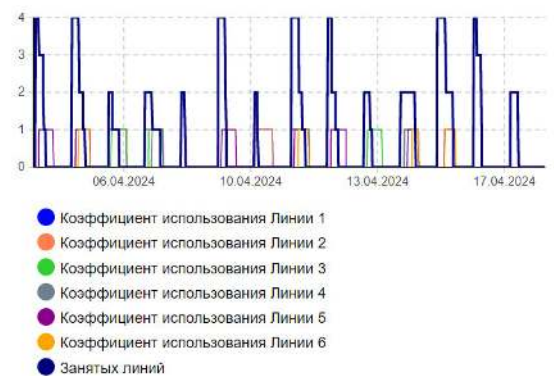
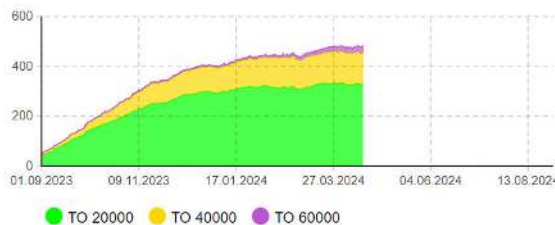
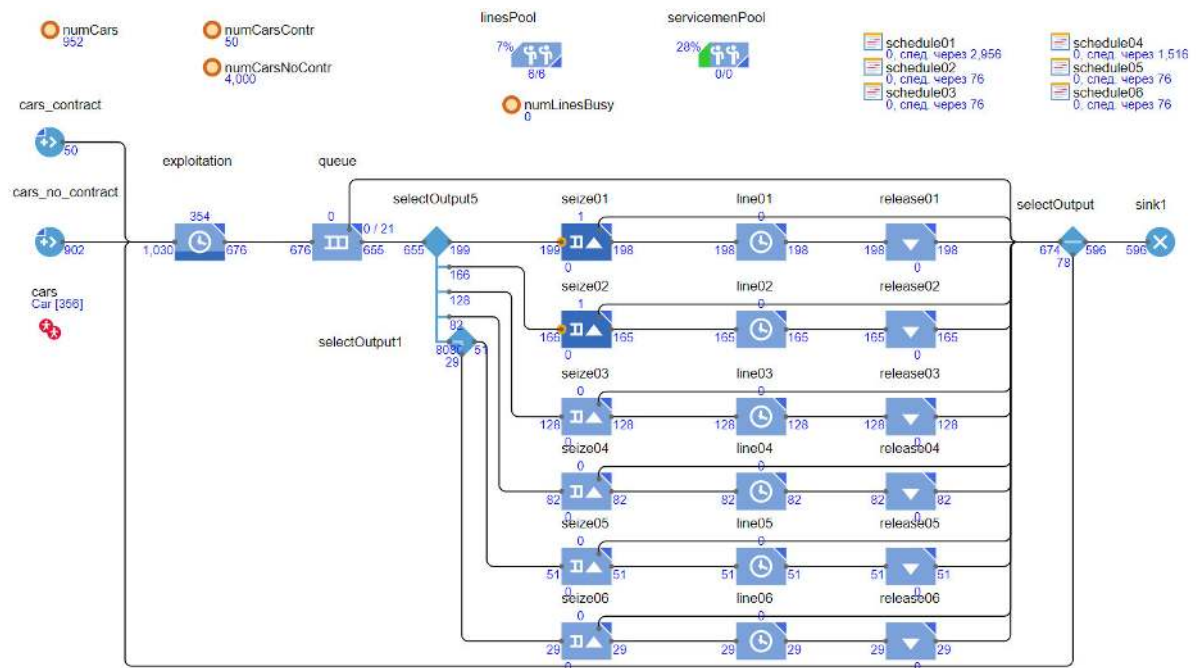


Рисунок 8 – Визуализация и анализ статистических характеристик СМО

Сделан вывод о необходимости планирования расписания работников с учетом их наибольшей загрузки в утренние часы с 8 до 12. Рекомендуется также увеличить количество работников до 3 в первой половине субботы и воскресенья. Эти выводы и рекомендации должны лежать в основе поддержки организационных решений на предприятии.

Выводы по работе соответствуют задачам исследований:

- выполнен обзор и анализ работ по теме исследования, выбран комбинированный подход к моделированию на основе агентного и дискретно-событийного (процессного) подходов в AnyLogic;
- выполнены наблюдения и измерения на объекте исследования, сбор и обработка статистической информации о трудозатратах на ТОиР, об интенсивности потока заявок, расписаниях работников;
- выполнена программная реализация имитационной модели процессов формирования потока заявок на ТОиР, процессов планирования расписаний и распределения по заявкам линий и работников автосервисного предприятия;
- проведены вычислительные эксперименты, уточнены структура и параметры модели с учетом данных реального объекта;
- модель представляет собой основу системы поддержки принятия решений по планированию ресурсов автотранспортного предприятия;
- на основе результатов моделирования разработаны практические рекомендации по принятию решений при планировании расписаний работы сотрудников.

## **5. Оценка и апробация результатов работы**

Степень достоверности и обоснованности выводов и рекомендаций обеспечена корректностью допущений, применением широко используемых методов и средств моделирования, использованием результатов наблюдений и измерений на реальном объекте исследований.

Научная новизна заключается:

- в структуре комбинированной имитационной модели состояния транспортного средства и процессов автосервисного предприятия;
- в результатах наблюдений и измерений показателей автосервисного предприятия, а также результатах их статистической обработки.

Практическая значимость исследования и реализация результатов заключается в разработке рекомендаций по планированию расписания работников автосервисного предприятия.

Апробация результатов работы: результаты исследований докладывались и обсуждались на VII Международной научно-практической конференции, приуроченной к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий, Омск, СибАДИ, 2022.

Информация о публикациях по теме исследования:

1. Афоуф, М. Оценка статистических характеристик показателей автосервисного предприятия для системы поддержки принятия решений / М. Афоуф, Л.С. Трофимова, В.А. Мещеряков // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, приуроченной к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий, Омск, 24–25 ноября 2022 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2022. – С. 250-253.