

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Отделение информационных технологий  
Направление подготовки 09.04.04 Программная инженерия

**Отчёт по лабораторной работе №2**

**Исследование на имитационной модели процесса изменения  
дисциплины обслуживания в системе с одним прибором и очередью.  
Моделирование систем обслуживания с прибором, очередью и обратной  
связью**

по дисциплине Анализ, моделирование и оптимизация систем

Вариант 14

Выполнил студент гр. 8ПМ4Л

\_\_\_\_\_  
Подпись

\_\_\_\_\_  
Дата

Сокуров Р.Е.  
Фамилия И.О.

Проверил к.т.н, доцент ОИТ

\_\_\_\_\_  
Подпись

\_\_\_\_\_  
Дата

Марухина О.В.  
Фамилия И.О.

Томск 2024 г.

## Цель

Цель работы – освоение принципов приоритетного моделирования процессов функционирования систем, получение и закрепление навыков построения имитационных моделей. Моделирование процессов функционирования системы, оценка производительности системы, нахождение параметров для оптимального варианта работы системы.

## Методические рекомендации к лабораторной работе

1. Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование одноканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной СМО.

2. **Задача 1.** Изучите дисциплины постановки в очередь и выбора из неё. Ознакомьтесь с правилами обслуживания и дисциплинами обслуживания. Осуществите сбор статистики при ожидании. Определите приоритет. Ознакомьтесь со стандартной статистикой по очередям и приборам. Сделайте выводы, определите наилучший вариант работы системы.

3. **Задача 2.** Определите критерии эффективности (производительности) работы системы. Рассчитайте экономические выгоды и потери при разных параметрах. Какая стандартная статистическая информация для этого необходима? Решение оформите в виде:

Таблица 1 – Оформление решения

№ эксперимента	Параметр 1	Параметр 2	...	Параметр N	Значение критерия производительности

Постройте **график**, отражающие динамику значения критерия производительности от выбранных параметров. Найдите оптимальное значение параметра.

4. Необходимо подготовить отчет, загрузить на проверку преподавателю.

5. Загрузить все исходники (все файлы \*.doe).

### Вариант заданий, 1 часть

На вокзале имеется одна касса по продаже билетов. Пассажиры делятся на два типа: 1) приобретающие билеты на отходящий транспорт, интервал времени их прихода  $a$  минут, время обслуживания  $b$  минут; 2) приобретающие билеты заблаговременно, интервал времени их прихода  $c$  минут, время обслуживания  $d$  минут.

Билеты продаются независимо от типа пассажиров. Задержка в обслуживании пассажиров, стоящих в очереди, приводит к экономическим потерям со стороны кассира, которые в расчете на одного необслуженного пассажира составляют  $e$  центов. Стоимостные потери могут быть сокращены за счет введения приоритетности обслуживания пассажиров: продажа билетов осуществляется в первую очередь пассажирам, покупающим билеты на отходящий транспорт по принципу «первым пришел – первым обслужен» внутри приоритетного типа.

Необходимо создать модель работы билетной кассы для обеих дисциплин обслуживания очереди и выполнить моделирование для каждой из них в течение  $f$  часов. Уменьшится ли среднее число ожидающих пассажиров? Обосновано ли с экономической точки зрения введение приоритетного обслуживания пассажиров?

Вариант задания представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Вариант задания для части 1

№ Варианта	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$
14	$5 \pm 4$	$4 \pm 2$	$11 \pm 1$	$7 \pm 2$	0.29	8

### Вариант заданий, 2 часть

В целях экономии денежных средств несколько строительных бригад хотели бы использовать одну бетономешалку, емкость которой рассчитана на производство раствора, необходимого для нормальной работы только одной бригады.

При соглашении порционный разлив бетона бригадами не предусмотрен. Таким образом, каждая бригада имеет следующие возможности: работать с имеющимся бетоном; ожидать новой партии бетона (возможность использования бетономешалки); непосредственно пользоваться бетономешалкой для производства раствора.

Время расхода бригадами очередной партии бетона находится в пределах  $a$  минут. Изготовление раствора занимает  $b$  минут. Стоимость работы бетономешалки составляет  $c\$$  за  $d$  часов, а цена материала одного замеса –  $e\$$ . Общий заработок бригады в час равен  $f\$$ .

Необходимо построить модель описанного процесса и на ее основе определить оптимальное число участвующих в соглашении бригад из расчета общей прибыльности данного мероприятия.

Вариант задания представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Вариант задания для части 3

<i>№ Варианта</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
14	$28 \pm 3$	$12 \pm 3$	15000\$	50	320\$	70\$

## Ход работы

### Часть 1

В начале работы было выполнено моделирование вокзала с пассажирами двух типов без введения приоритетов.

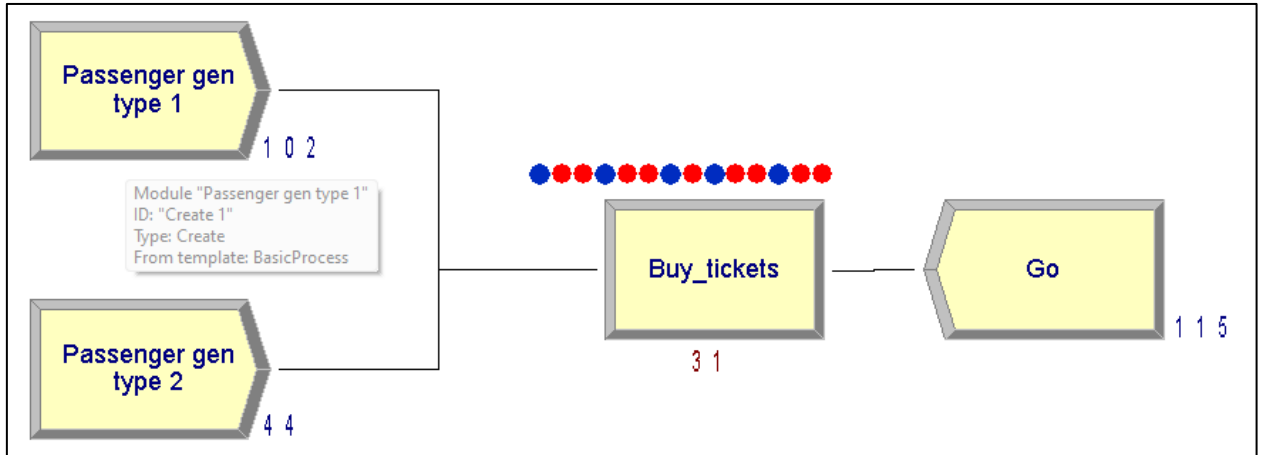


Рисунок 1 – Базовая модель (красные круги – клиенты первого типа, синие – второго)

По итогам моделирования получили следующие основные характеристики:

Время симуляции: 8 часов.

Общее количество обслуженных клиентов: 115.

Общее количество клиентов, поступивших в систему: 146. Из них клиентов первого типа – 102, второго – 44.

Общее количество клиентов, оставшихся в очереди: 31 (21%).

Среднее время ожидания в очереди для клиентов первого типа – 0,961 часа, второго – 0,956 часа.

Общие стоимостные потери из-за клиентов, оставшихся в очереди:  $31 \cdot 0.29 = 8.99\$$ .

Можно сделать вывод о том, что вокзал недополучает около 20% прибыли (поскольку остаётся в очереди ~20% всех клиентов). Время ожидания для клиентов первого и второго типа приблизительно равны друг другу и равны 1 часу. Очевидно, что клиенты, которые приобретают билеты на отходящий транспорт, в большинстве случаев не могут позволить себе

проводить на вокзале один час в очереди, ведь транспорт уедет без них. Для решения данной проблемы была введена система приоритетов: так, клиенты, чей транспорт отходит, будут обслуживаться в приоритетном порядке.

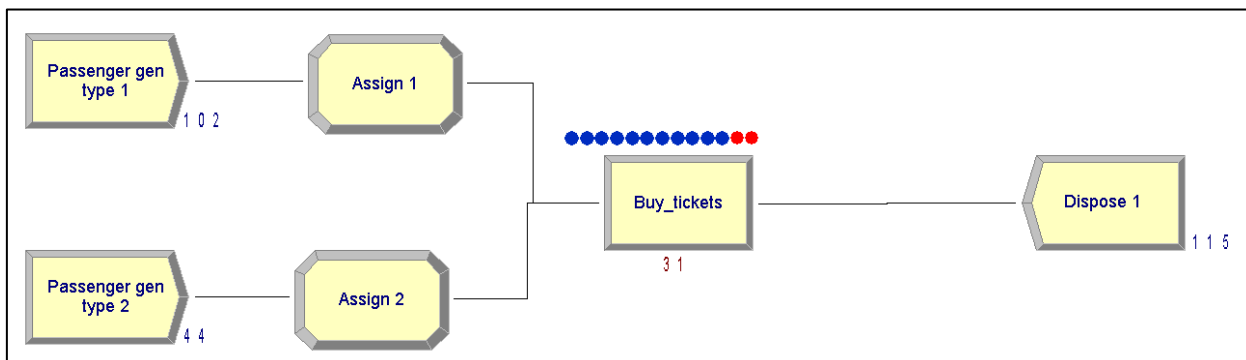


Рисунок 2 – Модель вокзала с приоритетами (красные круги – клиенты первого типа, синие – второго)

По итогам моделирования видно, что количественных изменений не произошло:

Общее количество обслуженных клиентов: 115.

Общее количество клиентов, поступивших в систему: 146. Из них клиентов первого типа – 102, второго – 44.

Это значит, что общие стоимостные потери остались прежними. Однако, произошло качественное изменение: теперь большинство людей в очереди – это клиенты второго типа.

Среднее время ожидание в очереди для клиентов первого типа – 0,09 часа, второго – 3,48 часа.

По результатам введения приоритетов удалось сократить время ожидания в очереди для клиентов первого типа в 10 раз (с 0,961 часа до 0,09), но за это «заплатили» клиенты второго типа, ведь для них время ожидания увеличилось в 3,6 раза. Тем не менее, среднее число ожидающих пассажиров осталось прежним. Теперь система работает более логично, отдавая приоритет спешащим людям, но заставляя других ждать 3,5 часа в очереди.

Если предположить, что клиент, простоявший в очереди на отходящий транспорт более 30 минут, будет уходить так и не купив билет (поскольку его

транспорт уехал), то приоритетная система действительно обоснована с экономической точки зрения.

Отчёт, сформированный ПП Arena для данной модели представлен в приложении Б.

## Часть 2

Для проведения исследований была составлена модель использования бетономешалки и бетона:

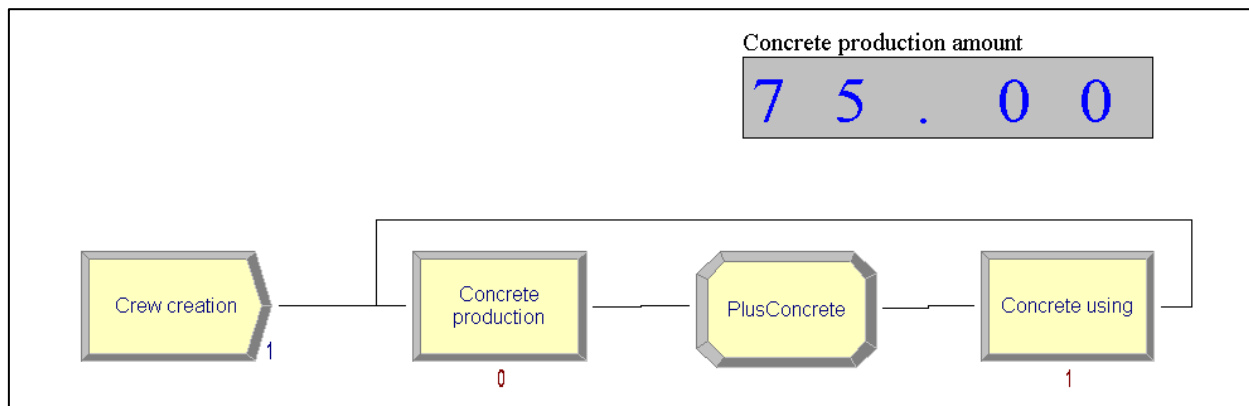


Рисунок 3 – Модель производства и использования бетона

По результатам моделирования были получены следующие показатели:

Таблица 2 – Показатели бригад

Кол-во бригад	Кол-во часов	Зарплата 1 бригады	Общий заработок	Количество замесов бетона	Стоимость одного замеса	Стоимость всех замесов	Стоимость бетономешалки за всё время	Расход	Доход - Расход
1	50	70	3500	75	320	24000	15000	39000	-35500
2	50	70	7000	108	320	34560	15000	49560	-42560
10	50	70	35000	116	320	37120	15000	52120	-17120
20	50	70	70000	126	320	40320	15000	55320	14680
30	50	70	105000	136	320	43520	15000	58520	46480

Исходя из этой таблицы можно сделать вывод, что чем больше количество бригад, тем лучше. Но на самом деле эффективность данного решения зависит от того, насколько активно используется бетономешалка. Так, если в системе присутствует одна бригада, то использование бетономешалки составляет 30%, а если бригад 30, то использование – 54,5%.

Для того, чтобы использовать бетономешалку на 100 процентов, требуется 140 бригад. Тогда, их прибыль:

Таблица 3 – Лучшее решение

Кол-во бригад	Кол-во часов	Заработок 1 бригады	Общий заработок	Количество замесов бетона	Стоимость одного замеса	Стоимость всех замесов	Стоимость бетономешалки за всё время	Расход	Доход - Расход
140	50	70	490000	245	320	78400	15000	93400	396600

Поскольку за бетономешалку платится фиксированная стоимость за проект, то есть смысл заставить работать её безостановочно, что и удалось достигнуть при использовании 140 бригад. Дальнейшее повышение количества бригад приведёт к их простоям, т.е. неэффективному использованию рабочего персонала. В рамках данной системы это приведёт к худшему балансу между работой (использованием бетона) и производством бетона. При значении в 140 бригад и там и там имеется 99% использование ресурса.

Для построения графика была выбрана сторона заказчика и критерий производительности  $k = \frac{\text{количество замесов}}{\text{количество бригад}}$ . Идея в том, чтобы максимизировать количество замесов бетона (т.е. готовое количество бетона) за минимальное количество людей, чтобы избежать лишних зарплатных отчислений. Тогда график выглядит следующим образом:

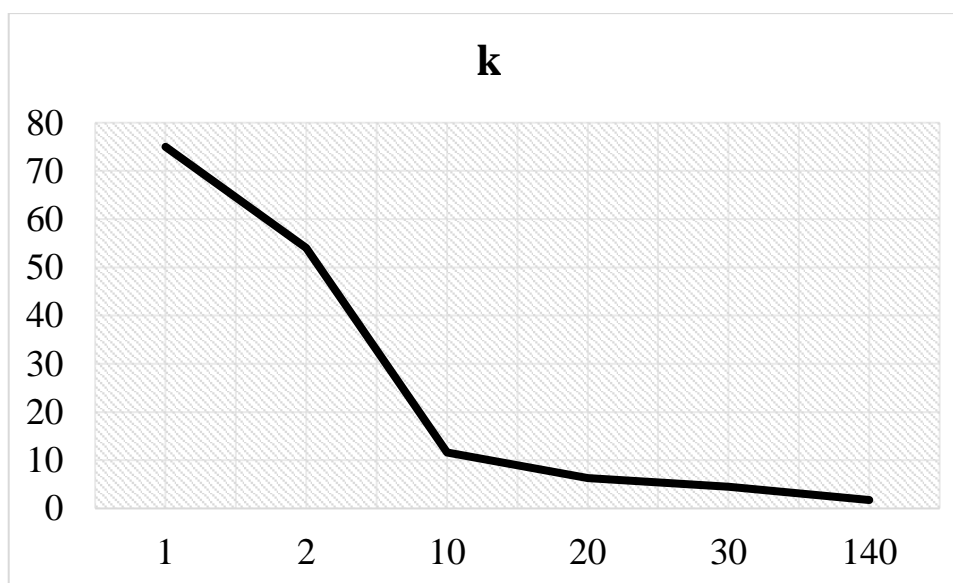




Рисунок 4 – График критерия производительности: по вертикальной оси значение критерия, по горизонтальной – количество бригад

Очевидно, что для заказчика самым выгодным решением будет найм одной бригады, которая производит 75 замесов. Однако, учитывая, что такая бригада уходит в минус (значение доход-расход меньше нуля, см. таблицу 2), на такой заказ вряд ли найдутся работники. Поэтому оптимальным решением для заказчика является найм 20 бригад. Так и рабочие смогут заработать, и заказчик имеет лучший из доступных показателей производительности. Стоит отметить, что это актуально для случая, если есть время до сдачи проекта. Если такого времени нет, то лучше переплатить и нанять 140 рабочих – так получится максимальное количество замесов бетона из возможных. Больше нанимать смысла нет, поскольку они просто будут ждать освобождения бетономешалки.

Отчёт из ПП Arena с наилучшим решением (140 бригад) представлен в приложении В.

**Приложение А**  
Базовая модель части 1

Replications: 1      Time Units: Hours

Key Performance Indicators

System

Average

Number Out

115

Unnamed Project

Replications: 1      Time Units: Hours

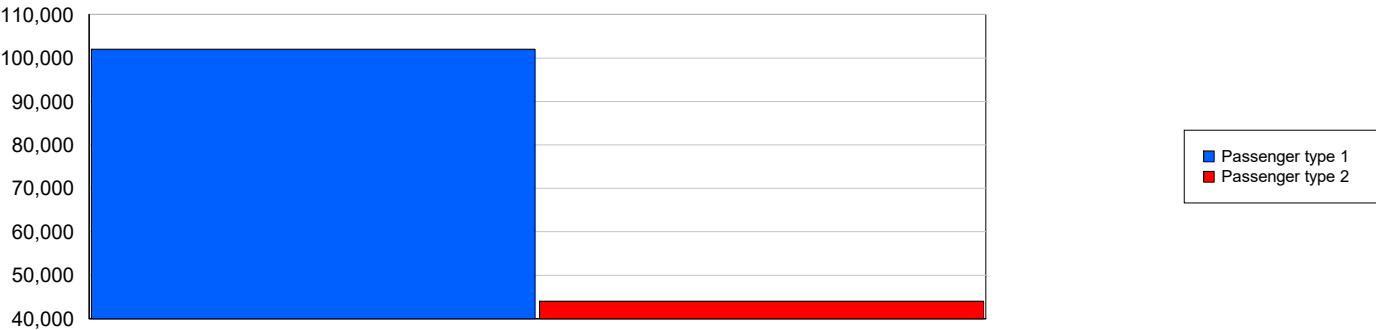
Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.06826507	(Insufficient)	0.03391692	0.0998
Passenger type 2	0.07234111	(Insufficient)	0.03686566	0.0969
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Passenger type 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.9605	(Insufficient)	0.00	1.7045
Passenger type 2	0.9559	(Insufficient)	0.05728783	1.6463
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Passenger type 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Passenger type 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	1.0287	(Insufficient)	0.05728783	1.7489
Passenger type 2	1.0282	(Insufficient)	0.0994	1.7135

Other

Number In	Value
Passenger type 1	102.00
Passenger type 2	44.0000



Unnamed Project

Replications: 1      Time Units: Hours

Entity

Other

Number Out	Value			
Passenger type 1	81.0000			
Passenger type 2	34.0000			
WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	12.5018	(Insufficient)	0.00	22.0000
Passenger type 2	5.5607	(Insufficient)	0.00	10.0000

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Buy_tickets.Queue	0.9659	(Insufficient)	0.00	1.7453

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Buy_tickets.Queue	17.0625	(Insufficient)	0.00	30.0000
Buy_tickets2.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

Unnamed Project

Replications: 1      Time Units: Hours

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Cashier	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Cashier	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Cashier	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization	Value			
Cashier	1.0000			
Total Number Seized	Value			
Cashier	116.00			

## **Приложение Б**

Модель с приоритетами части 1

Unnamed Project

Replications:1Time Units:Hours

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	115



Unnamed Project

Replications: 1      Time Units: Hours

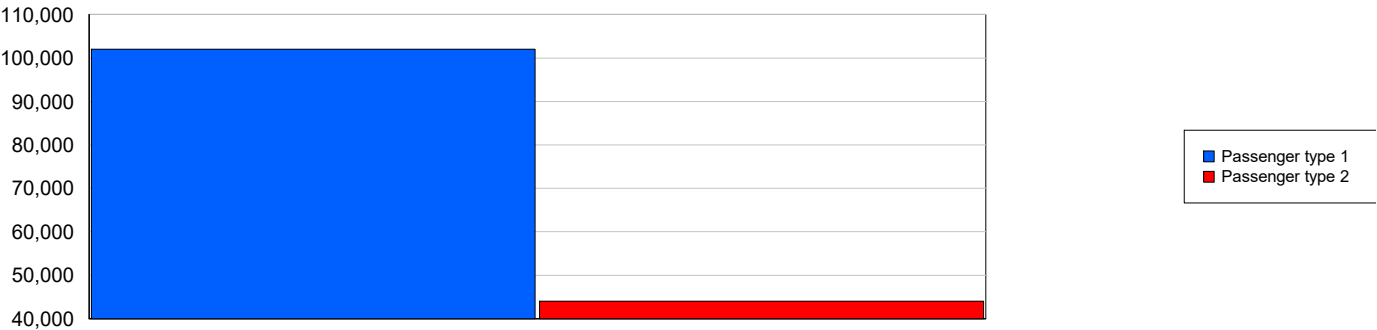
Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.06876541	(Insufficient)	0.03391692	0.0998
Passenger type 2	0.07383082	(Insufficient)	0.04071160	0.0972
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Passenger type 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.08638515	(Insufficient)	0.00	0.2253
Passenger type 2	3.4787	(Insufficient)	1.1532	5.1162
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Passenger type 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Passenger type 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	0.1552	(Insufficient)	0.03997016	0.3089
Passenger type 2	3.5525	(Insufficient)	1.2501	5.1835

Other

Number In	Value
Passenger type 1	102.00
Passenger type 2	44.0000



Unnamed Project

Replications: 1

Time Units: Hours

Entity

Other

Number Out	Value			
Passenger type 1	99.00			
Passenger type 2	16.0000			
WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passenger type 1	1.9382	(Insufficient)	0.00	5.0000
Passenger type 2	16.1243	(Insufficient)	0.00	29.0000

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Buy_tickets.Queue	0.5543	(Insufficient)	0.00	5.1162

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Buy_tickets.Queue	17.0625	(Insufficient)	0.00	30.0000

Unnamed Project

Replications:1Time Units:Hours

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Cashier	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Cashier	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Cashier	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization	Value			
Cashier	1.0000			
Total Number Seized	Value			
Cashier	116.00			

## **Приложение В**

### Модель части 2

Unnamed Project

Replications:1Time Units:Hours

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	0

Unnamed Project

Replications:1Time Units:Hours

Entity

Other

Number In	Value			
Crew	140.00			
Number Out	Value			
Crew	0.00			
WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Crew	140.00	(Insufficient)	0.00	140.00

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Concrete production.Queue	13.6205	(Insufficient)	0.00	27.9587
Concrete using.Queue	14.3548	(Insufficient)	0.00	28.2953

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Concrete production.Queue	67.0129	(Correlated)	0.00	139.00
Concrete using.Queue	71.0012	(Correlated)	0.00	139.00

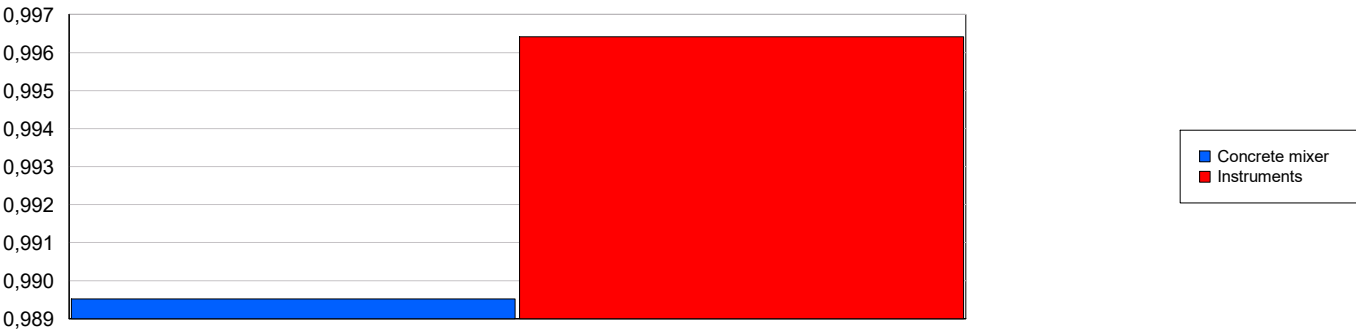
Unnamed Project

Replications: 1      Time Units: Hours

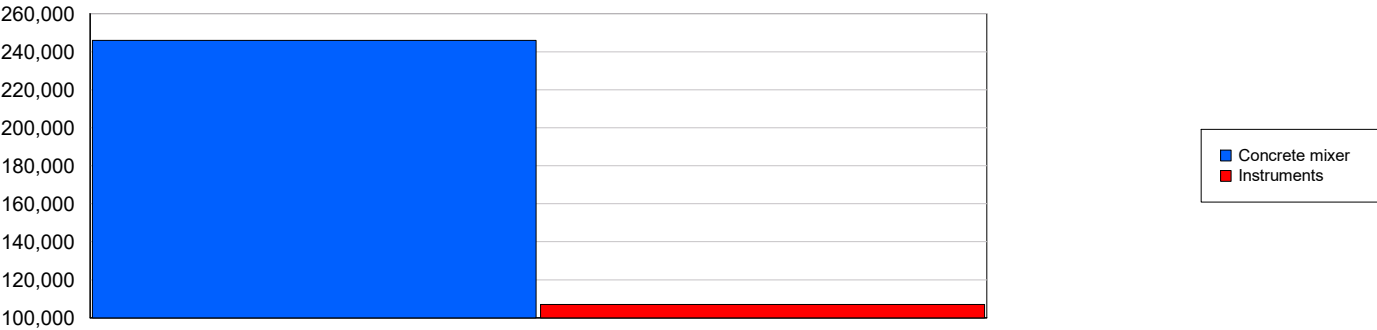
Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Concrete mixer	0.9895	(Insufficient)	0.00	1.0000
Instruments	0.9964	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Concrete mixer	0.9895	(Insufficient)	0.00	1.0000
Instruments	0.9964	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Concrete mixer	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Instruments	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization		Value		
Concrete mixer		0.9895		
Instruments		0.9964		



Total Number Seized	Value
Concrete mixer	246.00
Instruments	107.00



Unnamed Project

Replications:1Time Units:Hours

User Specified

Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Concrete_N	124.23	(Insufficient)	0.00	245.00