

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
ИКНТ

Высшая школа ПИ

# Отчет по работе

## “Методы имитационного моделирования”

Выполнила  
студентка гр.3530904/00103

Плетнева А. Д.

Руководитель

Смирнов Н. Г.

2022 г.

## Оглавление

Оглавление .....	2
Постановка задачи.....	3
Формализованная схема и описание СМО .....	4
<b>Расшифровка задания</b> .....	5
Пример временной диаграммы функционирования системы для своего варианта задания .....	6
Пример системы, удовлетворяющей формализованному описанию .....	6
<b>Ограничения и требуемые характеристики:</b> .....	7
<b>Стоимость компонентов системы</b> .....	8
Документация на ПО .....	9
<b>Обобщенная блок-схема</b> .....	9
<b>Модульная структура</b> .....	9
Результаты работы имитационной модели .....	11
<b>Определение количества реализаций</b> .....	11

## Постановка задачи

Целью курсовой работы является создание модели вычислительной системы (ВС) или ее части на некотором уровне детализации, описывающей и имитирующей ее структуру и функциональность.

Каждый реальный объект (реальная ВС) обладает бесконечной сложностью, множеством характеристик, внутренних и внешних связей. Модель есть приближенное описание объекта с целью получения требуемых результатов с определенной точностью и достоверностью.

При необходимости исследования поведенческих характеристик ВС в процессе исследования выгодно использовать не сам объект, а его модель. Степень приближения модели к описываемому объекту может быть различной и зависит от требований задачи.

Существуют различные типы моделей:

- Аналитические (математические) модели
- Аналоговые модели
- Физические модели
- Имитационные модели

Последний тип моделей является предметом нашего изучения. Одним из подходов к построению имитационной модели является построение ее в виде системы массового обслуживания (СМО), с характерной для СМО терминологией: источник, буфер, прибор, диспетчер, заявка (требование).

Существуют два подхода к построению моделирующего алгоритма:

### Принцип $\Delta t$

Универсальный метод построения моделирующего алгоритма, когда состояние объекта проверяется через фиксированный интервал модельного времени. Суть его заключается в следующем: в каждый момент времени  $t_i = t_{i-1} + \Delta t_{i-1}$  получают приближенные значения характеристик исследуемого объекта.  $\Delta t$  можно получить детерминированным способом.

Основной критерий выбора  $\Delta t$  — он должен быть настолько мал, чтобы не пропустить событие в моделируемой системе, которое должно быть учтено при выбранной детальности моделирования. Метод неэффективен, т.к. постоянно проверяет состояние объектов моделирования, не изменяющихся при этом, особенно при малых  $\Delta t$ .

## Принцип особых состояний.

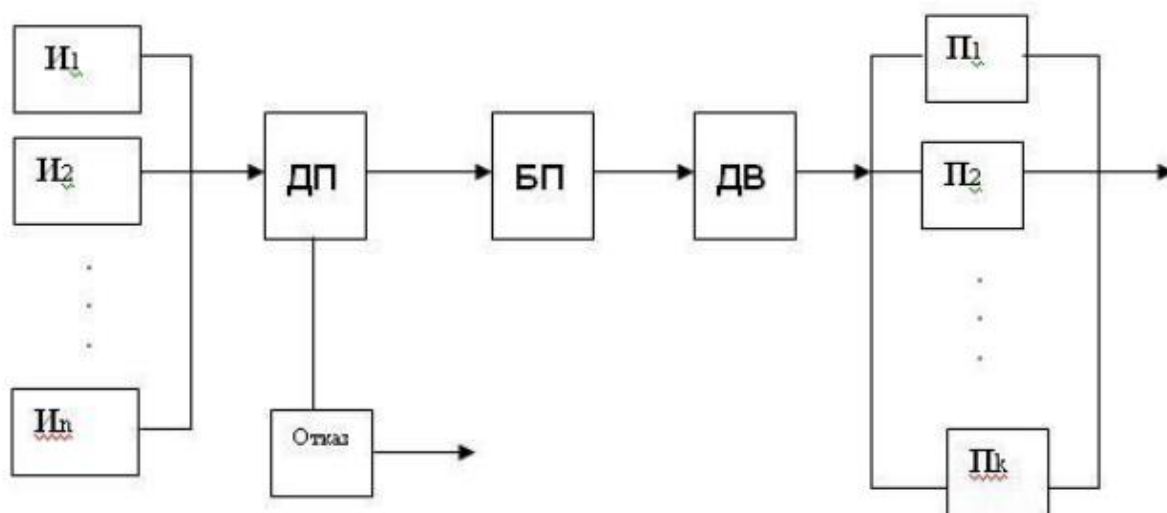
При исследовании реальной системы интервалы, в которых состояние ее не меняется, не представляют интереса. Имеют значение только переходы системы из одного состояния в другое в некоторые моменты времени. Эти переходы определяются особыми состояниями или событиями.

Рассмотрим некоторые типы особых событий, которые изменяют состояние системы:

- Поступление заявки в СМО (момент генерации заявки источником).
- Освобождение прибора (готовность прибора взять заявку на обслуживание).
- Окончание процесса моделирования.

Использование принципа особых событий для построения имитационной модели наиболее эффективно. В настоящей курсовой работе предлагается использовать именно этот принцип.

## Формализованная схема и описание СМО



Здесь  $И_i$  ( $i=1..n$ ) — источник заявок, который генерирует заявки, а все вместе  $n$  источников создают входной поток заявок в систему.

Каждая заявка приходит в СМО со своими характеристиками. Это  $T_{вх}$  — время генерации заявки (время поступления её в СМО) и

номер заявки составленный из номера источника, сгенерировавшего заявку, и порядкового номера заявки от этого источника. Например, (2.3) – третья заявка от второго источника.

**П** — приборы, которые обслуживают заявки и создают выходной поток заявок после обслуживания.

**БП** — буферная память (место для хранения очереди заявок).

В общей памяти хранятся заявки от различных источников. Порядок их записи в БП определяется только дисциплиной буферизации.

**ДП** – диспетчер постановки заявок.

**ДВ** — диспетчер выбора заявок.

### **Расшифровка задания**

19. ИБ-ИЗ1-ПЗ2-Д1031-Д1001-Д2П1-Д2Б5-ОР1-ОД1

#### **Источники:**

ИБ — бесконечный источник;

ИЗ1 — пуассоновский закон распределения;

#### **Приборы:**

ПЗ2 — закон распределения времени обслуживания равномерный;

#### **Описание дисциплин постановки и выбора:**

*Буферизации:* Д1031 — заполнение буферной памяти «по кольцу»;

*Дисциплина отказа:* Д1001 — отказ под указателем;

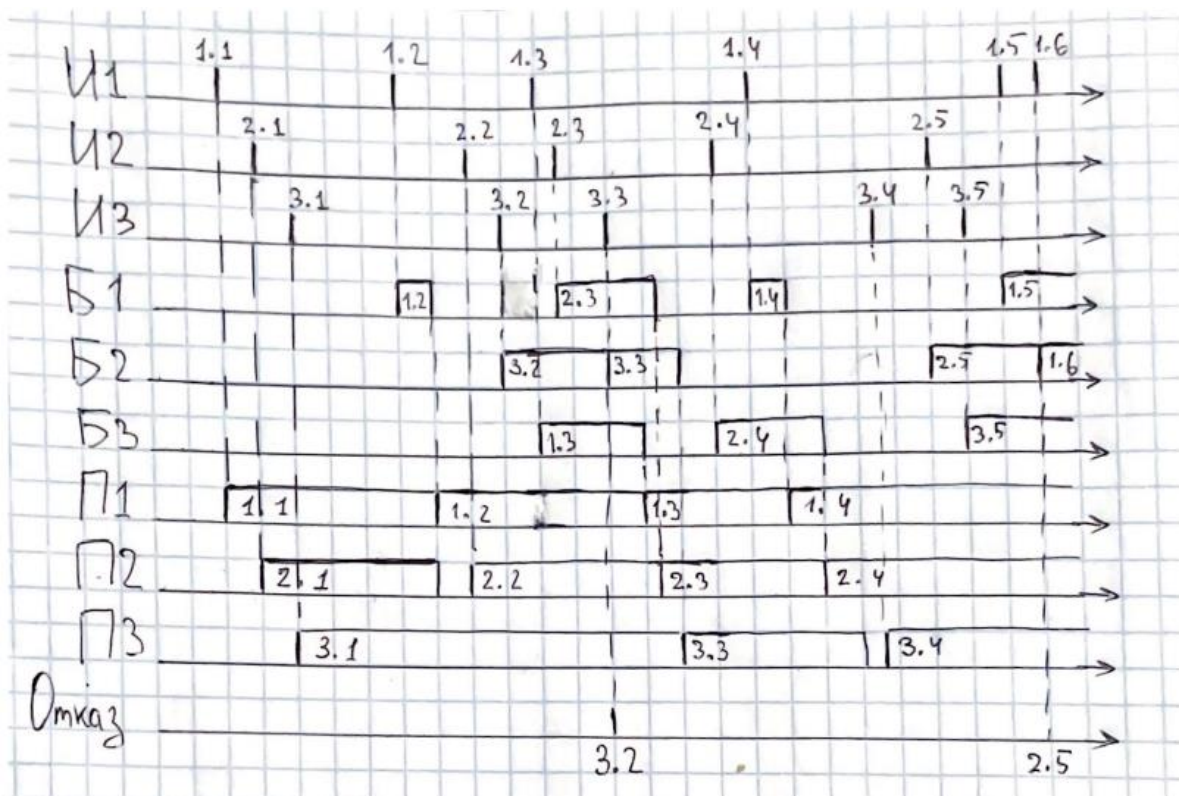
*Дисциплина постановки на обслуживание:* Д2П1 — приоритет по номеру прибора, Д2Б5 — приоритет по номеру источника, заявки в пакете;

#### **Виды отображения результатов работы программной модели:**

*Динамическое отражение результатов:* ОД1 — календарь событий, буфер и текущее состояние;

*Отражение результатов после сбора статистики:* ОР1 — сводная таблица результатов.

## Пример временной диаграммы функционирования системы для своего варианта задания



## Пример системы, удовлетворяющей формализованному описанию

Система	Медицинский осмотр в школе
Источники	<p>Источниками являются классы, в которых обучаются ученики. Источник с наименьшим номером – класс с наименьшим номером. Максимальное количество источников – 7 (с 5 по 11 классы). Необходимо провести осмотр максимального числа учеников (заявок).</p> <p>Согласно главам II части СНиП, количество ученических мест в типовых проектах зданий школ и школ-интернатов следует принимать не более:</p> <p>в школах - 1400</p>

Приборы	Приборы - медицинские работники с разным стажем работы (от стажа работы зависит скорость работы). Прибору с меньшим номером соответствует работник с большим стажем. Работники проводят мед осмотр учащихся и записывают полученные данные в карточку.
Буфер	Количество мест в буфере определяется вместимостью школьного коридора (количество кресел).
Дисциплина постановки в буфер	Постановка в буфер «по кольцу».
Дисциплина отказа	Отказ под указателем.
Дисциплина выборки из буфера	По номеру источника, заявки в пакете. То есть сначала мы обслуживаем самых младших школьников, из тех, кто пришел на мед осмотр до тех пор, пока не останется школьников из выбранного класса, даже если пришли школьники, которые еще младше. Сначала проводится осмотр всех учеников предыдущего класса до конца.
Дисциплина постановки на обслуживание	Приоритет по номеру прибора. Самый опытный врач может обработать заявку быстрее, поэтому приоритет отдается самым опытным.

### **Ограничения и требуемые характеристики:**

Вероятность отказа должна составлять не более 10 %.

Загрузка приборов более 90 %.

Время пребывания заявки в системе ограничено 30 мин.

Количество источников	1–7 (количество классов образования в школе)
Размер заявки	1 человек

Размер буфера	Определяется количеством сидячих мест в школьном коридоре (до 27 мест)
Количество приборов	От 1 до 9 (по три врача на каждую категорию)
Скорость генерации заявок	Пуассоновский поток $\lambda = 0.1$
Скорость обработки заявок	Равномерный поток с границами (мин): [4;8] [6;10] [8;12]

1. Чем выше скорость работы врача, тем выше стоимость его работы.
2. Стоимость наращивания буфера также задана в таблице.

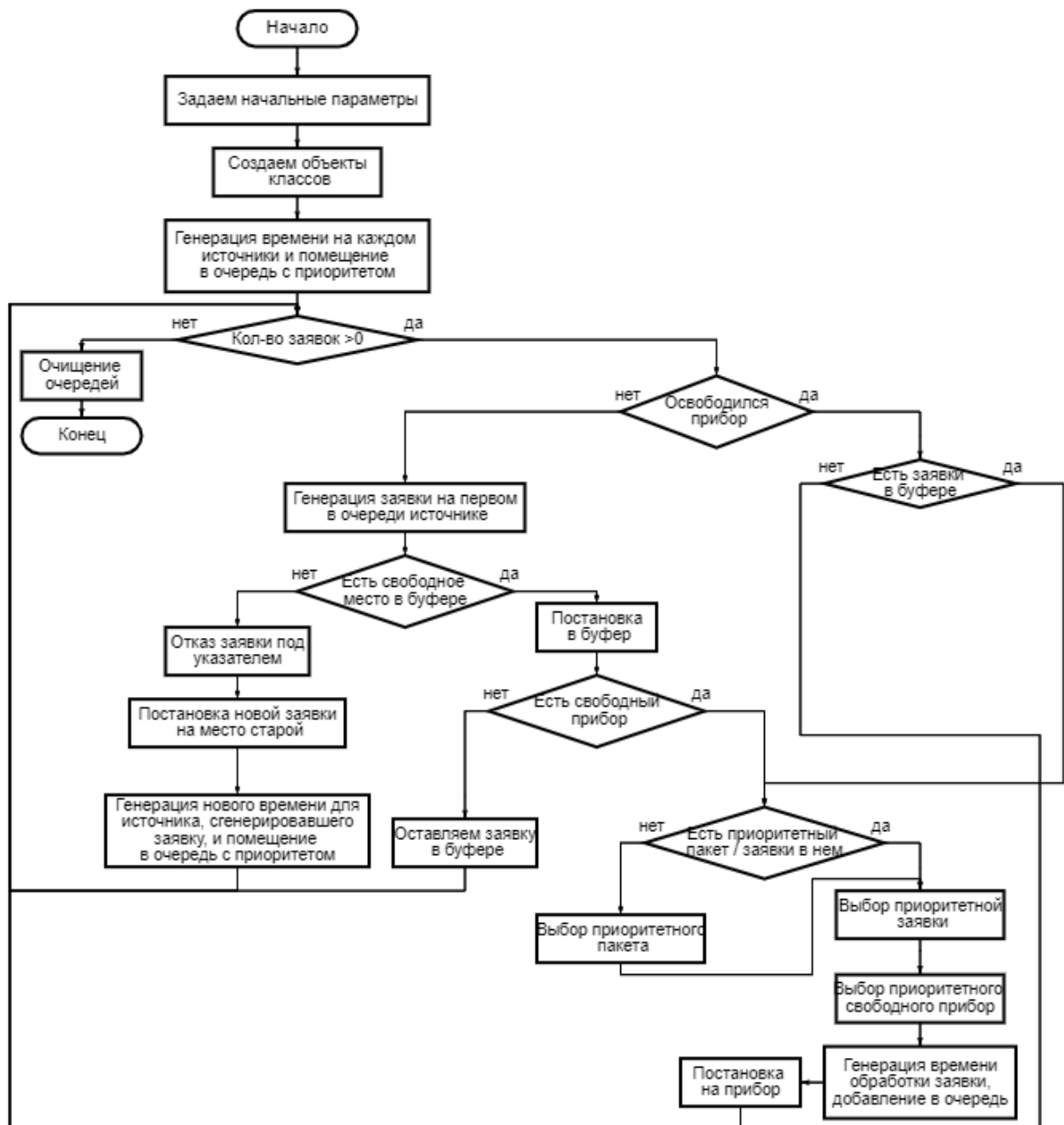
### Стоимость компонентов системы

Наименование	Характеристика	Цена
Врач высшей категории	Время осмотра: [4;8] минут	1000 р/час
Врач первой категории	Время осмотра: [6;10] минут	750 р/час
Врач второй категории	Время осмотра: [8;12] минут	500 р/час
Диван	Диван трехместный	11000 рублей



# Документация на ПО

## Обобщенная блок-схема



## Модульная структура

Разработка производилась в среде PyCharm на языке Python с использованием графического фреймворка Dash.

Приложение использует объектно-ориентированную парадигму программирования и содержит набор классов:

- class Request – класс заявки
- class Source – класс источника
- class Device – класс прибора

- class Buffer – класс буфера
- class SMO – класс СМО
- class Disciplines – класс дисциплин

Программа содержит точку входа в файле main.py. Основное действие процедуры main – создание объекта окна программы и его отображение. После появления окна программы запускается цикл обработки событий (действий пользователя).

Отображение результатов в автоматическом режиме:

Пошаговый режим

Автоматический режим

**Результат работы СМО в автоматическом режиме**

Введите количество источников

4

Введите количество заявок

1000

Введите количество буферов

5

Введите количество приборов

3

Сгенерировать СМО

**Источники**

Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпроб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	241	0.04149377593360996	8.401854717042854	1.8428550704514	6.558999646591454	0.8640772736971272	3.075381577032501
И1	240	0.05	9.128811514272886	2.660242331129399	6.468569183143487	1.3522898516574455	3.180379848378886
И2	253	0.06324110671936758	9.44765193545713	3.032681954932193	6.414969980524936	1.666177042433106	3.2201627965480966
И3	266	0.08270676691729323	11.112527461504852	4.551827464532062	6.5606999697279	2.9090626653024496	3.2556857127834977

**Приборы**

Прибор	Коэффициент использования
П0	0.8663192643524258
П1	0.8193508515262301
П2	0.7838375109342841

Время работы СМО: 2474.6315056543926

Отображение результатов в пошаговом режиме:

Пошаговый режим

Автоматический режим

**Результат работы СМО в пошаговом режиме**

Введите количество источников

2

Введите количество заявок

5

Введите количество буферов

2

Введите количество приборов

2

Сгенерировать СМО

**Календарь событий**

Событие	Время	Признак	Число заявок	Число отказов
И0	12.41298	-	2	0
И1	17.39495	Сгенерировал заявку	1	0
П0	12.41298	Обслуживание заявки 0.1	-	-
П1	17.39495	Постановка заявки 1.0 на обслуживание	-	-

**Буфферы**

Позиция	Время	Источник	Заявка
Б0	17.39495	-	-
Б1	12.41298	-	-

Время работы СМО: 17.394945161611407

Следующий шаг

# Результаты работы имитационной модели

## Определение количества реализаций

Количество реализаций, необходимое для получения нужной точности при заданной доверительной вероятности, можно оценивать по формуле:

$$N = \frac{t_{\alpha}^2(1-p)}{p\delta^2},$$

где  $p$  — вероятность отказа заявок в обслуживании,  $t_{\alpha} = 1.643$  для  $\alpha=0.9$ ,  $\delta=0.1$  — относительная точность.

По результатам работы программы получено, что в большинстве случаев для достижения заданной точности необходимо около 10000 заявок. Однако, в случаях, когда  $p$  мало ( $<0.05$ ) для достижения точности в 10% может потребоваться существенно больше заявок (20000–30000).

## Анализ результатов, вывод и рекомендации по выбору конфигурации системы

Т. к. у нас буферы это трехместные диваны, то количество мест в буфере кратно 3.

Возьмем максимальное количество буферов и минимальное количество приборов – 30 буферов и 1 прибор, обрабатывающий заявку за минимальное время:

Источники								
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпрб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл	
И0	186	0.27419354838709675	26.007917110802456	19.888542969887716	6.11937414091474	15.0767987029794	3.6847844289379093	
И1	177	0.4180790960451977	31.714870243122135	25.76066024739497	5.954209995727166	21.24890619276649	2.82572677763323	
И2	191	0.5130890052356021	38.76603774719396	32.62653909681347	6.139498650380496	28.697688839082005	2.6358057033047153	
И3	218	0.963302752293578	60.24922527959345	53.936810787395935	6.312414492197519	46.7617304532928	0.20269220846505795	
И4	228	0.9736842105263158	64.96239989890343	59.15056506551031	5.811834833393125	52.14589288669988	0.12745251827616505	
И5	187	0.983957219251337	59.35769062368766	53.06644512948836	6.291245494199302	48.242222844989406	0.0672860480663027	
И6	213	0.9859154929577465	53.54280488825689	48.18680341580779	5.356001472449104	44.56713743152175	0.05029109363801974	
Приборы								
Прибор		Коэффициент использования						
п0		0.99986						7462
Время рабты СМО: 2130.9729671398536								

Вероятность отказа очень большая, но увеличить буфер мы больше не можем, и прибор взят самый быстрый.

Увеличим количество приборов до 4, не изменяя количество мест в буфере:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпрб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	1390	0.03381294964028777	10.699766673524	4.6798897173739045	6.019876956150096	1.5521073091434059	3.0662394855785804
И1	1396	0.03581661891117478	11.742231489337822	5.736423273411377	6.005808215926446	2.140885763214444	3.218011852086616
И2	1451	0.03170227429359063	13.492700075749484	7.510645756608489	5.982054319140995	3.2972304251960955	3.3600098346657155
И3	1369	0.04163623082542001	15.893950625363043	9.896448745007959	5.997501880355085	5.132562899164164	3.5397965809546217
И4	1537	0.05074821080026025	21.95179316022405	15.964006215996704	5.987786944227344	10.355311774462502	4.008739600266723
И5	1460	0.06917808219178082	34.278804773737235	28.277407195387728	6.00139757834951	21.130583048060405	4.287299776862016
И6	1397	0.12455261274158912	68.45176506076925	62.462677204016124	5.989087856753128	54.10153143654938	4.514323201976419
Приборы							
Прибор		Коэффициент использования					
П0		0.99269368086198					
П1		0.992107726341659					
П2		0.99072813074					
П3		0.982681278					
Время работы СМО: 14314.217805548353							

Мы все еще не получили требуемую вероятность отказа, увеличим количество приборов до 5:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпрб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	1428	0.0007002801120448179	7.026411962457037	1.0586781072743012	5.967733855182736	0.5115461442711923	2.904464306288804
И1	1436	0.001392757660167131	7.3337035946668125	1.3208309381595458	6.012872656507267	0.6401798976037859	2.9143171092821074
И2	1443	0	7.626767814447517	1.586527885196858	6.040239929250658	0.7927142101364902	2.9343092102596673
И3	1432	0.002094972067039106	8.02909890726294	2.0307302889260104	5.998368618336929	1.076343777440531	2.8023104788180593
И4	1418	0.0021156558533145277	8.737611882235521	2.7146765526359817	6.022942269719227	1.514322392901994	2.9392637874793213
И5	1435	0.0027874564459930314	9.90318450990683	3.9633149551086873	5.9398695547981415	2.322751133969626	3.0465114929139334
И6	1408	0.0014204545454545455	13.343590278958462	7.371883330296063	5.971706948662399	4.8482698606918415	3.1470217016388644
Приборы							
Прибор		Коэффициент использования					
П0		0.9158921587693105					
П1		0.8849844479090297					
П2		0.85752618917					
П3		0.8157508042					
П4		0.7603448127643344					

Мы получили вероятность отказа даже ниже, чем хотели, однако приборы загружены не на требуемые 90%, уменьшим количество мест в буфере до 9:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпрб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	1427	0.006306937631394534	6.800790174016348	0.8175779305258304	5.9832122434905175	0.4170965195674848	2.8427595662835325
И1	1453	0.004817618719889883	6.8808948899494595	0.9246112689985578	5.956283620950901	0.47280534952920494	2.787524337402986
И2	1456	0.007554945054945055	7.23110275282553	1.2112859519771821	6.019816800848347	0.6122983933071495	2.811452901495132
И3	1384	0.005780346820809248	7.364748540535511	1.3548781965371817	6.00987034399833	0.7626084646694221	2.579380769028157
И4	1437	0.009046624913013222	7.778261135048071	1.7493146121450143	6.028946522903057	1.0006517823125887	2.7564494541039344
И5	1443	0.011088011088011088	8.448084090244796	2.436856001176617	6.011228089068179	1.469206320875702	2.8493970983525125
И6	1400	0.01	9.52605319520982	3.5527470851599587	5.973306110049862	2.288984193438788	2.8586536383810652
Приборы							
Прибор		Коэффициент использования					
П0		0.9021605054841937					
П1		0.8728168947652035					
П2		0.8311511629835425					
П3		0.7817012421					
П4		0.7246813322					
Время рабты СМО: 14469.862000517564							

Приборы все еще плохо загружены, однако вероятность отказа уже достигает 1%, поставим менее быстрые приборы, обрабатывающие заявку за 6–10 минут:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпреб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	1416	0.04519774011299435	13.721853482291529	5.731904111363053	7.989949370928477	2.015881530691313	4.54795140746356
И1	1412	0.0488668552407932	15.186405892608976	7.297139309856228	7.8892665827527475	3.0232482268171643	4.71568059195704
И2	1442	0.052011095700416086	17.918799410558556	9.959939692132915	7.958859718425641	4.952341719319857	4.917714292036929
И3	1393	0.06389088298636038	22.01358010917374	14.017246975806232	7.99633313336751	8.040043312038284	5.1950333709243495
И4	1454	0.09284731774415406	30.28677965135552	22.290174141480836	7.996605509874683	16.050765011093688	5.587724345276924
И5	1384	0.14595375722543352	51.768901895581116	43.73390006676545	8.035001828815668	36.46598314815566	5.799831522389362
И6	1499	0.266844563042028	90.0187788558178	81.97592680037697	8.042852055440834	75.63222599394332	5.488884358049354
Приборы							
	Прибор	Коэффициент использования					
	П0	0.9996956263982122					
	П1	0.9995594058530002					
	П2	0.9990255774701207					
	П3	0.99846999183					
	П4	0.998285138					
Время работы СМО: 14331.962112561365							

Увеличим количество приборов до 6, количество мест в буфере - 24:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпреб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	1465	0.004095563139931741	9.852872856823552	1.908764479707514	7.944108377116039	0.6696962065321901	4.663435634379375
И1	1420	0.008450704225352112	10.504093034339245	2.4541660930954006	8.049926941243845	0.9159915699581375	4.433128780318758
И2	1425	0.004912280701754386	11.037913191955635	3.0480975106198303	7.989815681335804	1.2577412885926098	4.524758775324909
И3	1399	0.006433166547533953	12.00826187781157	3.991009978728333	8.017251899083236	1.8514406548925617	4.424101834233272
И4	1421	0.01055594651653765	13.685855970683377	5.6360581535050756	8.049797817178302	2.946932588356299	4.6282088787014235
И5	1483	0.010114632501685773	16.55874813480233	8.55025568261533	8.008492452187001	5.0909479216111615	5.03298379328271
И6	1387	0.010093727469358327	25.374506861951886	17.36157777041115	8.012929091540736	12.129321456040724	5.4594217674880685
Приборы							
	Прибор	Коэффициент использования					
	П0	0.963725060067062					
	П1	0.9540865831094226					
	П2	0.945416262916043					
	П3	0.9259180231297063					
	П4	0.910900009965					
	П5	0.880900007964					
Время работы СМО: 14240.326170988266							

Вероятность отказа приблизительно равна 1% в худшем случае, 1 прибор загружен чуть меньше, чем на 90%, попробуем уменьшить количество буферов до 21:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпреб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	1422	0.010548523206751054	9.901781927936597	1.9221278007222466	7.979654127214349	0.6907224375309875	4.4836453218313865
И1	1393	0.015793251974156496	10.332626775838678	2.299611371985268	8.03301540385341	0.901355211129894	4.307726135447548
И2	1476	0.005420054200542005	10.884981932868977	2.9127444920989185	7.972237440770058	1.2491648126684427	4.655873085327738
И3	1407	0.008528784648187633	12.030599174692046	3.99620321575473	8.034395958937315	1.8745516150661907	4.568242194136382
И4	1429	0.01609517144856543	13.519037639348493	5.532091786217474	7.98694585313102	2.895734538901827	4.661380574885394
И5	1457	0.018531228551818806	15.786214505806095	7.7966271524053115	7.9895873534007835	4.601989945826059	4.792655694490298
И6	1416	0.0211864406779661	24.348421194620393	16.340862406587853	8.00755878803254	11.401675181997653	5.349682636637534
Приборы							
	Прибор	Коэффициент использования					
	П0	0.9554087674545515					
	П1	0.946350523991339					
	П2	0.9314094098029201					
	П3	0.9153443020772711					
	П4	0.889670004696					
	П5	0.858910003866					
Время рабты СМО: 14353.965963240857							

Вероятность отказа более 1%, следовательно, оптимальная комбинация:

Количество приборов, обрабатывающих заявку за 6–10 минут: 6

Количество мест в буфере: 24 (8 диванов)

Для большей точности измерения проводились на 10000 заявок, однако учеников в школе не может быть более 1400, рассмотрим случай с 1400 заявок и рассчитаем стоимость системы:

Источники							
Источник	Количество заявок	Вероятность отказа	Тпроб	ТБП	Тобсл	ДБП	Добсл
И0	195	0	9.549460448920971	1.5729975436956662	7.976462905225305	0.6453323256187355	4.704067867184159
И1	207	0.004830917874396135	9.896058866546777	1.991363874216048	7.90469499233073	0.7696092267501642	4.429684150291611
И2	227	0.00881057268722467	10.021335526286828	2.058183090508252	7.963152435778576	0.97922367301714	4.735795501454214
И3	195	0.015384615384615385	11.776034108854638	3.6238751783679732	8.152158930486666	1.7283097004524166	4.389624039492825
И4	180	0.005555555555555556	12.577873632214617	4.629858318378668	7.948015313835949	2.4178148995977455	4.548030985139457
И5	194	0.005154639175257732	13.87983087087953	5.861834957996936	8.017995912882595	3.3841521406992574	4.628946094035308
И6	202	0.0049504950495049506	22.94713978615116	15.003512424496334	7.9436273616548245	10.695573213502334	5.112235430767949
Приборы							
Прибор	Коэффициент использования						
П0	0.9549903416034561						
П1	0.9504130210533265						
П2	0.9283950857255807						
П3	0.9019000995430968						
П4	0.8846111868						
П5	0.8593718301						

Время работы СМО: 2027.0351788354872

Таким образом, время работы равно 2027 минут или 34 оплачиваемых часа работы врачей.

Стоимость системы =  $34 \cdot 750 \cdot 6 + 8 \cdot 11000 = 241000$  рублей

Рассчитаем стоимость системы с врачами высшей категории, оптимальная для этой категории система – 9 мест в буфере и 5 врачей (врачи не загружены на нужное количество процентов, однако уменьшая их количество при максимуме мест в буфере мы не получим нужную вероятность отказа), отработавшей за 2050 минут при количестве заявок, равном 1400:

Стоимость системы =  $35 \cdot 1000 \cdot 5 + 3 \cdot 11000 = 208000$  рублей

Таким образом, эта система оптимальная.