

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Направление подготовки 01.03.04 Прикладная математика

**Математическое моделирование деятельности
многофункционального центра
(на примере ГАУ «МФЦ Иркутской области»)**

Руководитель

канд. эконом. наук, доцент

Чудинова О.С.

Исполнитель

студентка группы 17ПМ(ба)ПММ

Чаганова О.Б.

Оренбург, 2021

Цель, объект, предмет и задачи исследования

- **Цель исследования:** выработка рекомендаций по оптимизации работы МФЦ на основе методов прикладной математики.
- **Объект:** Государственное автономное учреждение «Многофункциональный центр предоставления государственных и муниципальных услуг Иркутской области».
- **Предмет:** математические модели выявления закономерностей в поступлении заявлений и организации процесса обслуживания заявок.
- **Задачи:**
 - анализ востребованности услуг МФЦ и выявление закономерностей в транзакциях посетителей центра;
 - моделирование деятельности МФЦ как системы массового обслуживания;
 - разработка рекомендательной системы для прогнозирования следующей услуги заявителя многофункционального центра.

Концептуальная схема проведения исследования



Информационная база

1. **Данные о поданных заявлениях** (более 2,7 миллионов наблюдений по 21 показателю);
2. **Данные о заявителях** (1,75 миллионов записей по 6 показателям):
 - физические лица;
 - юридические лица;
 - индивидуальные предприниматели.
3. **Талоны электронной очереди** (более 7 миллионов записей по 5 показателям);
4. **Оказание услуг в рамках талона** (более 3,7 миллионов записей по 7 показателям).

Период: 06 января 2019 г. – 17 мая 2020 г.

Описательная статистика числа заявлений, поданных отдельным заявителем (шт.)

Число наблюдений	Среднее	Медиана	СКО	Минимум	Максимум	Коэфф. асимметрии	Коэфф. эксцесса
Для физических лиц							
873248	2,89	2	49,8	1	20748	252,29	82760,8
Для юридических лиц							
7828	21,01	2	211,8	1	12058	36,11	1694,7
Для индивидуальных предпринимателей							
7786	2,72	1	23,3	1	1557	60,18	3760,4

Динамика числа поданных заявлений

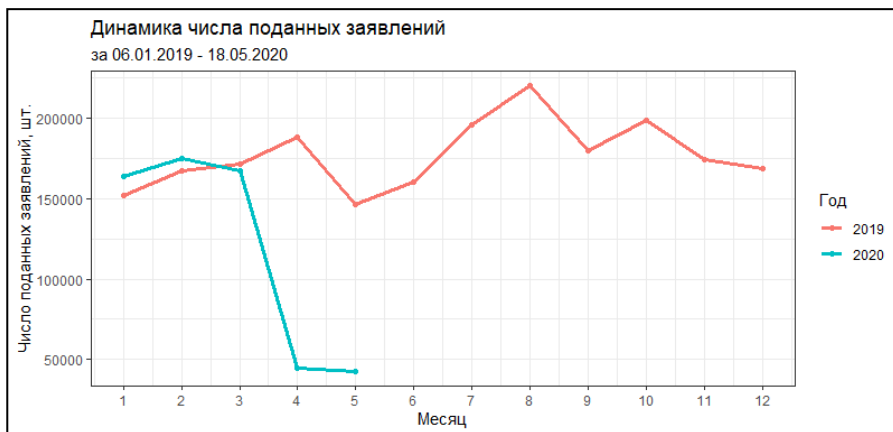


Рис. 1. Динамика числа поданных заявлений

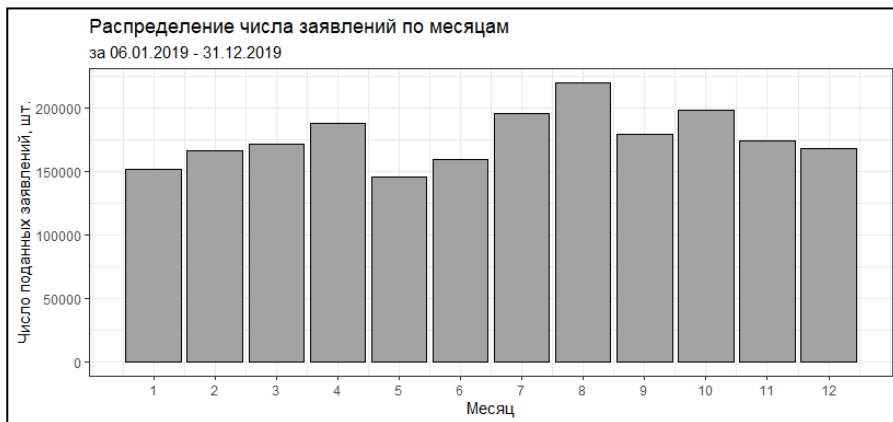


Рис. 2. Распределение числа заявлений по месяцам

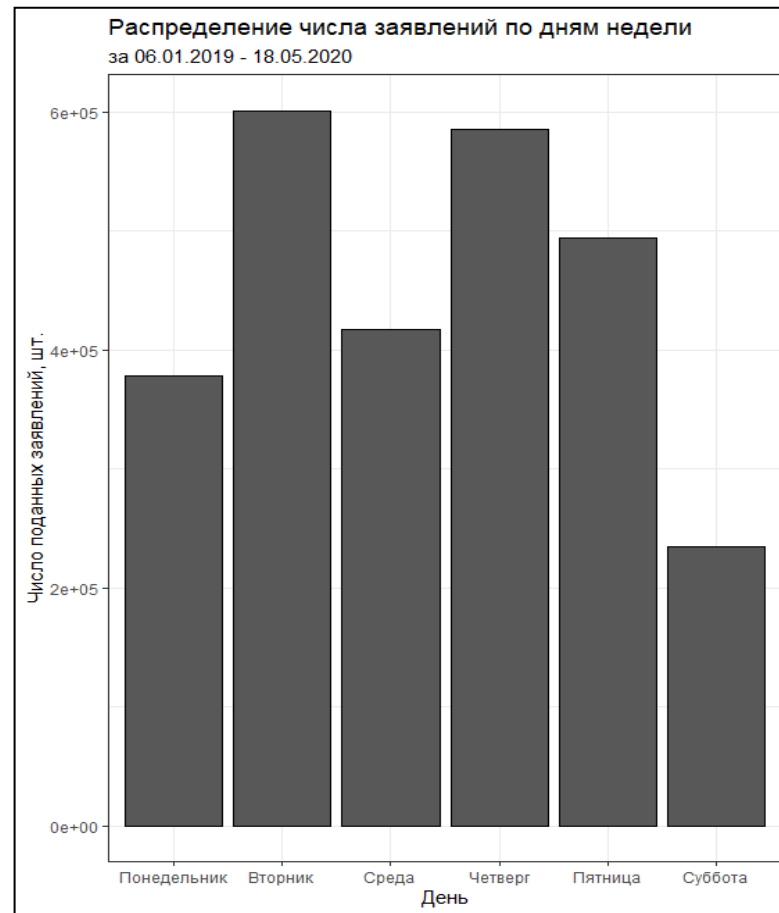


Рис. 3. Распределение числа заявлений по дням недели

Ассоциативные правила для физических лиц

№	Условие	Следствие	Поддержка ка	Достоверность	Лифт	Число транзакций
1	Предоставление в Иркутской области мер социальной поддержки семьям, имеющим детей	Назначение и выплата пособия на ребенка в Иркутской области	4,77%	82,67%	10,59	21384
3	Выдача справок о том, является ли лицо подвергнутым административному наказанию за потребление наркотических веществ	Выдача справок об отсутствии судимости или факта уголовного преследования либо о прекращении уголовного преследования	4,28%	96,06%	8,21	19205
...
7	Предоставление многодетным семьям ежегодной денежной выплаты для подготовки детей к школе	Предоставление в Иркутской области мер социальной поддержки семьям, имеющим детей	1,54%	94,48%	16,39	6892

Минимальная **поддержка**: 1,5%; минимальная **достоверность**: 50%

Ассоциативные правила для юридических лиц

№	Условие	Следствие	Поддержка	Достоверность	Лифт	Число транзакций
1	Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и/или регистрация прав на недвижимое имущество	Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и/или регистрация прав на недвижимое имущество (ПОВТОРНОЕ)	17,22%	55,85%	1,25	831
2	Предоставление сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости	Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и/или регистрация прав на недвижимое имущество (ПОВТОРНОЕ)	7,54%	62,65%	1,40	364
...
11	Осуществление миграционного учета иностранных граждан и лиц без гражданства в РФ	Осуществление миграционного учета иностранных граждан и лиц без гражданства в РФ (ПОВТОРНОЕ)	2,03%	70,50%	13,29	98

Минимальная **поддержка**: 2%; минимальная **достоверность**: 50%

Ассоциативные правила для индивидуальных предпринимателей

№	Условие	Следствие	Поддержка	Достоверность	Лифт	Число транзакций
1	Информирование об объемах и номенклатуре закупок конкретных заказчиков, определенных в соответствии с ФЗ № 223, у субъектов малого и среднего предпринимательства	Информирование о формах и условиях финансовой поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства	13,68%	87,77%	2,23	531
2	Информирование об имуществе, включенном в перечни государственного и муниципального имущества, предусмотренные частью 4 статьи 18 ФЗ № 229 и свободном от прав третьих лиц	Информирование о формах и условиях финансовой поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства	12,36%	58,90%	1,50	480
...
15	Информирование об органах гос. власти РФ и местного самоуправления, образующих поддержку субъектов малого и среднего предпринимательства, о мерах и условиях поддержки	Информирование об имуществе, включенном в перечни государственного и муниципального имущества, предусмотренные частью 4 статьи 18 ФЗ № 229 и свободном от прав третьих лиц	7,08%	54,24%	2,58	275

Минимальная **поддержка**: 5,5%; минимальная **достоверность**: 50%

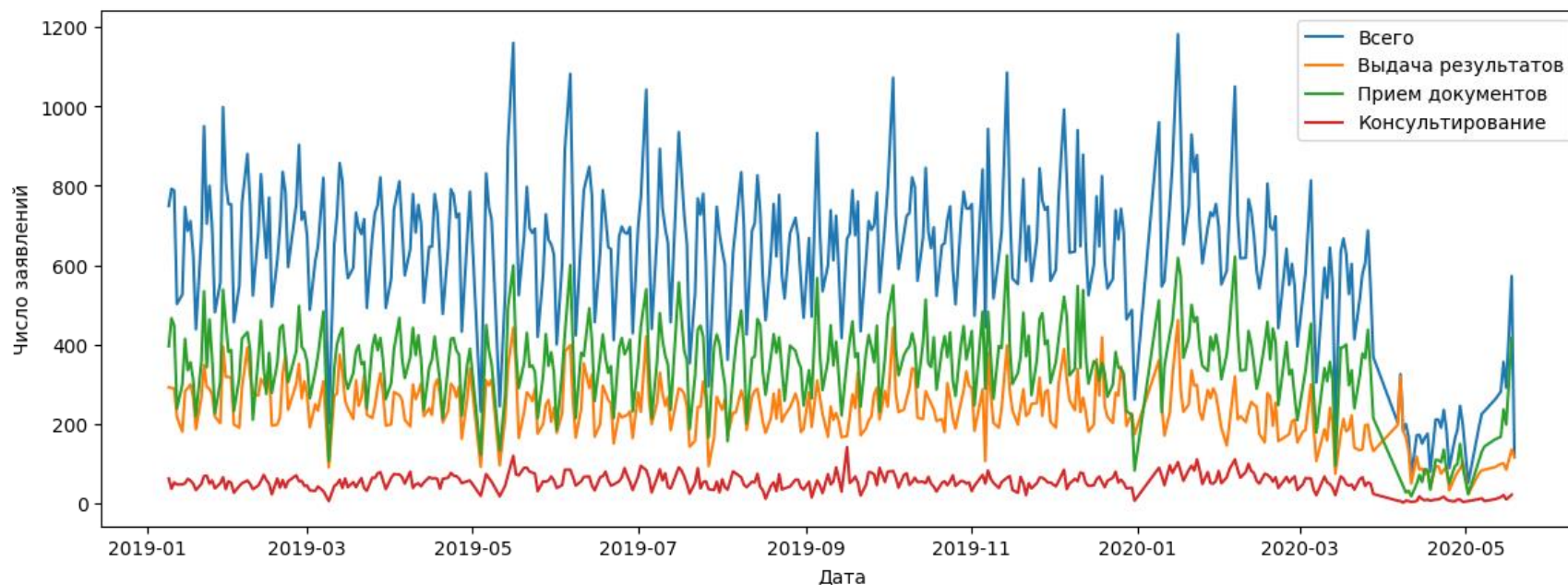
Последовательные шаблоны для индивидуальных предпринимателей

№	Условие (номер услуги)	Следствие (номер услуги)	Поддержка	Достоверность	Лифт
1	134	134	48,70%	74,39%	1,1364
2	134	98	38,06%	58,13%	1,2145
3	134,134	134	34,79%	71,43%	1,0911
4	134,134	98	32,77%	67,30%	1,41
5	98	98	28,33%	59,19%	1,24
6	134,134,134	98	26,82%	77,11%	1,61
7	134,134,134	134	26,49%	76,14%	1,16
8	134,98	98	24,31%	63,88%	1,33
9	134,134,98	98	22,80%	69,57%	1,45
10	134,134,134,134	98	22,46%	84,81%	1,77
11	134,134,134,134	134	20,96%	79,11%	1,21
12	134,134,134,98	98	20,29%	75,63%	1,58

№134: Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и/или государственная регистрация прав на недвижимое имущество (ПОВТОРНОЕ)

№98: Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и/или государственная регистрация прав на недвижимое имущество

Динамика числа талонов электронной очереди за 09.01.2019 г.– 19.05.2020 г.



Результаты исследования закона распределения времени между выдачей талонов

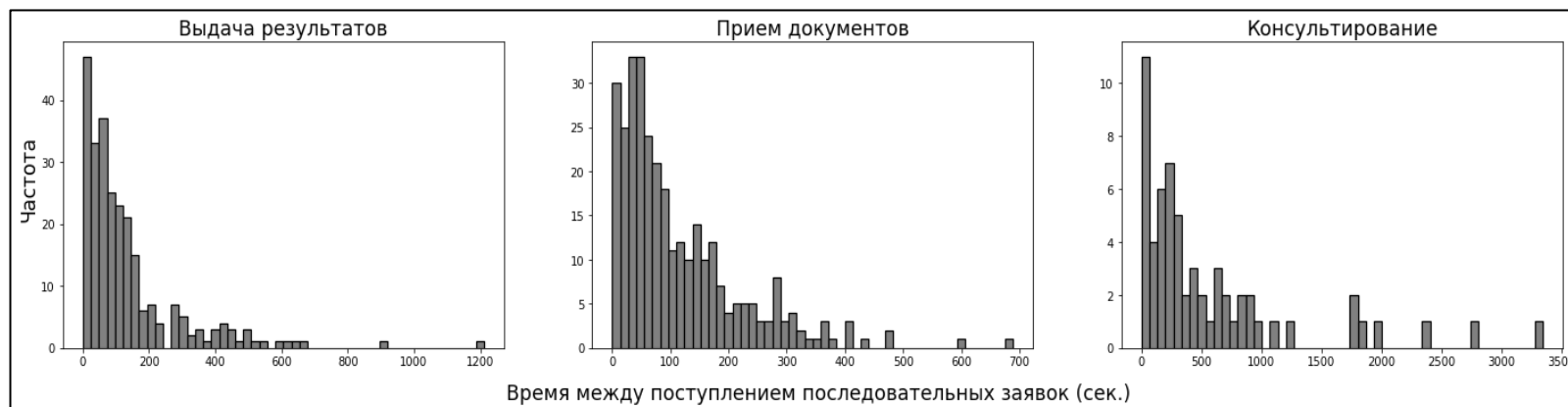


Рис. 4. Гистограмма распределения времени между выдачей талонов

Табл. 1. Результаты проверки гипотез

Тип услуги	Число наблюдений	$S_{\text{набл}}$	Критическая точка	Вывод
Выдача результатов	301	1,221	1,338	$\xi_1 \sim \text{Exp}(0,512)$
Прием документов	349	0,295	1,339	$\xi_2 \sim \text{Exp}(0,611)$
Консультирование	41	0,694	1,326	$\xi_3 \sim \text{Exp}(0,073)$

Результаты исследования закона распределения времени обслуживания

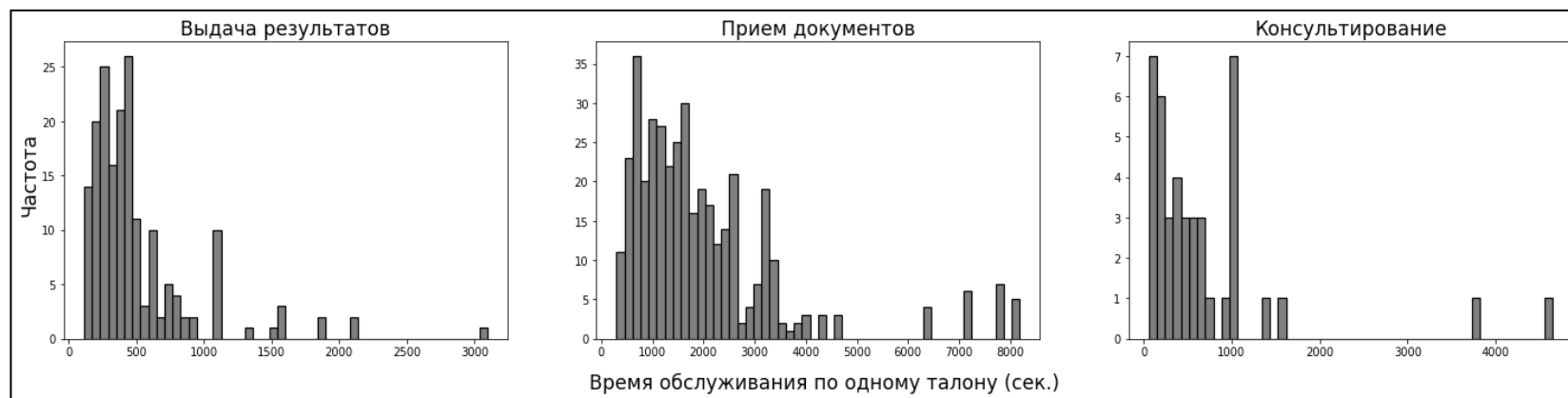


Рис. 5. Гистограмма распределения времени обслуживания

Табл. 2. Результаты проверки гипотез

Тип услуги	Число наблюдений	$S_{\text{набл}}$	Критическая точка	Вывод
Выдача результатов	301	1,307	1,338	$\eta_1 \sim \text{Exp}(0.085)$
Прием документов	349	1,283	1,339	$\eta_2 \sim \text{Exp}(0.035)$
Консультирование	41	0,827	1,326	$\eta_3 \sim \text{Exp}(0,085)$

Вывод: система массового обслуживания является **марковской**

Результаты прогнозирования числа заявок в день по каждому виду услуги

Табл. 3. Метрики качества прогнозирования числа заявлений, шт.

Временной ряд	Метрики				
	Макс. ошибка	Ср. абсол. ошибка	Ср. отриц. ошибка	Ср. полож. ошибка	Кор. среднекв. ошибки
Выдача результатов	63 (35,8%)	23 (13,1%)	23 (13,1%)	24 (13,1%)	28 (15,9%)
Прием документов	77 (23,9%)	24 (7,5%)	23 (7,4%)	24 (7,5%)	30 (9,3%)
Консультирование	18 (40%)	9 (20%)	11 (25,2%)	9 (20%)	11 (25,2%)

Замечание: в скобках указано отношение к среднему числу заявлений за тестовый период

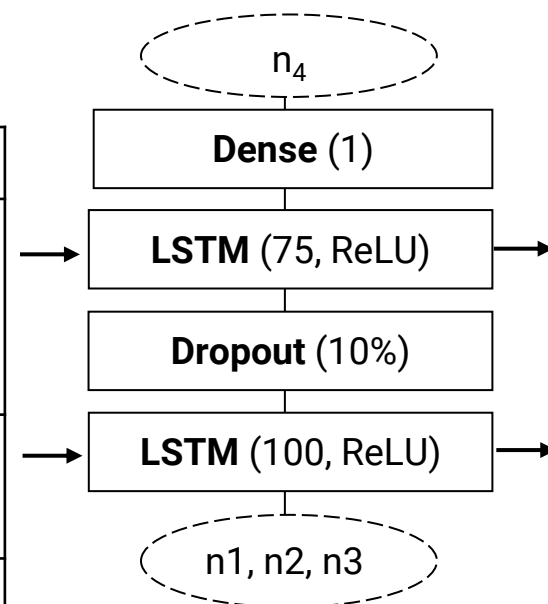
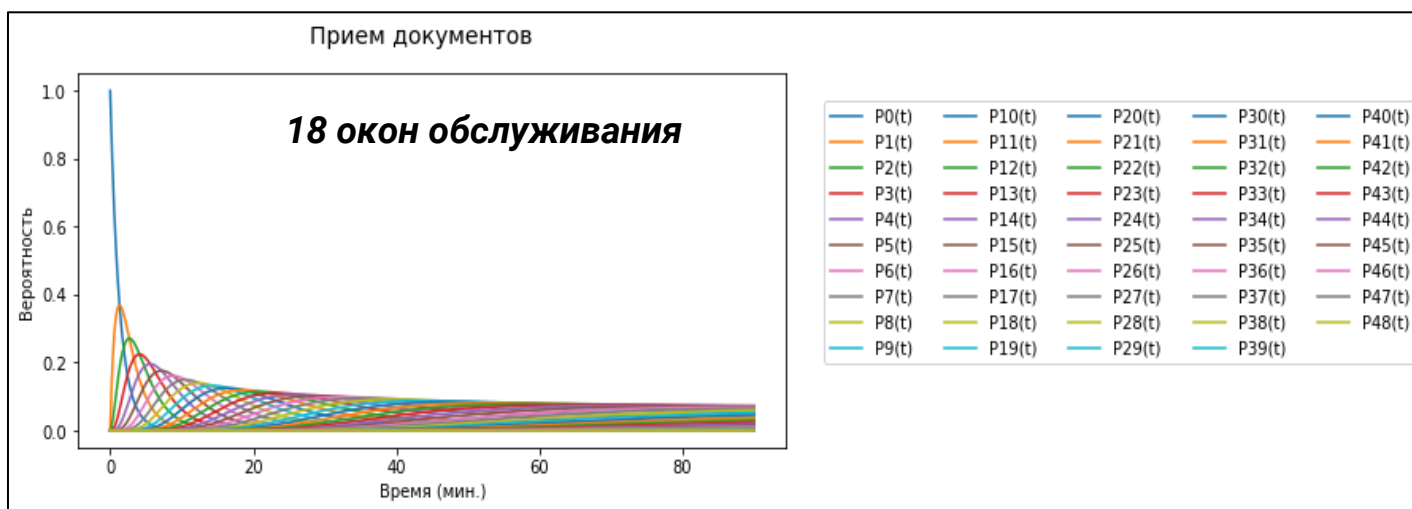
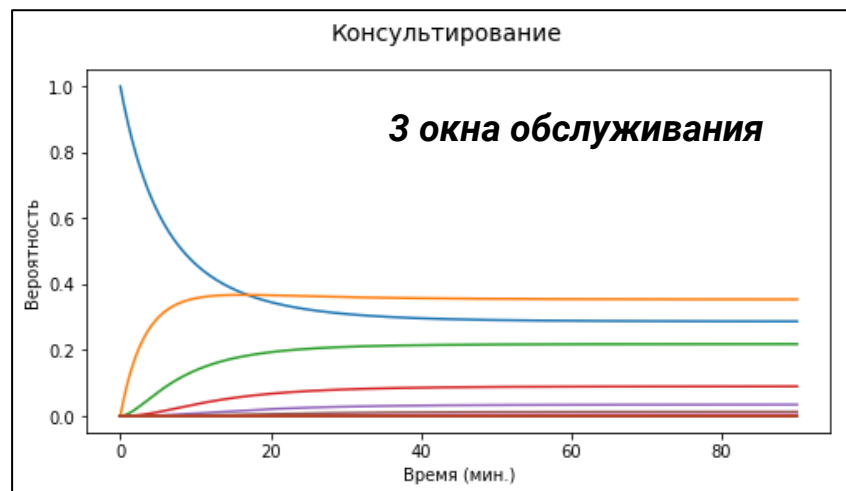
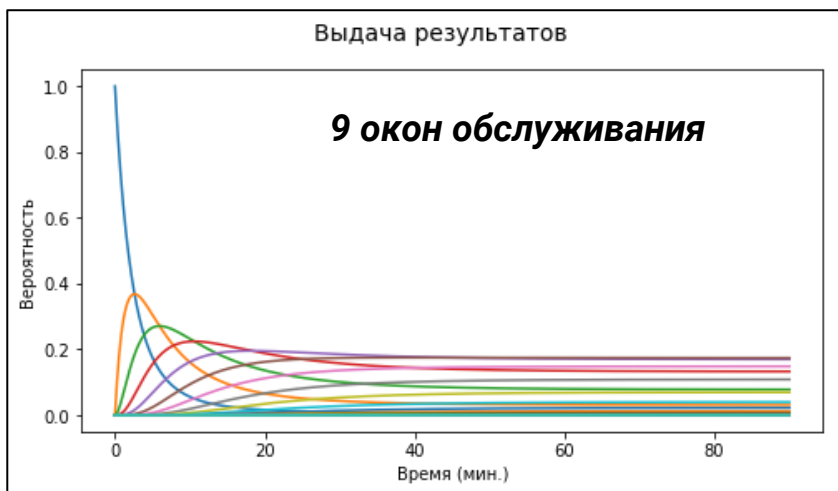


Рис. 6. Архитектура нейронной сети для прогнозирования числа заявок

Оценки интенсивности входного потока и интенсивности обслуживания

Тип услуги	Интенсивность поступления заявок (мин ⁻¹)	Интенсивность обслуживания (мин ⁻¹)
	$\hat{\lambda} = \frac{N}{t_{\text{раб}}}$ <p>N – спрогнозированное число заявлений; $t_{\text{раб}}$ – длительность рабочего дня (мин.)</p>	$\hat{\mu} = \frac{1}{\overline{t_{\text{обсл}}}}$ <p>$\overline{t_{\text{обсл}}}$ – среднее время обслуживания заявки (мин.)</p>
Выдача результатов	$\hat{\lambda}_{\text{del}} = 0,4262$	$\hat{\mu}_{\text{del}} = 0,0832$
Прием документов	$\hat{\lambda}_{\text{ser}} = 0,7774$	$\hat{\mu}_{\text{ser}} = 0,0305$
Консультация	$\hat{\lambda}_{\text{con}} = 0,1221$	$\hat{\mu}_{\text{con}} = 0,0990$

Распределение вероятностей системы в динамическом режиме



Математическая модель определения оптимального числа окон обслуживания

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{ser}}(n_{\text{ser}}) + T_{\text{del}}(n_{\text{del}}) + T_{\text{con}}(n_{\text{con}}) \rightarrow \min \\ n_{\text{ser}} + n_{\text{del}} + n_{\text{con}} = 30 \\ q_{\text{ser}} \geq 0,85 \\ q_{\text{del}} \geq 0,80 \\ q_{\text{con}} \geq 0,85 \\ n_{\text{ser}}, n_{\text{del}}, n_{\text{con}} > 0 \end{array} \right.$$

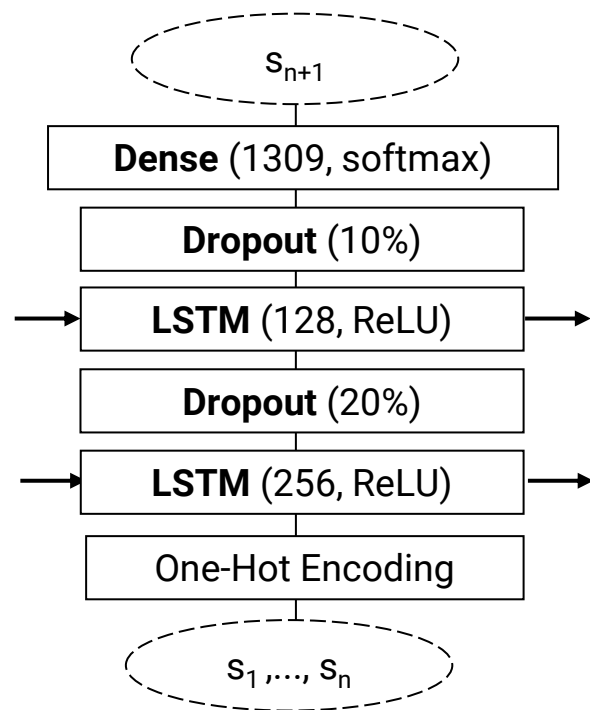
- $T_i(n_i) = t_{\text{ож}_i}(n_i) + t_{\text{обсл}_i}(n_i)$ – общее время, проводимое в МФЦ заявителем (время ожидания в очереди и время обслуживания заявителя);
- n_i – число окон обслуживания, выделяемых под i -тый тип услуг;
- $n = 30$ – общее число окон обслуживания центра;
- q_i – относительная пропускная способность окон обслуживания по i -му типу услуг;
- $i \in [\text{ser}, \text{del}, \text{con}]$, **ser** – прием документов, **del** – выдача результатов, **con** – консультация.

Характеристики работы МФЦ с оптимальным распределением окон

Характеристика	Тип услуги		
	Выдача результатов	Прием документов	Консультирование
Прогнозированное число заявлений (шт.)	205	373	59
Изначальное число окон обслуживания	9	18	3
Оптимальное число окон	7 (-2)	21 (+3)	2 (-1)
Коэффициент занятости окон	0,715 (+0,149)	0,983 (+0,013)	0,573 (+0,168)
Среднее число заявителей, ожидающих в очереди (чел.)	0,533 (+0,440)	6,611 (-3,727)	0,381 (+0,302)
Абсолютная пропускная способность (чел. / час)	24,863 (-0,585)	37,829 (+4,971)	6,815 (-0,403)
Относительная пропускная способность	0,972 (-0,023)	0,811 (-0,107)	0,931 (-0,054)
Среднее время ожидания заявителя в очереди (мин.)	1,250 (+1,031)	8,503 (-4,796)	3,124 (+2,477)
Среднее время обслуживания заявителя (мин.)	11,686 (-0,274)	26,561 (-0,489)	9,398 (-0,585)
Среднее общее время пребывания заявителя в офисе МФЦ (мин.)	12,936 (+0,756)	35,065 (-5,285)	12,522 (+1,921)

Модели, используемые при разработке рекомендательной системы

1. **Compact Decision Tree** (CPT; компактное дерево предсказаний);
2. **CatBoost** (алгоритм градиентного бустинга деревьев решений);
3. **RNN LSTM** (рекуррентная нейронная сеть долгой краткосрочной памяти).



Число эпох обучения: 10

Функция активации скрытого слоя:

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$$

Функция активации выходного слоя:

$$\text{softmax}(x)_j = \frac{e^{x_j}}{\sum_{k=1}^K e^{x_k}}$$

Функция потерь:

$$\text{CE} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K y_{ij} \cdot \log(\text{softmax}(x)_j)$$

Алгоритм оптимизации:

Adaptive Moment Estimation (adam).

Рис. 7. Архитектура нейронной сети

Сравнение результатов прогнозирования следующей услуги заявителей

Метрика	Алгоритм								
	CPT			RNN LSTM			CatBoost		
	ФЛ	ЮЛ	ИП	ФЛ	ЮЛ	ИП	ФЛ	ЮЛ	ИП
Точность, %	17,4	39,4	23,6	35,3	70,8	35,5	31,8	71,2	32,9
TOP 5 точность, %	-			67,5	90,5	67,5	-		
Время обучения, с.	18,3	0,7	0,6	734,2	96,9	30,9	1946,2	79,2	115,3
Длина префикса	1	1	5	5	5	3	5	5	3
Общая точность, %	16,6			36,4			33,1		

CPT – компактное дерево предсказаний

RNN LSTM – рекуррентная нейронная сеть долгой краткосрочной памяти

CatBoost – градиентный бустинг деревьев решений

Демонстрация работы рекомендательной системы

Тип	Прошлые услуги	Прогноз
Физ. лицо	1129: Назначение и выплата единовременного пособия при рождении ребенка отдельным категориям граждан 278: Заявление об обмене страхового свидетельства 404: Назначение и выплата ежемесячного пособия по уходу за ребенком отдельным категориям граждан 1220: Назначение и выплата пособия на ребенка в ИО 637: Назначение и осуществление ежемесячной выплаты в связи с рождением (усыновлением) первого ребенка	1220: Назначение и выплата пособия на ребенка в Иркутской области
Юр. лицо	134: Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и (или) государственная регистрация прав на недвижимое имущество X3 578: Выдача градостроительного плана земельного участка, расположенного на территории города Иркутска 1206: Присвоение и аннулирование адресов на территории города Иркутска	134: Государственный кадастровый учет недвижимого имущества и (или) государственная регистрация прав на недвижимое имущество
ИП	60: Информирование об имуществе, включенном в перечни государственного и муниципального имущества ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в РФ»; 43: Информирование об участии субъектов малого и среднего предпринимательства в закупках товаров, работ; 700: Информирование о мерах и условиях поддержки предоставляемой субъектам малого и среднего предпринимательства.	1306: Услуга по предоставлению информации о формах и условиях финансовой поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства.

Результаты работы

- Анализ востребованности услуг МФЦ позволил выявить наиболее востребованные услуги у каждого типа заявителя, обосновать наличие влияния дня недели на число заявлений, подаваемых в МФЦ, выявить закономерности в транзакциях клиентов при помощи **методов поиска ассоциативных правил и последовательных шаблонов**.
- Моделирование деятельности **МФЦ как системы массового обслуживания** позволило определить **оптимальное распределение окон обслуживания** по каждому виду услуг и рассчитать показатели работы офиса МФЦ. Построенная модель является адаптивной и позволяет находить оптимальное распределение окон обслуживания на основе текущих данных.
- Разработана **рекомендательная система, позволяющей прогнозировать следующую услугу заявителя**, в основе которой лежит модель рекуррентной нейронной сети долгой краткосрочной памяти. Система верно предсказывает следующую услугу для 36,4% заявителей из тестовой выборки. Для юридических лиц отдельно модель обеспечивает точность 70,8%.

Рекомендации

- Выявлен отдельный кластер заявителей, являющихся индивидуальными предпринимателями по оказанию риэлтерских услуг. Для них рекомендуется разработать отдельную программу обслуживания.
- Для проведения оптимизации работы МФЦ разработана модель системы массового обслуживания, позволяющая в динамическом режиме находить оптимальное распределение окон обслуживания под определенные типы услуг. Так, при числе заявлений на выдачу результатов, прием документов и получение консультации, равном 181, 350 и 50 соответственно, под эти услуги нужно выделить 7, 21 и 2 окна.
- Внедрение рекомендательной системы прогнозирования следующей услуги повысит качество консультирования о порядке подачи заявлений и позволит заранее уведомлять заявителей о возможности подачи документов на следующую услугу.