

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ СПРОСА
НА МЕДИЦИНСКИЕ УСЛУГИ В
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
(на примере стоматологических услуг)**

Гаценко С. М.¹

Мирзоян Г. Л.²

*(Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук, Москва)*

Новочадов В. В.³

(Волгоградский государственный университет, Волгоград)

Шемонаев В. И.⁴, Шкарин В. В.⁵

*(Волгоградский государственный медицинский универси-
тет, Волгоград)*

¹ Сергей Михайлович Гаценко, кандидат медицинских наук, главный врач стоматологической поликлиники №8 г. Волгограда (dantist8@mail.ru).

² Гагик Левонич Мирзоян, аспирант ИПУ РАН (mirzoyangl@yandex.ru).

³ Валерий Валерьевич Новочадов, доктор медицинских наук, проф., зав. кафедрой биоинженерии и биоинформатики Волгоградского государственного университета (novovv@rambler.ru).

⁴ Виктор Иванович Шемонаев, доктор медицинских наук, проф., зав. кафедрой ортопедической стоматологии Волгоградского государственного медицинского университета (shemonaevvi@yandex.ru).

⁵ Владимир Вячеславович Шкарин, кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии Волгоградского государственного медицинского университета (oblzdrav@volganet.ru).

На примере собранных и обработанных данных о рынке стоматологических услуг в крупном промышленном городе, идентифицируются предложенные математические модели зависимости спроса на данные медицинские услуги от их цены и качества.

Ключевые слова: медицинские организации, стоматологическая поликлиника, спрос на медицинскую услугу, моделирование математическое, показатели функционирования медицинских организаций.

1. Введение

В литературе (как в отечественной, так и в зарубежной) существует ряд исследований, так или иначе использующих различные разделы прикладной математики для построения и изучения моделей систем здравоохранения.

Например, в классической работе [10] рассматриваются несколько моделей. В первой фирма (организация) выбирает цену на продукт (оказываемую услугу) и размер инвестиций в рекламу. Во второй модели фирма принимает решение, какую цену установить на продукт (оказываемую услугу), а также выбирает уровень качества. В третьей модели фирма (организация) выбирает цену на продукт (оказываемую услугу), размер инвестиций в рекламу, цену и качество. Также в указанной работе рассмотрены модели с фиксированной ценой: 1) фирма выбирает размер инвестиций в рекламу, 2) фирма выбирает качество продукта (оказываемой услуги).

В работе [11] различают две ситуации – когда «рыночная» цена фиксирована (например, соответствующим государственным регулятором), а конкуренция идет только за счет различий в качестве услуг, и когда оба параметра (и цена, и качество услуг каждой медицинской организации (МО)) влияют, в том числе, на рыночный спрос на медицинские услуги.

Теоретические модели определения объемов (число коек) и цен услуг для трех видов больниц: некоммерческой, коммерческой в условиях монополистической конкуренции и коммерче-

ской больницы монополиста, построены и исследованы, например, в [1].

Настоящая статья является попыткой построить «эмпирический мост» между теорией управления организационными системами [6] и экономикой здравоохранения в рамках программы исследований, намеченной в [5].

Стоит отметить, что в [3] уже строились и исследовались модели мотивационного управления для оптимизации процессов взаимодействия МО и работающего в ней персонала, а в [4] – для одной МО, функционирующего на территориальном рынке, строилась и исследовалась модель принятия им решений о цене и качестве предоставляемых медуслуг с учетом внутренних механизмов экономической мотивации его сотрудников. Кроме того, в [2] была проведена идентификация предложенных в [4] моделей конкуренции по цене и качеству услуг на примере вузов.

Структура изложения материала настоящей работы следующая. Сначала представлен анализ исходных данных о рынке стоматологических услуг в городе Волгограде, также приведена описательная статистика и выявлены некоторые зависимости между рассматриваемыми показателями функционирования МО. Далее приведены используемые модели зависимости показателей функционирования МО от цены и качества и, соответственно, представлены результаты моделирования.

2. Исходные данные

Для верификации математических моделей и анализа конкретной территориальной системы здравоохранения была собрана и обработана информация о рынке стоматологических услуг в городе Волгограде.

МО, оказывающие стоматологические услуги, включают в себя:

- сеть из 10 государственных стоматологических поликлиник (СП), в которых осуществляется прием взрослого населения города (см. рис. 1, на котором указано их местоположение и номера), в том числе, и коммерческие услуги;

– сеть негосударственных стоматологических поликлиник и кабинетов, оказывающих соответственно только коммерческие услуги.

– несколько учреждений ведомственной принадлежности, объем стоматологических услуг которых не превышает 2 % от общего объема в городе Волгограде.

С учетом оценочных данных о количестве стоматологических негосударственных учреждений в городе можно предположительно представить долю государственного и негосударственного сектора по районам следующим образом (табл. 1).

Таблица 1. Доля объема стоматологической помощи, оказываемой государственными и негосударственными стоматологическими поликлиниками в г. Волгограде

Район	СП	Объем услуг, %	
		в государственных СП	в негосударственных СП
Тракторозаводский	3, 4	75	25
Краснооктябрьский	6, 7	70	30
Центральный	1	65	35
Дзержинский	8	70	30
Ворошиловский	9	70	30
Советский	10	80	20
Кировский	11	85	15
Красноармейский	12	75	25



Рис. 1. Расположение государственных стоматологических поликлиник (1, 3, 4, 6-12) в г. Волгограде. Жирной линией показаны основные транспортные магистрали. Серым фоном (вдоль реки) выделена зона жилой застройки; неосвоенные, малонаселенные территории и промышленные зоны заштрихованы.

Ниже анализируется функционирование сети государственных СП, условно перенумерованных от 1 до 10 (используемая произвольная нумерация – СП₁, ..., СП₁₀ – в целях анонимизации не соответствует номерам реальных СП).

Исходные данные для каждой СП_{*i*} ($i = \overline{1,10}$) включали следующие первичные показатели:

– число посещений (в год, чел.) – N_i , в том числе – коммерческие услуги (в год, чел.) – M_i , в том числе – число повторных посещений (в год, чел.) – K_i ;

– объем оказанных услуг в условных единицах трудоемкости (УЕТ) в год – UET_i , в т.ч. – коммерческие услуги – $KUET_i$;

– средний объем услуг, оказываемых одним врачом за рабочий день (УЕТ), – uet_i ;

– площадь помещения поликлиники (m^2) – S_i ;

– число врачей (чел.) – n_i ;

– доля врачей высшей категории – ρ_i ;

– спрос «географический» (чел.) – A_i^g , определялся исходя из территориального распределения населения г. Волгограда (табл. 2.) и местоположений поликлиник (рис. 1), при этом считалось, что житель обращается в ближайшую к его месту проживания⁶ поликлинику (табл. 3);

– спрос «административный» (чел.) – A_i^a , определялся исходя из той же информации, но считалось, что житель обращается в поликлинику, находящуюся в административном районе его проживания;

– спрос «плановый» (чел.) – A_i^p , определялся исходя из гипотезы, что плановая численность врачей в СП пропорциональна потенциальному спросу на стоматологические услуги (т.е.

⁶ Так как город Волгоград существенно «вытянут» вдоль реки Волги, то в первом приближении предлагается считать, что население равномерно распределено на каждом отрезке кривой, соответствующей основной транспортной магистрали, идущей вдоль реки Волги. Конечно, учет второго измерения и неоднородности локальных плотностей проживания и мест работы населения, возможно, позволит строить более точные модели.

норматив на одного врача одинаков) и наоборот⁷; если эта гипотеза справедлива, то можно предположить, что неоднородность фактической нагрузки на врачей обусловлена зависимостью спроса от цен и качества медуслуг;

– спрос «расчетный» (чел.) – A_i^r , определялся исходя из той же информации, что и «административный», но учитывает оценочные данные о доле государственных СП в г. Волгограде.

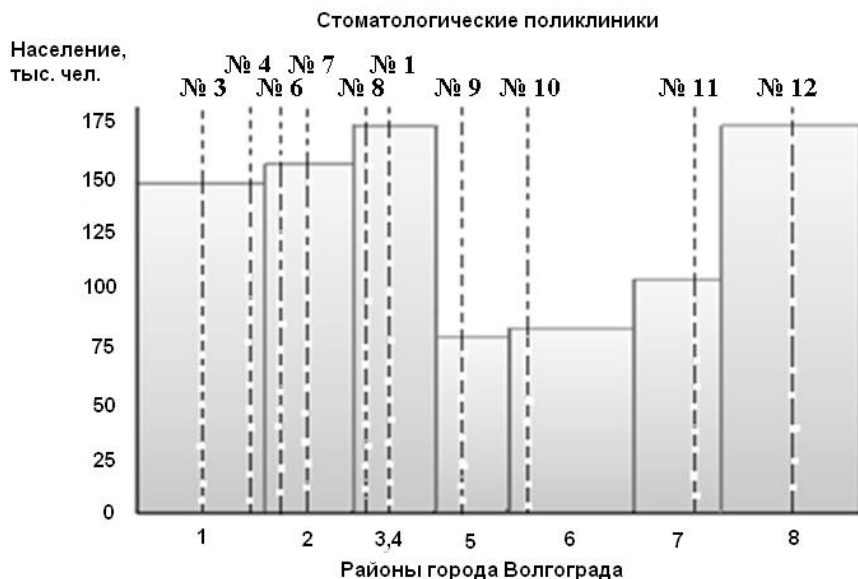


Рис. 2. «Географический» спрос на стоматологические услуги

⁷ Можно также считать, что при однозначно одинаковой заболеваемости, нуждаемости и обращаемости в масштабах одного крупного промышленного города потенциальный спрос идентичен плановой размерности самой поликлиники (т.е. плановому числу посещений и УЕТ за смену), которые, в свою очередь, планируются числом ставок. Таким образом, потенциальный спрос может быть пропорционален числу врачей в СП. В рассматриваемых поликлиниках всего 438 врачей-стоматологов на потребности населения $\approx 993\,200$ человек, тогда на одного врача приходится $\approx 2\,268$ человек. Величина расчетного «планового» спроса для каждой СП также представлена в табл. 3.

Таблица 2. «Географический» спрос на стоматологические услуги по районам г. Волгограда

№	Районы г. Волгограда	Население, тыс. чел.	Доля, %	Протяженность (условная)
1	Тракторозаводский	145,6	14,66	20
2	Краснооктябрьский	154,3	15,54	13
3	Дзержинский	171,1	17,23	12
4	Центральный	88,8	8,94	8
5	Ворошиловский	77,6	7,81	11
6	Советский	81,3	8,19	19
7	Кировский	103,1	10,38	13
8	Красноармейский	171,4	17,26	21
ИТОГО		993,2	100	117

Таблица 3. Спрос на стоматологические услуги г. Волгограда, рассчитанный различными способами

СП_i	Потенциальный спрос, тыс. чел.			
	«географ.»	«админ.»	«план.»	«расчет.»
1	155,94	88,8	106,6	57,72
2	101,92	72,8	77,1	54,6
3	43,68	72,8	72,5	54,6
4	30,86	77,15	68,0	54,01
5	77,15	77,15	111,1	54,01
6	98,27	171,1	124,7	119,77
7	114,06	77,6	127,0	54,32
8	80,56	81,3	115,6	65,04
9	145,07	103,1	54,4	87,64
10	145,69	171,4	136,0	128,55
Итого	993,2	993,2	993,2	730,2

Оценка «цены» медуслуг формировалась следующим образом. Для каждой из СП использовалась информация о ценах на следующие достаточно распространенные стоматологические услуги:

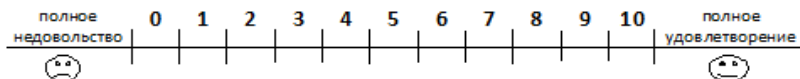
- врачебный прием стоматологический первичный;
- избирательное пришлифовывание одного зуба;
- проведение анестезии препаратом Ультракаин (одна инъекция);
- пластика уздечки;
- лечение пульпита ампутационным методом без наложения пломбы;
- распломбирование одного корневого канала (пломбированного резорцин-формалиновой пастой);
- удаление зуба простое.

Анализ этих данных методом главных компонент позволил сформировать для каждой СП скалярный показатель (являющийся линейной сверткой (с одинаковыми для всех СП коэффициентами) семи цен), отражающий более 90 % вариации цен. Этот показатель в дальнейшем использовался как «цена» услуг.

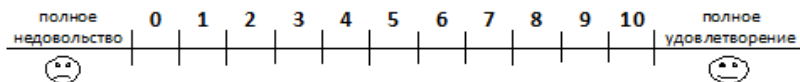
Для оценки качества оказываемых стоматологических услуг был проведен опрос (см. анкету на Рис. 3) среди 12 экспертов (преподавателей профильных кафедр в Волгоградском государственном медицинском университете, сотрудников областных органов управления здравоохранением) и 58 сотрудников анализируемых СП (не менее 5 врачей из каждой СП).

Отметьте, пожалуйста, на шкале место, соответствующее Вашему удовлетворению от перечисленных ниже факторов, характеризующих условия труда в поликлинике:

1. Материально-техническая база (оборудование, инструменты, материалы)



2. Уровень заработка



3. Загруженность работой

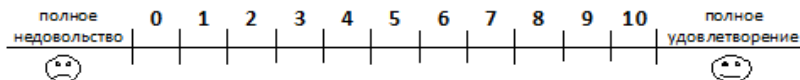


Рис. 3. Анкета, использованная при проведении опроса

В качестве агрегированной оценки по каждому из трех показателей использовалась медиана Кемени (следует отметить, что последняя почти совпала со средними значениями) неполных векторов оценок респондентов.

Далее, методом главных компонент для каждой СП был найден скалярный показатель (являющийся линейной сверткой (с одинаковыми для всех СП коэффициентами) оценок по трем критериям), отражающий более 90 % вариации оценок респондентов. Этот показатель в дальнейшем использовался как «*качество*» услуг, причем отдельно были рассчитаны показатели качества по ответам экспертов и по оценкам сотрудников СП.

3. Описательная статистика и анализ зависимостей

Для анализа были выбраны следующие шесть показателей:

- число посещений (всего);
- число оказанных коммерческих услуг;

- объем оказанных услуг в условных единицах трудоемкости;
- объем оказанных коммерческих услуг в условных единицах трудоемкости;
- условные единицы трудоемкости в день на одного врача»;
- доля повторных посещений».

Из рисунков 4-10 видно, что рассматриваемые поликлиники достаточно сильно различаются по своим показателям.

Из табл. 4 видно, что коэффициенты линейной корреляции между первичными показателями не очень высоки.

Таблица 4. Коэффициенты линейной корреляции между первичными показателями

	Спрос «Расчет.»	Спрос "План."	Спрос "Географ."	Спрос "Админ."	Качество (экспер- ты)	Качество (сотрудни- ки)	Цена	Число посеще- ний (Всего)	Число повторных посещений	Число оказанных коммерче- ских услуг	Доля повтор- ных посе- щений	УЕТ (всего)	Ком- мерче- ские УЕТ	УЕТ в день на одного врача	Площадь помеще- ния (кв. м.)	Число врачей (всего)	Доля врачей высшей катего- рии
Спрос «Расчет.»	1,00																
Спрос "План."	0,41	1,00															
Спрос "Географ."	0,44	0,31	1,00														
Спрос "Админ."	0,98	0,50	0,42	1,00													
Качество (эксперты)	0,42	0,17	-0,18	0,45	1,00												
Качество (сотрудники)	-0,44	-0,11	-0,24	-0,53	-0,24	1,00											
ЦЕНА	-0,07	-0,15	0,55	-0,03	-0,49	-0,51	1,00										
Число посещений (Всего)	0,59	0,73	0,45	0,61	0,17	0,13	-0,13	1,00									
Число повторных посещений	0,69	0,70	0,60	0,70	-0,28	0,00	-0,01	0,96	1,00								
Число оказанных коммерческих услуг	0,29	0,46	0,43	0,32	-0,25	-0,19	0,51	0,58	0,57	1,00							
Доля повторных посещений	0,30	-0,14	0,50	0,29	-0,28	-0,40	0,43	-0,13	0,15	0,07	1,00						
УЕТ (всего)	0,56	0,83	0,42	0,58	0,17	0,16	-0,28	0,94	0,93	0,42	-0,05	1,00					
Коммерческие УЕТ	-0,17	0,61	0,13	-0,18	-0,26	0,52	-0,22	0,48	0,38	0,41	-0,27	0,60	1,00				
УЕТ в день на одного врача	0,09	-0,32	-0,40	0,02	0,58	0,24	-0,70	-0,27	-0,27	-0,58	0,03	-0,16	-0,19	1,00			
Площадь помещения (кв. м.)	-0,01	0,61	0,63	0,06	-0,44	-0,17	0,57	0,38	0,41	0,57	0,05	0,39	0,48	-0,83	1,00		
Число врачей (всего)	0,41	1,00	0,31	0,50	0,17	-0,11	-0,15	0,73	0,70	0,46	-0,14	0,83	0,61	-0,32	0,61	1,00	
Доля врачей высшей категории	-0,77	0,02	-0,28	-0,67	-0,38	0,17	0,23	-0,18	-0,29	0,03	-0,39	-0,18	0,26	-0,55	0,39	0,02	1,00

По шести выбранным для анализа показателям были найдены их средние значения и соответствующие средние относительные ошибки – d_{cp} (средние относительных отклонений фактических значений от среднего). Отметим, что среднее значение может использоваться в качестве нулевого приближения соответствующего изучаемого показателя, а соответствующую ему «ошибку» целесообразно сравнивать с ошибками, которые дает та или иная модель.

Среднее число посещений (всего) 51 592 дает среднюю относительную ошибку 27,05 % аппроксимации этого показателя (см. Рис. 4).

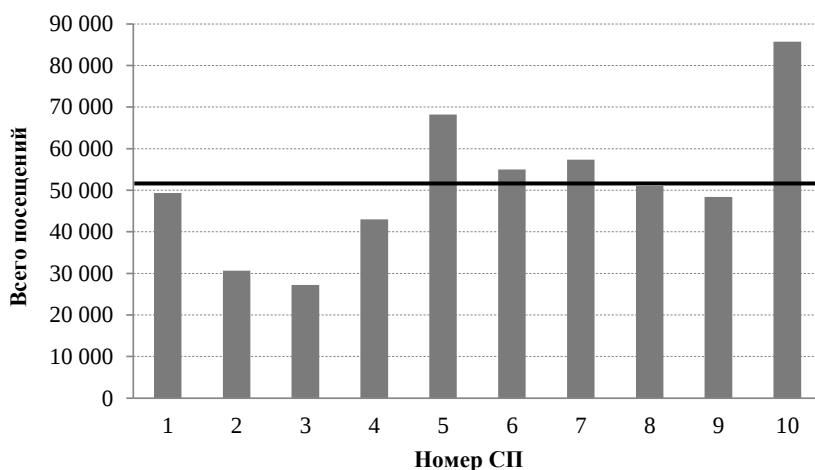


Рис. 4. Число посещений (всего)

Среднее число оказанных коммерческих услуг 1 334 дает среднюю относительную ошибку 113,55 % аппроксимации этого показателя (см. Рис. 5).

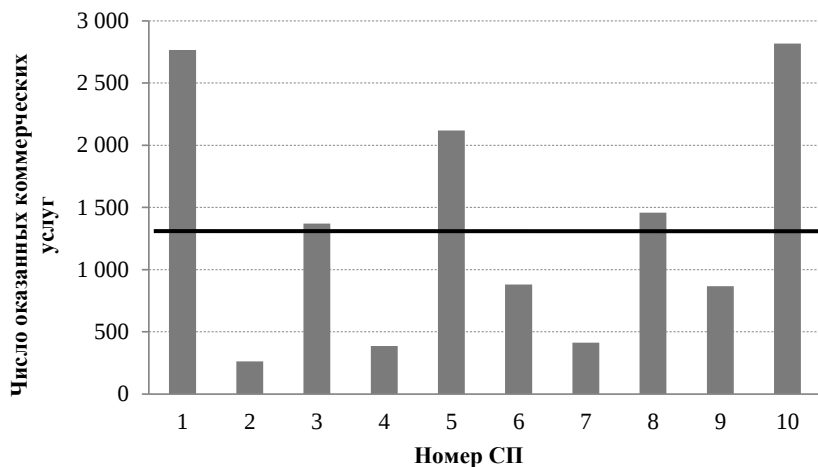


Рис. 5. Число оказанных коммерческих услуг населению

Среднее число оказанных услуг в условных единицах трудоемкости (УЕТ, всего) 201 733 дает среднюю относительную ошибку 25,35 % аппроксимации этого показателя (см. Рис. 6).

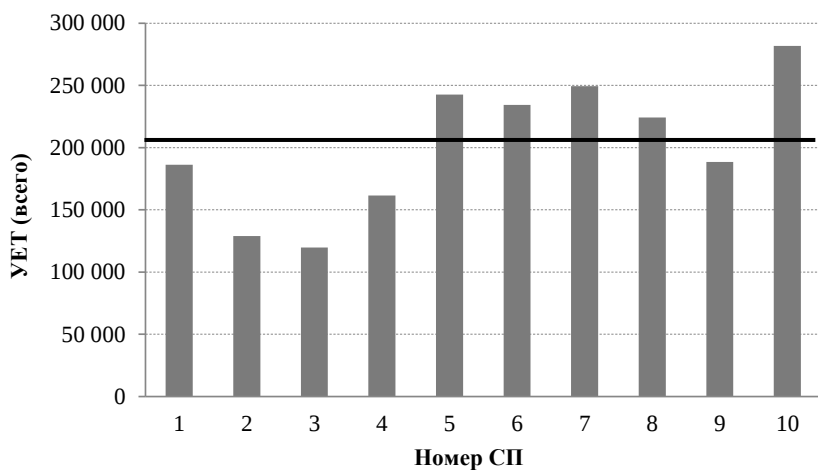


Рис. 6. Объем оказанных услуг в УЕТ (всего)

Среднее число оказанных коммерческих услуг в УЕТ 9 435 дает среднюю относительную ошибку 92,67 % аппроксимации этого показателя (см. Рис. 7).

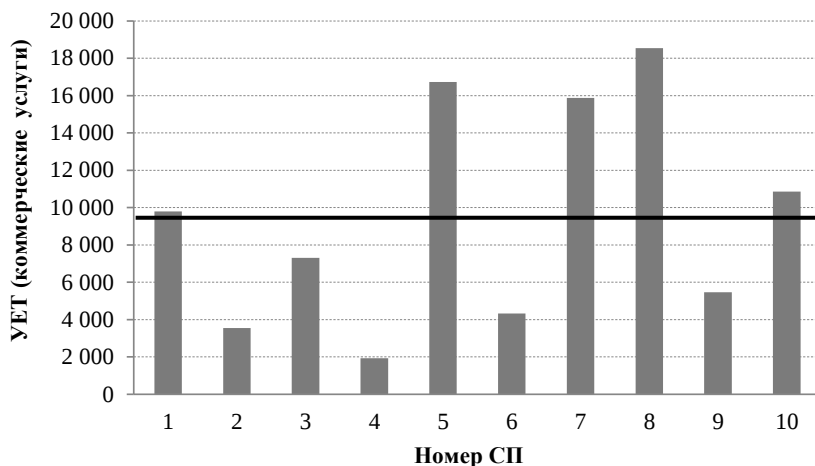


Рис. 7. Объем оказанных коммерческих услуг в УЕТ

Среднее число УЕТ на одного врача в день 32,3 дает среднюю относительную ошибку 7,82 % аппроксимации этого показателя (см. Рис. 8).

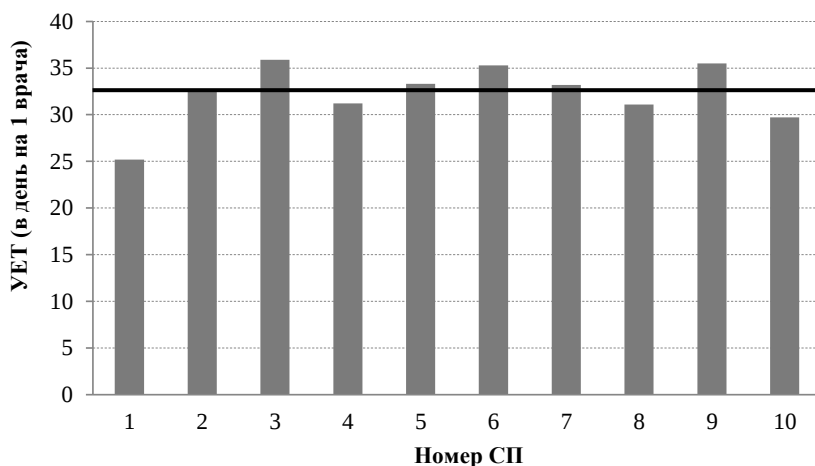


Рис. 8. УЕТ на одного врача в день

Средняя доля повторных посещений 0,625 дает среднюю относительную ошибку 7,68 % аппроксимации этого показателя (см. Рис. 9).

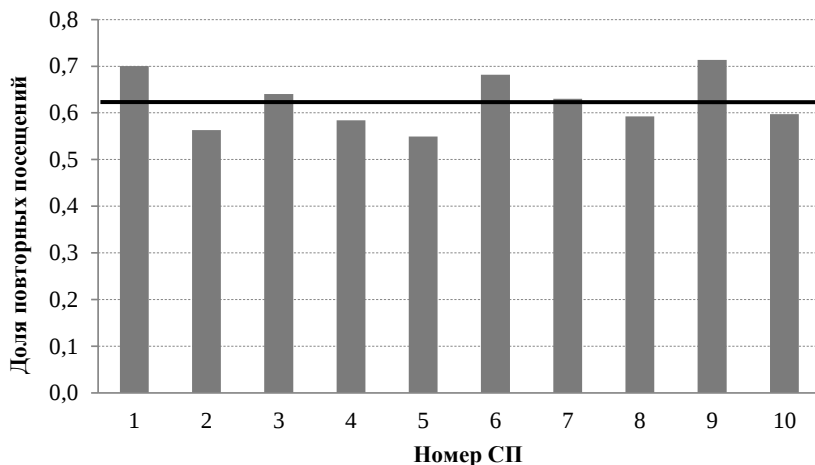


Рис. 9. Доля повторных посещений

Величина «нагрузки» на одного врача (число посещений на одного врача) в рассматриваемых поликлиниках колеблется от 0,85 до 2,02 (более, чем в два раза) – см. Табл. 5 и Рис. 10 (см. выше гипотезу о наличии «планового» спроса).

Таблица 5. Число посещений на одного врача

№	Число посещений (всего), тыс. чел.	Число врачей (всего)	На 1 врача приходится, тыс. чел.
1	49,35	47	1,05
2	30,69	34	0,90
3	27,20	32	0,85
4	43,01	30	1,43
5	68,18	49	1,39

6	55,02	55	1,00
7	57,37	56	1,02
8	51,03	51	1,00
9	48,36	24	2,02
10	85,71	60	1,43

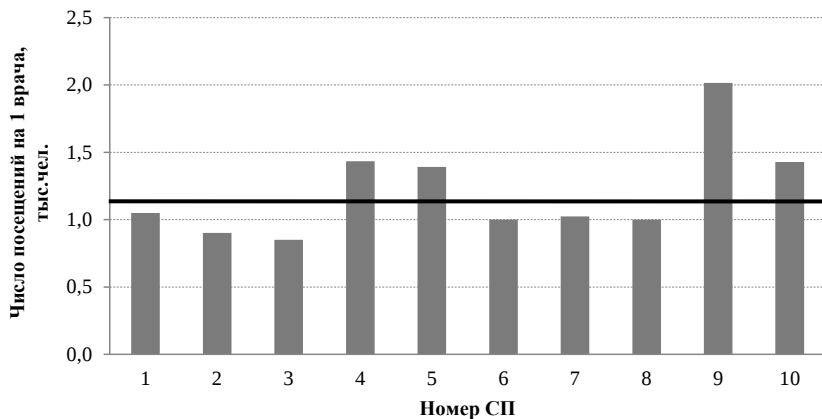
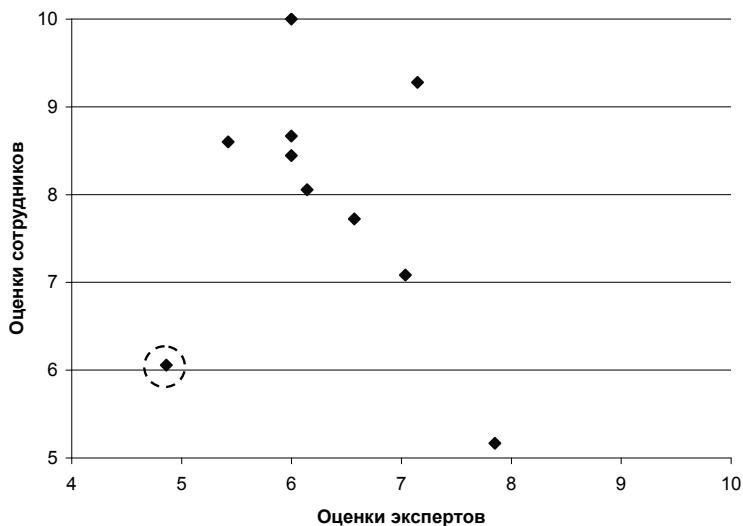


Рис. 10. Число посещений на одного врача

Интересно, что за редким исключением (одна СП, соответствующая ей точка обведена пунктирной линией) оценки качества, данные экспертами, и оценки сотрудников были «противоположными» (статистически значимая отрицательная линейная корреляция более 0,7), то есть «взгляд со стороны» и «взгляд изнутри» на функционирование СП существенно различны (см. Рис. 11).



*Рис. 11. Агрегированные оценки качества
(мнение экспертов vs мнения сотрудников)*

Рассмотрим соотношение цены и качества. На Рис. 12 приведено соотношение между агрегированными оценками цены и качества, оцененного экспертами. Видно, что одна СП (причем, то же, что и на Рис. 11) является «выбросом».

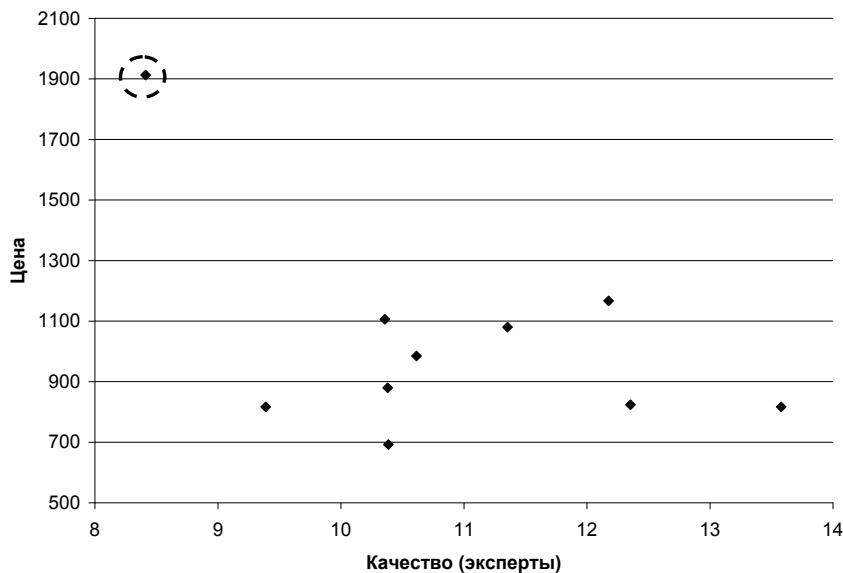


Рис. 12. Цена и качество (мнение экспертов)

Исследуем, являются ли «цена» и «качество» оказываемых стоматологических услуг существенными характеристиками, то есть оказывающими значительное влияние на другие показатели функционирования стоматологических поликлиник. Можно ли на их основании прогнозировать значения последних, например, величины или доли спроса на коммерческие услуги и др.

4. Модели зависимости показателей функционирования МО от цены и качества

Для моделирования зависимости шести рассматриваемых показателей X от качества и цены (подбирались значения параметров a , ε , β и p , минимизирующие расхождение между реальными и прогнозными данными) рассматривались следующие модели (см. таблицы 6-8) [4]:

$$(1) X_i = A_i \left(a + \varepsilon \frac{(Q_i)^\beta}{\sum_{j \in N} (Q_j)^\beta} + p \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i \right) \right),$$

$$(2) X_i = A_i \left(\varepsilon \frac{(Q_i)^\beta}{\sum_{j \in N} (Q_j)^\beta} + p \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i \right) \right),$$

$$(3) X_i = A_i (a + \varepsilon Q_i - p \lambda_i),$$

$$(4) X_i = a + \varepsilon \frac{(Q_i)^\beta}{\sum_{j \in N} (Q_j)^\beta} + p \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i \right),$$

$$(5) X_i = a + \varepsilon \frac{(Q_i)^2}{\sum_{j \in N} (Q_j)^2} + p \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i \right),$$

где:

- A_i – территориальный («административный», «географический», «плановый» или «расчетный») спрос на стоматологические услуги в i -й СП;

- a – коэффициент (например, при оценке величины M_i условно отражающий «среднюю» долю рынка коммерческих стоматологических услуг, занимаемую государственными СП);

- Q_i – качество стоматологической услуги в i -й СП;

- ε – степень конкурентности по качеству;

- $\frac{(Q_i)^\beta}{\sum_{j \in N} (Q_j)^\beta}$ – функция, отражающая «нормированное» влияние

качества;

- β – показатель степени, условно отражающий, насколько более существенно изменение качества медуслуг влияет на оцениваемый показатель по сравнению с их ценой;

- λ_i – цена стоматологической услуги в i -й СП;

- $\left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i \right)$ – доля спроса на стоматологическую услугу

(пропорционально цене);

- p – степень конкурентности по цене.

Модель (1), в которой подбираются значения параметров a , ε , β и p , учитывает численность населения рассматриваемого райо-

на г. Волгограда (параметр A_i), а также «среднюю» долю рынка коммерческих стоматологических услуг, занимаемую государственными СП (параметр a). При оценке числа посещений ($X_i = N_i$ или $X_i = M_i$), согласно модели (1), рост качества (Q_i) оказываемой в i -й МО стоматологической услуги ведет к увеличению «спроса». В данной модели также учитывается и то, какого качества стоматологическую услугу предоставляют в прочих государственных СП города (возможно, потенциальный пациент предпочтет потратить часть своего времени на то, чтобы добраться до другой СП с целью получения услуги более высокого качества). Уменьшение цены (λ_i) на рассматриваемую стоматологическую услугу, а также рост цен в прочих государственных СП г. Волгограда ($\sum_{j \neq i} \lambda_j$), также способ-

ствуют росту «спроса» на услуги данного.

Модель (2) является частным случаем модели (1) при $a = 0$ (подбираются значения параметров ε , β и p), т.е. условно можно считать, что в этой модели не учитываются функционирующие на рассматриваемой территории негосударственные СП (стоматологические кабинеты).

Модель (3) является «линеаризацией» функций, отражающих зависимость оцениваемых показателей от цены и качества (подбираются значения параметров a , ε и p). В данной модели учитываются цена и качество только i -й (рассматриваемой) СП.

Модель (4), в которой подбираются значения параметров a , ε и p , в отличие от модели (1), не учитывает в явном виде численность населения рассматриваемого района г. Волгограда (параметр A_i).

Модель (5) является частным случаем модели (4) при $\beta = 2$ (подбираются значения параметров a , ε и p). Модели (4) и (5) предназначены, скорее, для оценки относительных (например, доля повторных посещений или удельная трудоемкость и т.п.), а не «абсолютных» (например, число посещений) показателей.

5. Результаты моделирования

При моделировании зависимости исследуемого показателя от качества медуслуг (оценке экспертов или сотрудников) и их цене,

для подбора значений a , ε , β и p , минимизирующих расхождение между реальными и прогнозными данными, использовались программы Microsoft Excel 2010 (без наложения ограничений на подбираемые параметры) и Wolfram Mathematica 8.0.1 (при следующем ограничении: $a, \varepsilon, p, \beta \geq 0$). Результаты моделирования всех рассматриваемых комбинаций «Спроса», «Качества», «Показателей» и «Моделей» представлены в таблицах 6-8.

В таблицах 6-8 жирным шрифтом отмечены *«рекорды»* – минимальные (из приведенных) для рассматриваемых показателей значения «ошибки» (отклонения прогнозных данных от реальных).

Для «рекордов» в Табл. 9 представлены значения подбираемых с помощью программ Microsoft Excel 2010 (без наложения ограничений) и Wolfram Mathematica 8.0.1 (при следующем ограничении: $a, \varepsilon, p, \beta \geq 0$) параметров.

Таблица 6. Результаты моделирования

			Функция спроса						
Спрос	Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	1		2		3		dep
			d WM	d Excel	d WM	d Excel	d WM	d Excel	
"Административный"	эксперты	Число посещений (всего)	22,91	14,13	38,47	15,76	23,23	14,81	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	45,96	46,87	54,39	39,81	54,15	46,08	113,55
		УЕТ (всего)	26,33	13,39	35,67	13,41	23,30	14,57	25,35
		УЕТ (коммерческий прием)	60,44	39,69	62,90	39,67	57,02	39,71	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	27,13	22,69	31,08	23,73	38,80	22,58	7,82
		Доля повторных посещений	38,22	20,40	44,15	20,74	99,50	20,60	7,68
	сотрудники	Число посещений (всего)	14,05	12,31	15,14	15,16	22,53	15,68	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	46,17	45,97	52,63	46,01	46,41	47,55	113,55
		УЕТ (всего)	15,07	10,14	20,07	15,89	15,75	16,67	25,35
		УЕТ (коммерческий прием)	49,76	29,00	51,11	39,50	50,71	43,31	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	23,81	19,63	26,39	22,25	19,91	19,17	7,82
		Доля повторных посещений	24,12	19,58	34,69	42,43	99,29	17,85	7,68
"Географический"	эксперты	Число посещений (всего)	27,06	20,83	36,29	26,65	26,58	26,73	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	66,25	62,05	66,27	61,55	62,97	64,07	113,55
		УЕТ (всего)	29,13	18,15	34,01	23,24	26,73	24,48	25,35
		УЕТ (коммерческий прием)	45,13	34,77	54,71	34,97	44,64	39,11	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	25,84	27,40	45,63	27,38	27,69	27,24	7,82
		Доля повторных посещений	32,58	24,47	32,91	26,67	99,63	24,95	7,68
	сотрудники	Число посещений (всего)	26,63	26,57	36,34	26,50	26,61	25,84	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	62,70	61,99	67,19	62,54	63,33	62,19	113,55
		УЕТ (всего)	30,97	23,57	33,33	23,47	24,66	23,46	25,35
		УЕТ (коммерческий прием)	42,53	36,35	46,71	42,05	42,73	42,08	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	31,57	26,09	37,57	32,27	28,21	26,38	7,82
		Доля повторных посещений	24,09	22,67	42,96	35,93	99,43	23,02	7,68

Таблица 7. Результаты моделирования (продолжение)

			Функция спроса						
Спрос	Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	1		2		3		dcp
			d WM	d Excel	d WM	d Excel	d WM	d Excel	
"Планный"	эксперты	Число посещений (всего)	17,36	16,97	17,36	17,09	17,36	17,05	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	56,88	45,86	57,30	46,46	57,74	54,96	113,55
		УЕТ (всего)	17,55	11,31	17,64	11,72	13,58	11,55	25,35
		УЕТ (коммерческий прием)	50,05	39,91	53,52	41,05	50,95	39,00	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	24,80	21,84	25,19	23,91	25,43	21,80	7,82
		Доля повторных посещений	26,09	21,67	29,53	21,79	99,48	21,94	7,68
	сотрудники	Число посещений (всего)	17,16	16,83	30,29	16,83	17,36	17,03	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	56,15	52,51	58,01	53,93	60,93	55,72	113,55
		УЕТ (всего)	11,21	11,13	11,27	11,13	12,75	11,13	25,35
		УЕТ (коммерческих прием)	41,11	38,61	41,98	38,61	50,13	39,14	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	33,63	22,82	34,76	24,87	29,05	23,05	7,82
		Доля повторных посещений	22,59	21,73	40,46	21,89	22,59	21,62	7,68
"Расчетный"	эксперты	Число посещений (всего)	24,74	17,52	24,76	19,55	24,70	17,33	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	44,96	33,48	44,97	39,24	45,01	44,96	113,55
		УЕТ (всего)	21,96	15,31	21,96	15,89	24,21	18,23	25,35
		УЕТ (коммерческих прием)	53,21	37,80	64,73	39,03	54,75	40,41	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	29,21	25,38	29,31	25,41	30,09	24,29	7,82
		Доля повторных посещений	27,55	23,24	28,33	23,28	99,87	34,28	7,68
	сотрудники	Число посещений (всего)	19,42	15,29	19,65	18,65	18,78	19,00	27,05
		Число оказанных коммерческих услуг	44,97	44,93	45,05	45,03	49,40	48,22	113,55
		УЕТ (всего)	14,91	12,73	20,91	19,98	19,55	20,46	25,35
		УЕТ (коммерческий прием)	40,16	30,94	49,12	38,36	53,15	39,89	92,67
		УЕТ (в день на 1 врача)	29,10	21,91	40,18	23,79	34,05	22,88	7,82
		Доля повторных посещений	29,66	21,52	32,39	21,52	99,38	29,95	7,68

Таблица 8. Результаты моделирования (продолжение)

		Функция спроса				
Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	4		5		dcp
		d WM	d Excel	d WM	d Excel	
эксперты	Число посещений (всего)	25,55	24,27	25,55	25,55	27,05
	Число оказанных коммерческих услуг	55,20	42,20	55,20	55,20	113,55
	УЕТ (всего)	23,58	16,20	23,63	23,47	25,35
	УЕТ (коммерческий прием)	54,82	48,37	54,82	49,22	92,67
	УЕТ (в день на 1 врача)	4,46	3,89	5,52	3,95	7,82
	Доля повторных посещений	7,39	5,96	7,39	6,00	7,68
сотрудники	Число посещений (всего)	25,49	23,10	25,54	25,59	27,05
	Число оказанных коммерческих услуг	55,22	51,55	55,25	55,75	113,55
	УЕТ (всего)	23,07	21,45	23,46	23,45	25,35
	УЕТ (коммерческих прием)	54,95	41,09	55,41	50,33	92,67
	УЕТ (в день на 1 врача)	5,52	5,07	5,52	5,13	7,82
	Доля повторных посещений	7,39	5,76	7,39	6,37	7,68

Таблица 9. Значения параметров

Показатель	Спрос	Оценка качества	Функция спроса	Используемая программа	Параметры				d, %	d _{ср} , %
					a	e	b	p		
Число посещений (всего)	"Админ."	сотрудники	1	Excel	0,340	1,949	4,612	-0,00017	12,31	27,05
				WM	0,256	2,536	3,027	0,00001	14,05	
Число оказанных коммерческих услуг	"Расчет."	эксперты	1	Excel	0,006	0,061	-16,775	0,00001	33,48	113,55
			1	WM	0,006	0,005	0,000	0,00000	44,96	
Ует (всего)	"Админ."	сотрудники	1	Excel	1,500	5,119	8,607	-0,00058	10,14	25,35
	"План."			WM	0,963	9,302	0,099	0,00013	11,21	
УЕТ (коммерческий прием)	"Админ."	сотрудники	1	Excel	0,042	0,231	25,021	-0,00007	29,00	92,67
	"Расчет."			WM	0,013	0,430	0,047	0,00008	40,16	
УЕТ (в день на 1 врача)	-	сотрудники	4	Excel	32,508	-4,455	11,057	0,00743	5,07	7,82
				WM	31,779	0,005	2,000	0,00669	5,52	
Доля повторных посещений	-	сотрудники	4	Excel	1,355	-7,361	0,249	-0,00004	5,76	7,68
				WM	0,600	0,000	2,001	0,00000	7,39	

6. Анализ результатов моделирования

Остановимся на каждом из моделируемых показателей более подробно.

При моделировании показателя «Число посещений (всего)» на основе оценок качества сотрудниками и «административного» спроса, в рамках модели (1) получаем «ошибку» $d = 12,31\%$ при использовании Excel (здесь и далее для Excel – без ограничений на значения подбираемых параметров) и ошибку $d = 14,05\%$ при использовании программы Mathematica (см. Рис. 13). В целом, в рамках данной модели удастся снизить значение средней относительной ошибки $27,05\%$ аппроксимации этого показателя примерно в 2 раза.

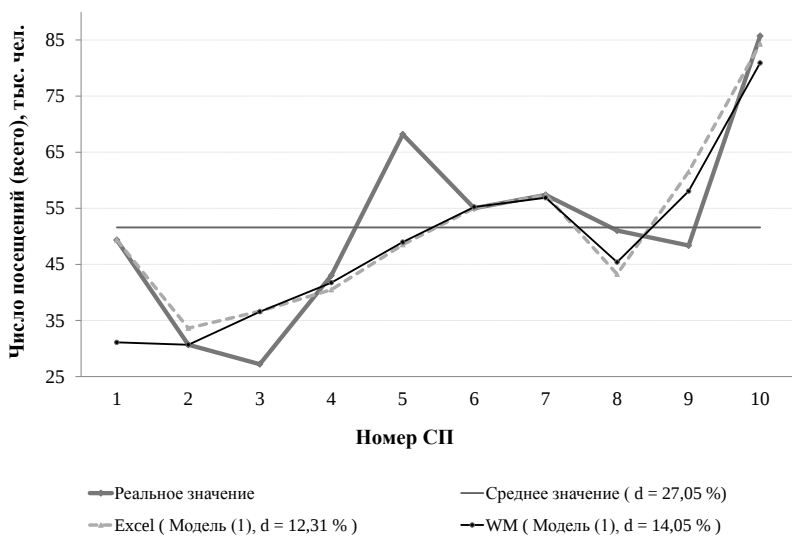


Рис. 13. Число посещений (всего)

При моделировании показателя «Число оказанных коммерческих услуг» на основе оценок качества экспертами и «расчетного» спроса, в рамках модели (1) получаем «ошибку» $d = 33,48\%$ при использовании Excel и ошибку $d = 44,96\%$ при использовании программы Mathematica (см. Рис. 14). В целом, в рамках моделей удастся снизить значение средней относительной ошибки аппроксимации этого показателя примерно в 2,5 раза.

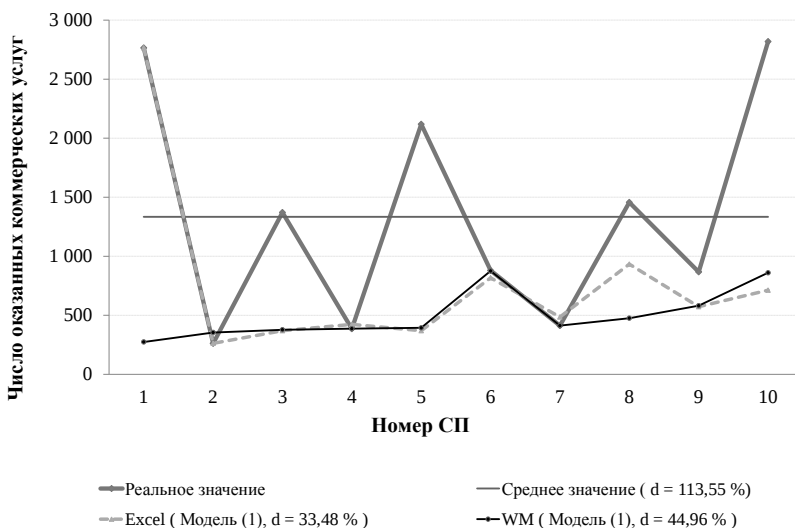


Рис. 14. Число оказанных коммерческих услуг

При моделировании показателя «*VET (всего)*» на основе оценок качества сотрудниками в рамках модели (1) получаем «ошибку» $d = 10,14\%$ («административный» спрос) при использовании Excel и ошибку $d = 11,21\%$ («плановый» спрос) при использовании программы Mathematica 8.0.1 (см. Рис. 15). В целом, в рамках данной модели удастся снизить значение средней относительной ошибки аппроксимации этого показателя примерно в два раза.

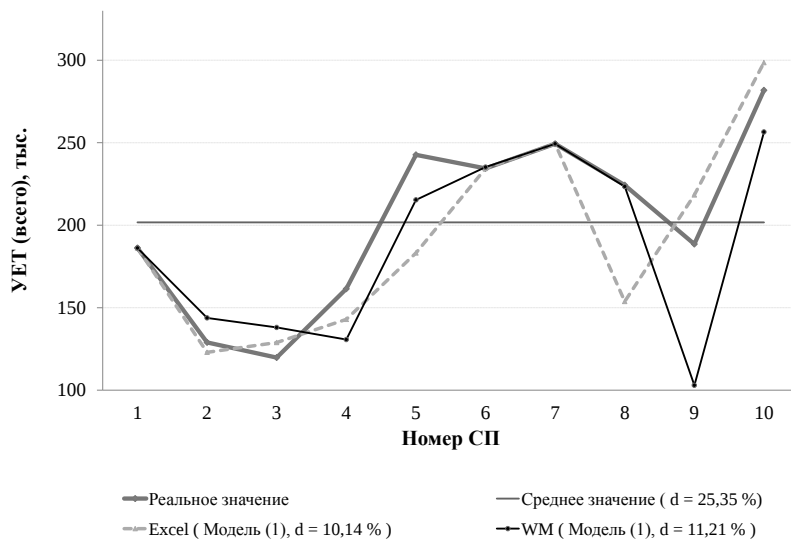


Рис. 15. *UET (всего)*

При моделировании показателя «*UET (коммерческий прием)*» на основе оценок качества сотрудниками получаем «ошибку» $d = 29\%$ («административный» спрос, модель (1)) при использовании Excel, и в рамках этой же модели на основе «расчетного» спроса получаем ошибку $d = 40,16\%$ при использовании программы Mathematica (см. Рис. 16). В целом, в рамках данной модели удается снизить значение средней относительной ошибки аппроксимации этого показателя более чем в 2 раза.

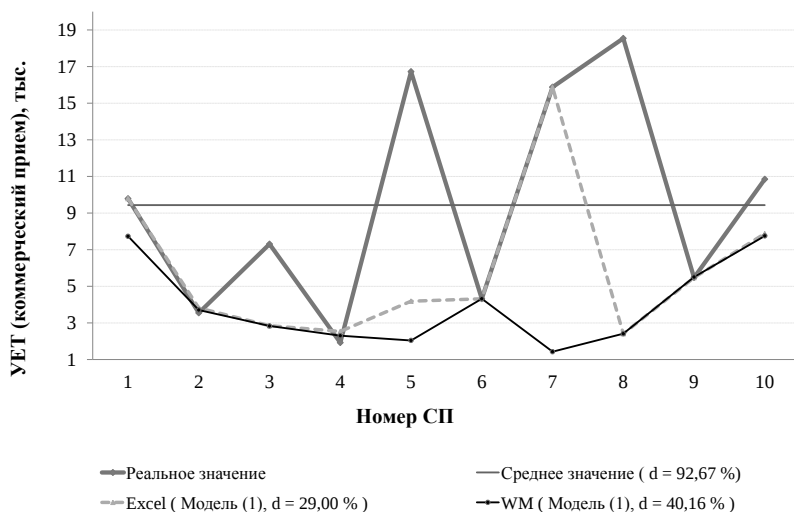


Рис. 16. УЕТ (коммерческий прием)

При моделировании показателя «УЕТ (в день на 1 врача)» на основе оценок качества сотрудниками, в рамках модели (4) получаем «ошибку» $d = 5,07\%$ при использовании Excel и ошибку $d = 5,52\%$ при использовании Mathematica (см. Рис. 17). В целом, в рамках данной модели удастся снизить значение средней относительной ошибки аппроксимации этого показателя примерно в 1,5 раза.

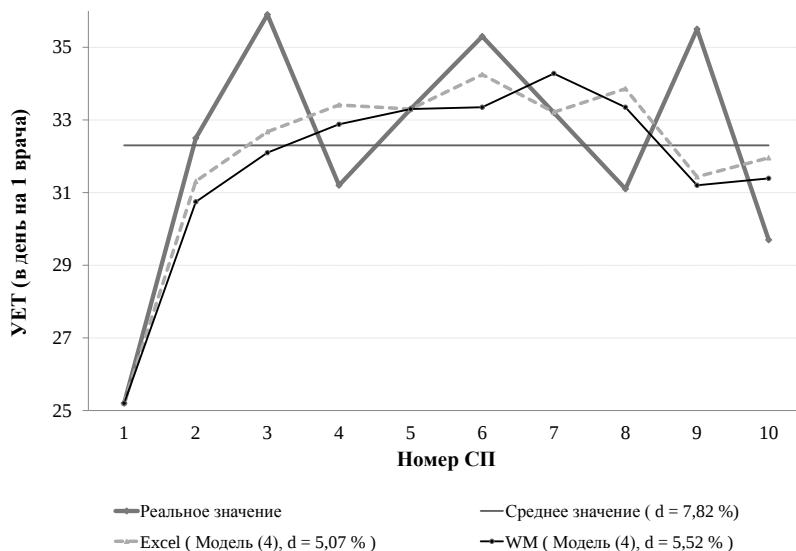


Рис. 17. YET (в день на 1 врача)

При моделировании показателя «Доля повторных посещений» на основе оценок качества сотрудниками, в рамках модели (4) получаем «ошибку» $d = 5,76 \%$ при использовании Excel и ошибку $d = 7,39 \%$ при использовании программы Mathematica (см. Рис. 18). В целом, в рамках данной модели удастся несколько снизить значение средней относительной ошибки аппроксимации этого показателя.

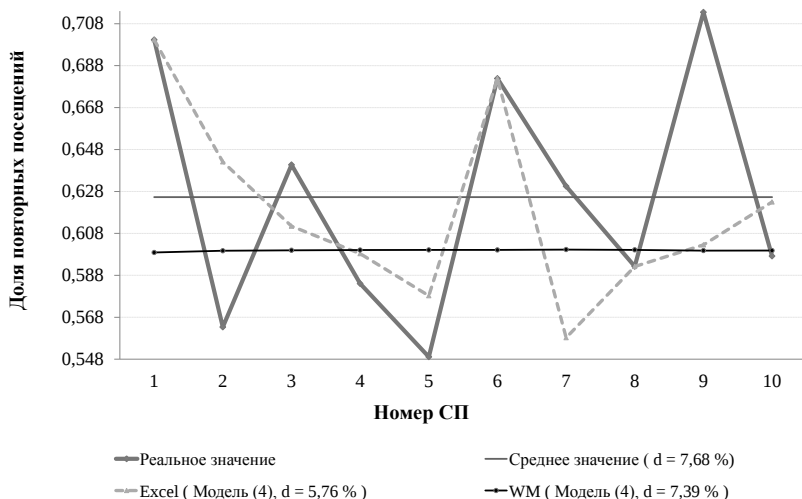


Рис. 18. Доля повторных посещений

Проведем сравнение моделей (1)-(3) на примере показателя «Число посещений (всего)» (см. Рис. 19). При моделировании рассматриваемого показателя на основе оценок качества сотрудниками, «административного» спроса и цен, при использовании программы Mathematica 8.0.1 на основе модели (1) получаем «ошибку» $d = 14,05 \%$, на модели (2) – ошибку $d = 15,14 \%$, на основе модели (3) – ошибку $d = 22,53 \%$, что наглядно иллюстрирует размер «погрешности», вызванной «линеаризацией».

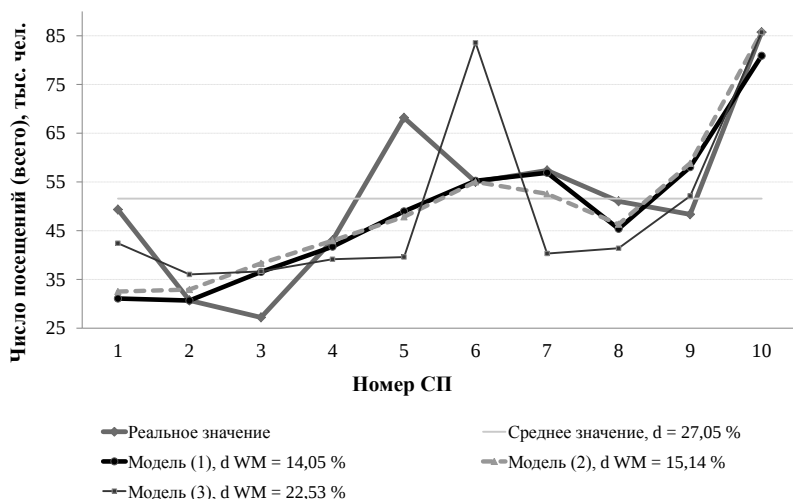


Рис. 19. Число посещений (всего)

До сих пор, при анализе моделей (1)-(5), в которых фигурировали три или четыре параметра (a , ε , β и p), считалось, что эти параметры одинаковы для всех МО и ищались значения этих параметров, минимизирующих отклонение прогнозных от фактических значений в десяти точках (поскольку в модели взято 10 МО). Рассмотрим теперь две модели, в которых фигурирует всего один параметр, но значения этого параметра «индивидуальны» для каждой МО. «Ошибка» при этом будет, естественно, близка к нулю, т.к. десять параметров оцениваются по десяти точкам.

При моделировании показателя «Число оказанных коммерческих услуг», используя следующую модель спроса:

$$(6) \quad X_i = A_i (Q_i - p_i \lambda_i),$$

т.е. подбирая индивидуальные для каждой МО значения параметра p_i (на основе оценок качества сотрудниками, «административного» спроса и цен) получаем значения параметров $\{p_i\}$, представленные в Табл. 10. Отметим, что в модели (6) считается, что спрос на услуги некоторой МО зависит только от цены и качества его услуг и не зависит от соответствующих характеристик других МО.

Таблица 10. Значения параметров $\{p_i\}$ в модели (6)

СП _i	p_i
-----------------	-------

1	0,0054
2	0,0105
3	0,0141
4	0,0166
5	0,0195
6	0,0109
7	0,0251
8	0,0182
9	0,0136
10	0,0124

Отметим, что все найденные значения положительны, то есть для каждой СП в рамках модели (6) рост цены приводит к снижению спроса на коммерческие стоматологические услуги.

На Рис. 20 представлено сопоставление полученных значений подбираемых параметров p (левая ось) и «цен» услуг СП (правая ось).

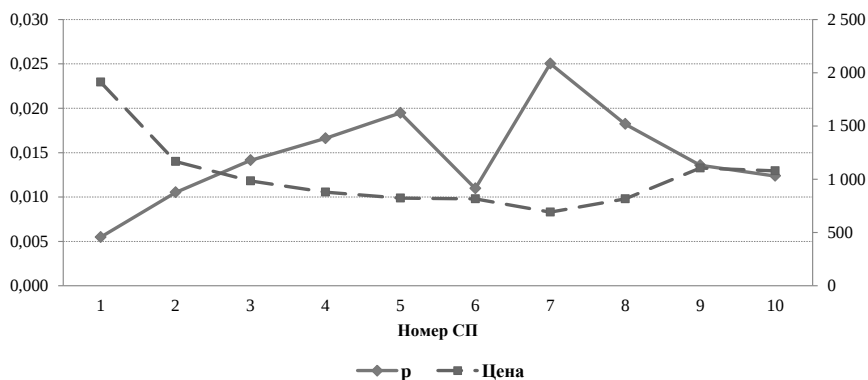


Рис. 20. Значение подбираемых параметров p и «цен» услуг СП в модели (6)

Рассмотрим несколько более сложную модель, в которой спрос на услуги некоторой СП зависит от цен и качества услуг всех СП. При моделировании показателя «Число оказанных коммерческих услуг», используя следующую модель спроса:

$$(7) X_i = A_i \left(\frac{(Q_i)^2}{\sum_{j \in N} (Q_j)^2} + p_i \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i \right) \right),$$

т.е. подбирая индивидуальные для каждой СП значения параметра p_i (на основе оценок качества сотрудниками, «административного» спроса и цен) получаем значения параметров $\{p_i\}$, представленные в Табл. 11. В этой таблице также представлены значения «относительных цен» услуг СП ($\lambda_{i,cr} = \bar{\lambda}_i - \lambda_i$, где $\bar{\lambda}_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j$).

Таблица 11. Значения параметров $\{p_i\}$ и «относительных» цен в модели {7}

СП _i	p_i	$\lambda_{i,cr}$
1	0,00003	-983
2	0,00048	-155
3	-0,00171	48
4	-0,00064	164
5	-0,00047	227
6	-0,00015	235
7	-0,00040	373
8	-0,00041	235
9	0,00125	-87
10	0,00132	-58

На Рис. 21 представлено сопоставление полученных значений подбираемых параметров $\{p_i\}$ (левая ось) и «относительных цен» услуг СП (λ_{cr}) (правая ось).

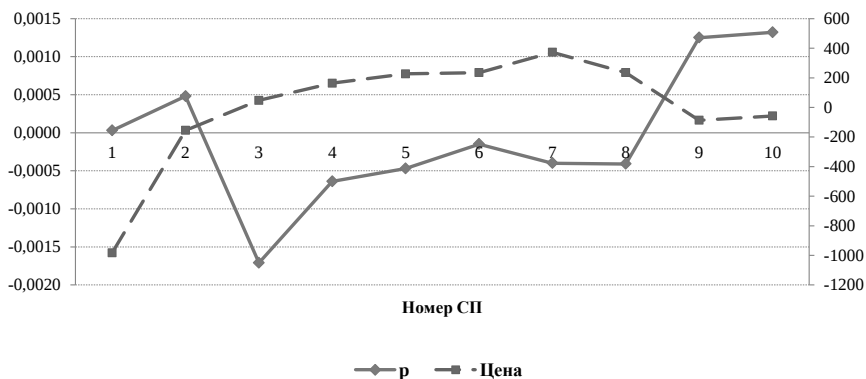


Рис. 21. Значение подбираемых параметров $\{p_i\}$ и «средних цен» услуг СП в модели (7)

Следует отметить, что:

– если $\lambda_i \geq \bar{\lambda}_i$, то $p_i \geq 0$, и $p_i (\bar{\lambda}_i - \lambda_i) \leq 0$,

– если $\lambda_i \leq \bar{\lambda}_i$, то $p_i \leq 0$, и $p_i (\bar{\lambda}_i - \lambda_i) \leq 0$.

Видно, что в обоих рассмотренных случаях с ростом цены услуги i -й СП (λ_i) «спрос» на эти услуги (X_i) уменьшается.

7. Заключение

Рассмотренные в настоящей работе модели зависимости показателей функционирования МО от цены и качества оказываемых ими медицинских услуг позволяют с удовлетворительными (по сравнению с «усредненным» описанием) погрешностями, во-первых, анализировать влияние цены и качества на рассматриваемые параметры, в т.ч. отчасти объяснять географическую дифференциацию спроса и предложения медуслуг. Во-вторых – прогнозировать возможную реакцию территориального рынка медуслуг на изменения цен и качества в тех или иных МО. В-третьих, ставить и решать на их основе задачи «управления», находящиеся в ведении различных субъектов, в т.ч.:

- планирования развития сети стоматологических учреждений города в условиях частно-государственного партнерства на ближайшую перспективу в связи с фактическими и планируемыми объемами массового строительства;

- кадровое планирование и подготовка кадров;
- планирование закупок оборудования и расходных материалов;
- планирование ассортимента услуг и формирование ценовой политики;
- разработки системы поощрения труда в конкретных МО;
- выработки и совершенствовании стратегии взаимодействия государственных и негосударственных МО (например в рамках отделений ассоциации стоматологов России);
- выработки предложений бизнес-сообществу программ оптимизации медуслуг в регионе (например, при развитии территорий, строительстве крупных офисных и торгово-развлекательных центров);
- при выработке информационной политики (воспитание спроса), в том числе по противодействию агрессивной политике навязывания неадекватных услуг.

Литература

1. КОЛОСНИЦЫНА М.Г., ШЕЙМАН И.М., ШИШКИН С.В. Экономика здравоохранения. – М.: Издательский дом ГУ-ВШЭ, 2009. – 479 с.
2. МИРЗОЯН Г.Л. Идентификация модели конкуренции в сфере услуг на примере ВУЗов / Труды 56-й научной конференции МФТИ. – М. : МФТИ, 2013. – С. 106 – 107.
3. МИРЗОЯН Г.Л. Модели мотивационного управления в лечебно-профилактическом учреждении // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – № 1.1(51). – С. 207 – 210.
4. МИРЗОЯН Г.Л. Модель поведения лечебно-профилактического учреждения на территориальном рынке медицинских услуг // Управление большими системами. Выпуск 45. М.: ИПУ РАН, 2013. – С. 330 - 343.
5. МИРЗОЯН Г.Л. Модель территориальной системы здравоохранения и классификация задач управления / Труды международной конференции по проблемам управления. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – С. 172 – 174.
6. НОВИКОВ Д.А. Теория управления организационными системами. – 3-е изд. испр. и дополн. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.

7. ШИШКИН С.В. и др. Российское здравоохранение: мотивация врачей и общественная доступность. – М.: Независимый институт социальной политики, 2008. – 288 с.
8. ЩЕПИН О.П., МЕДИК В.А. Общественное здоровье и здравоохранение: учебник. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 592 с.
9. BREKKE K., SICILIANI L., STRAUME O. Hospital Competition and Quality with Regulated Prices. Cesifo Working Paper Series 2635. – Munich: cesifo Group, 2009. – 19 p.
10. DORFMAN R., STEINER P. Optimal Advertising and Optimal Quality // American Economic Review. 1954. – Vol. 44. – № 5. – P. 826 – 836.
11. GAYNOR M., TOWN R. Competition in Health Care Markets. Working Paper № 12/282. – Bristol: University of Bristol, 2012. – 153 p.
12. Handbook of Health Economics. Vol. 2. – Amsterdam: Elsevier, 2012. – 1126 p.

MATHEMATICAL MODELS FOR HEALTHCARE DEMAND ON THE TERRITORIAL HEALTHCARE MARKET (by the example of dental services)

Sergey Gatsenko, stomatological polyclinic #8, Volgograd, Cand. Sc. (medic.) (dantist8@mail.ru).

Gagik Mirzoyan, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, post-graduate student (mirzoyan1@yandex.ru).

Valeriy Novochadov, Volgograd State University, Volgograd, Dr. Sc. (medic.) (novovv@rambler.ru).

Viktor Shemonaev, Volgograd State Medical University, Volgograd, Dr. Sc. (medic.) (shemonaevvi@yandex.ru).

Vladimir Shkarin, Volgograd State Medical University, Volgograd, Cand. Sc. (medic.) (*oblzdrav@volganet.ru*).

Abstract: The paper is devoted to the construction and investigation of the mathematical models of decision-making on pricing and quality for medical institutions on the territorial healthcare market (by the example of dental services).

Keywords: medical institutions, stomatological polyclinic, healthcare demand, mathematical modelling, indicators of medical institution activity.