

УДК 519
ББК 32.817

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СПРОСА НА МЕДИЦИНСКИЕ УСЛУГИ
В ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ УСЛУГ)**

Гаценко С. М.¹, Мирзоян Г. Л.²
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)
Новочадов В. В.³

(Волгоградский государственный университет, Волгоград)

Шемонаев В. И.⁴, Шкарин В. В.⁵
(Волгоградский государственный медицинский
университет, Волгоград)

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.

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

² Гагик Левонович 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).

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.

За рубежом существуют такие развитые (десятки журналов – «Journal of Health Economics», «Health Economics» и др., конференций; десятки тысяч публикаций) разделы экономической теории, как *экономика здравоохранения* (Health Economics) [15, 20, 22] и *экономика здоровья* – см. классические работы К. Эрроу [12], Г. Беккера и М. Гроссмана (см. концепцию *человеческого капитала* и спроса на здоровье [13, 19], а также работы российских авторов [1, 3, 9]) и отличающиеся от российского аналога, в том числе активным использованием экономико-математических моделей и аппарата эконометрики [20, 21] (см., например, ниже обсуждение некоторых результатов моделирования конкуренции на рынке медицинских услуг).

В хрестоматийной работе [16] 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 классической работе [18] спрос на медицинские услуги рассматривается как производный от спроса на здоровье. В рамках предложенной модели каждый индивид в каждый момент времени осуществляет рациональный выбор между набо-

ром медицинских услуг, которые воспроизводят запас его здоровья, и всеми остальными благами (возможно бюджетное ограничение). Также было предложено включать в общую стоимость лечения издержки, связанные с затратами времени на поддержание здоровья.

В работе [17] 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 коммерческой больницы монополиста, построены и исследованы, например, в [1].

Настоящая статья является попыткой построить «эмпирический мост» между теорией управления организационными системами [8] и экономикой здравоохранения в рамках программы исследований, намеченной в [7].

Стоит отметить, что в [5] уже строились и исследовались модели мотивационного управления для оптимизации процессов взаимодействия МО и работающего в ней персонала, а в [6] – для одной МО, функционирующей 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 [4] была проведена идентификация предложенных в [6] 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 авторами была собрана и обработана информация о рынке стоматологических услуг в городе Волгограде. Выбор стоматологических услуг (в качестве примера) был обусловлен тем, что данный вид медицинских услуг – один из наиболее распространенных среди оказываемых бюджетными учреждениями платных услуг (т.е. стоматология – наиболее коммерциализованная и массовая отрасль в рамках типовых (неспециализированных) медуслуг).

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 оказываются 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 (таблица 1).

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* = 1, ..., 10, включали следующие первичные показатели:

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

- объем оказанных услуг в условных единицах трудоемкости (УЕТ) в год, в том числе – коммерческие услуги;

- средний объем услуг, оказываемых одним врачом за рабочий день (УЕТ);
- площадь помещения поликлиники (м²);
- число врачей (чел.);
- доля врачей высшей категории;
- спрос «географический» (чел.) определялся исходя из территориального распределения населения г. Волгограда (таблица 2.) и местоположений поликлиник (рис. 1), при этом считалось, что житель обращается в ближайшую к его месту проживания⁶ поликлинику (таблица 3);
- спрос «административный» (чел.) определялся исходя из той же информации, но считалось, что житель обращается в поликлинику, находящуюся в административном районе его проживания;
- спрос «плановый» (чел.), определялся исходя из гипотезы, что плановая численность врачей в СП пропорциональна потенциальному спросу на стоматологические услуги (т.е. норматив на одного врача одинаков) и наоборот⁷; если эта гипотеза справедлива, то можно предположить, что неоднородность фактиче-

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.

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 таблице 3.

ской нагрузки на врачей обусловлена зависимостью спроса от цен и качества медуслуг;

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

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

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 шлифование одного зуба;
- проведение анестезии препаратом Ультракаин (одна инъекция);
- пластика уздечки;
- лечение пульпита ампутированным методом без наложения пломбы;
- распломбирование одного корневого канала (пломбированного резорцин-формалиновой пастой);
- удаление зуба простое.



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

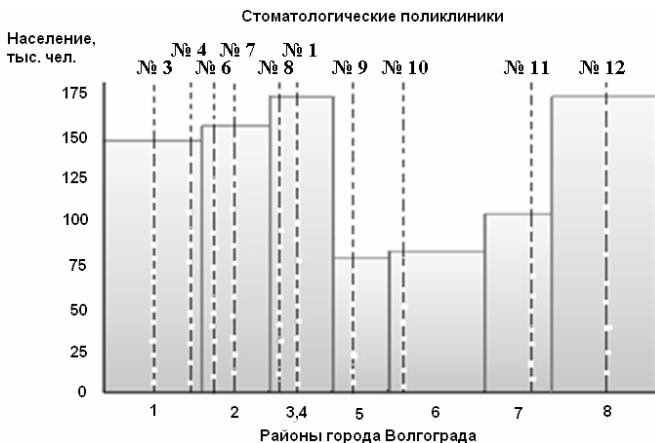


Рис. 2. «Географический» спрос на стоматологические услуги

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

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»⁸ 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).

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.

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

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

полное 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 полное
неудовольствие удовлетворение

☹ ☺

2. Уровень заработка

полное 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 полное
неудовольствие удовлетворение

☹ ☺

3. Загруженность работой

полное 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 полное
неудовольствие удовлетворение

☹ ☺

Рис. 3. Анкета, использовавшаяся при проведении опроса

⁸ Ниже используются именно экспертные оценки «качества». Конечно, этот показатель не является непосредственной характеристикой собственно качества медуслуг, оцениваемого их потребителями. Тем не менее, предполагается, что в отсутствии результатов «прямых измерений» оценки экспертов косвенно отражают последнее.

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 рис. 4–10 видно, что рассматриваемые поликлиники достаточно сильно различаются по своим показателям.

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

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).

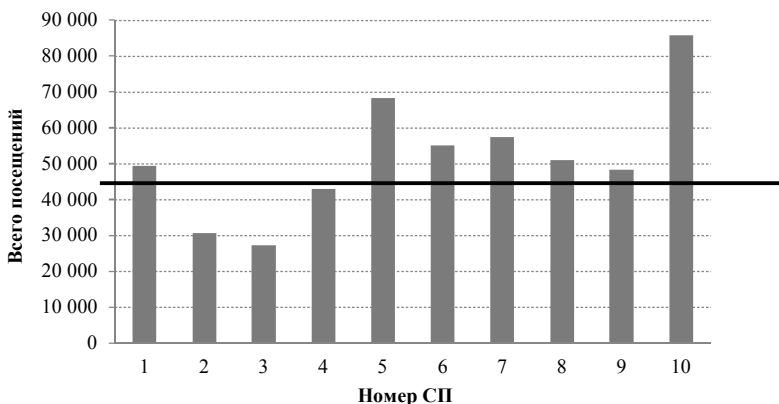


Рис. 4. Число посещений (всего)

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

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

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

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

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

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. таблицу 5 и рис. 10 (см. выше гипотезу о наличии «планового» спроса).

Таблица 4. Коэффициенты линейной корреляции между первичными показателями

	Спрос «Расчет.»	Спрос "План."	Спрос "Географ."	Спрос "Админ."	Качество (эксперты)	Качество (сотрудники)	Цена	Число посещений (Всего)	Число повторных посещений	Число оказанных коммерческих услуг	Доля повторных посещений	УЕТ (всего)	Коммерческие УЕТ	УЕТ в день на одного врача	Площадь помещения (кв. м.)	Число врачей (всего)	Доля врачей высшей категории
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

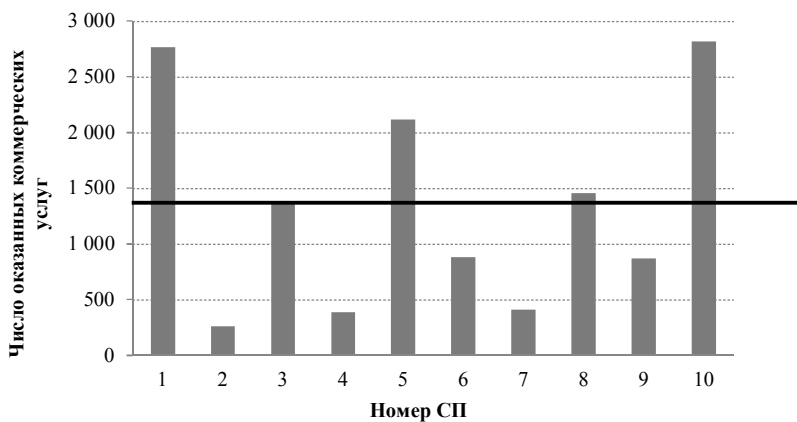


Рис. 5. Число оказанных коммерческих услуг населению

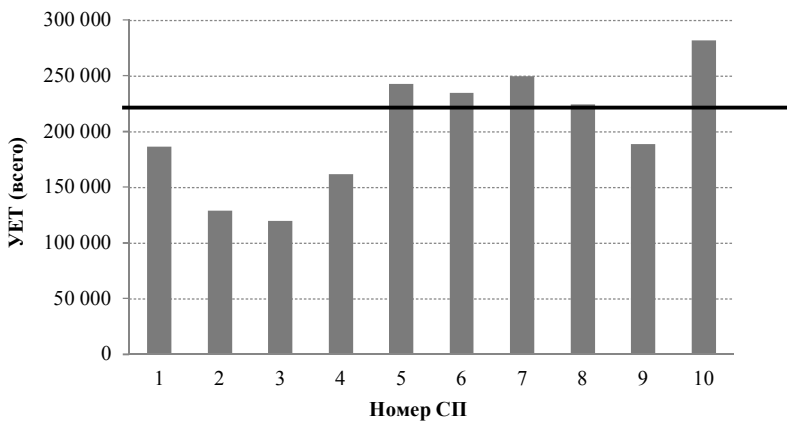


Рис. 6. Объем оказанных услуг в УЕТ (всего)

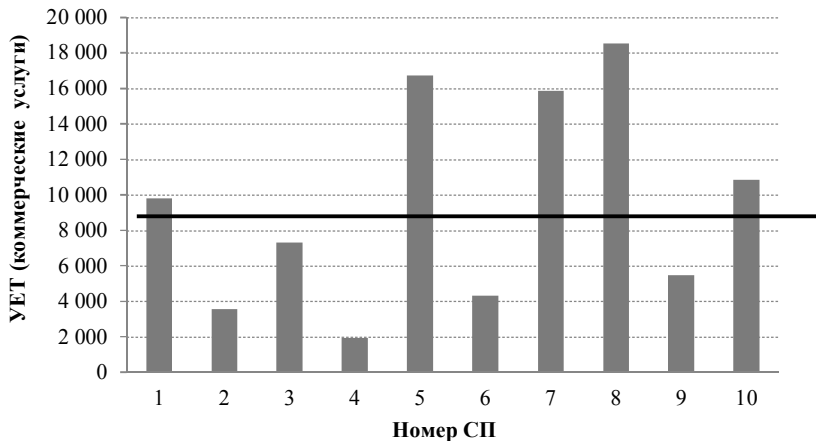


Рис. 7. Объем оказанных коммерческих услуг в УЕТ

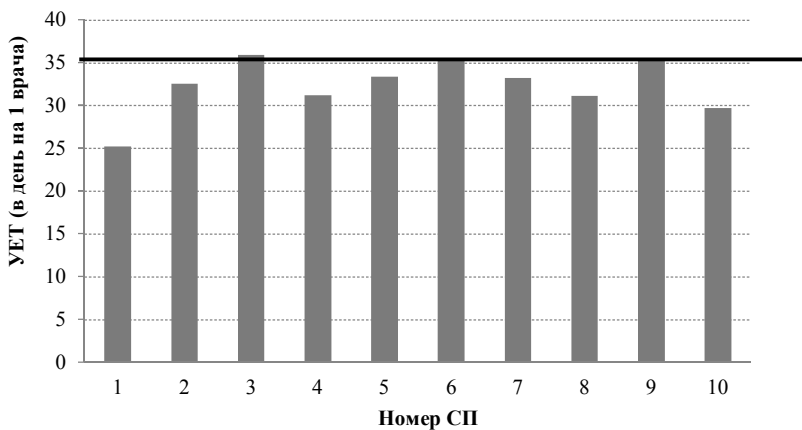


Рис. 8. УЕТ на одного врача в день

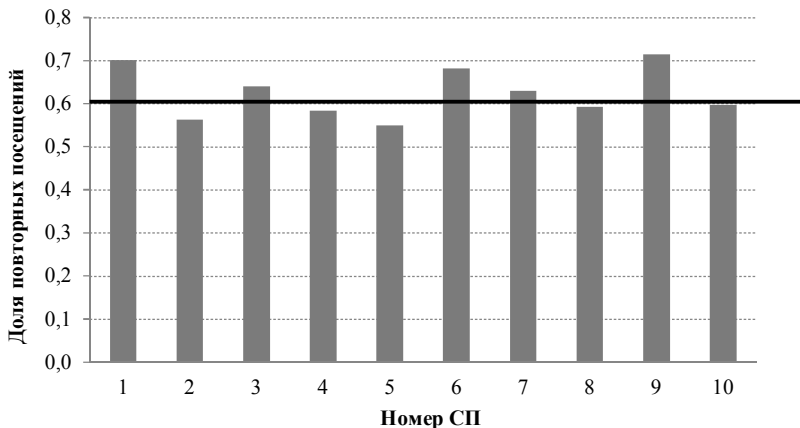


Рис. 9. Доля повторных посещений

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

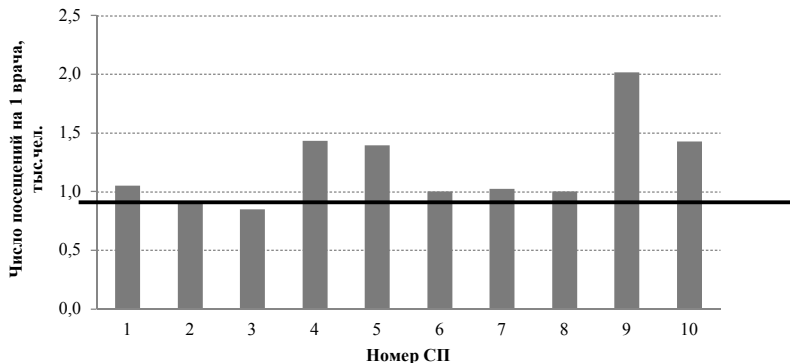


Рис. 10. Число посещений на одного врача

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), т.е. «взгляд со стороны» и «взгляд изнутри» на функционирование СП существенно различны (см. рис. 11).

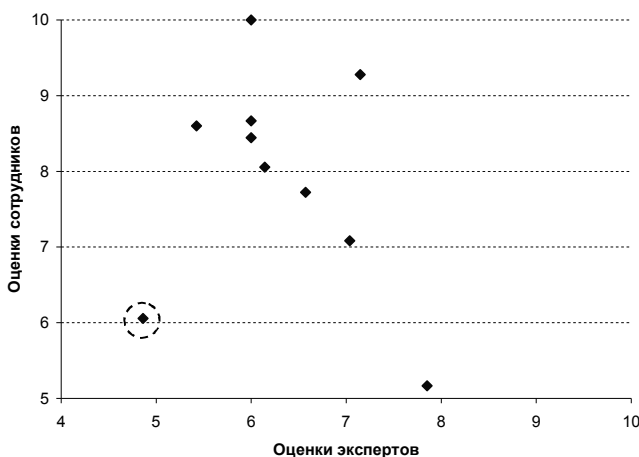


Рис. 11. Агрегированные оценки качества (мнение экспертов vs мнения сотрудников)

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

Исследуем, являются ли «цена» и «качество» оказываемых стоматологических услуг существенными характеристиками, т.е. 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.

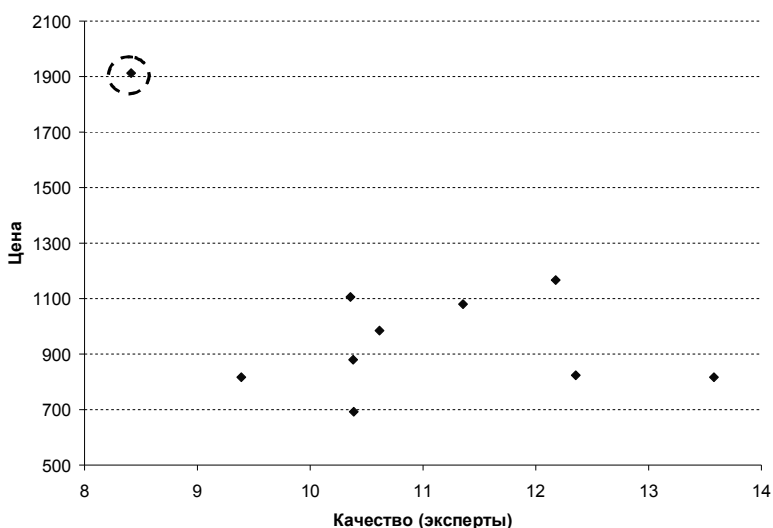


Рис. 12. Цена и качество (мнение экспертов)

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 реаль-

ными и прогнозными данными) рассматривались следующие модели (см. таблицы 6–8) [4]:

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

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

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

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

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

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;

ние 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;

- $(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j - \lambda_i)$ – 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 района 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 способствуют 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 цены 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 6–7.

В таблицах 6–7 жирным шрифтом отмечены «рекорды» – минимальные (из приведенных) для рассматриваемых показателей значения «ошибки» (отклонения прогнозных данных от реальных).

Для «рекордов» в таблице 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

Спрос		Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	Функция спроса							
				1		2		3		d_{cp}	
				d	WM	d	$Excel$	d	WM		d
«доминирующий»	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			

Спрос	Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	Функция спроса						d_{cp}
			1		2		3		
			d_{WM}	d_{Excel}	d_{WM}	d_{Excel}	d_{WM}	d_{Excel}	
		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
		Число посещений (всего)	27,06	20,83	36,29	26,65	26,58	26,73	27,05
	эксперты	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)

Спрос	Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	Функция спроса						d_{cp}
			1		2		3		
			d_{WM}	d_{Excel}	d_{WM}	d_{Excel}	d_{WM}	d_{Excel}	
	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 (коммерческий прием)	41,11	38,61	41,98	38,61	50,13	39,14	92,67
эксперты	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	
	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 (коммерческий 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	

Спрос	Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	Функция спроса						$d_{ср}$
			1	2		3			
			d_{WM}	d_{Excel}	d_{WM}	d_{Excel}	d_{WM}	d_{Excel}	
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)

Оценка качества	ПОКАЗАТЕЛЬ:	Функция спроса				$d_{ср}$
		4		5		
		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 (коммерческий 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)	«Ад-мин.»	сотр.	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	«Рас-чет.»	эксп.	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	

Показатель	Спрос	Оценка качества	Функция спроса	Используемая программа	Параметры				$d, \%$	$d_{ср}, \%$
					a	e	b	p		
Ует (всего)	«Админ.»	сотр.	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.»	сотр.	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)	–	сотр.	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	–	сотр.	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.

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 относитель-

ной ошибки аппроксимации этого показателя примерно в 2,5 раза.

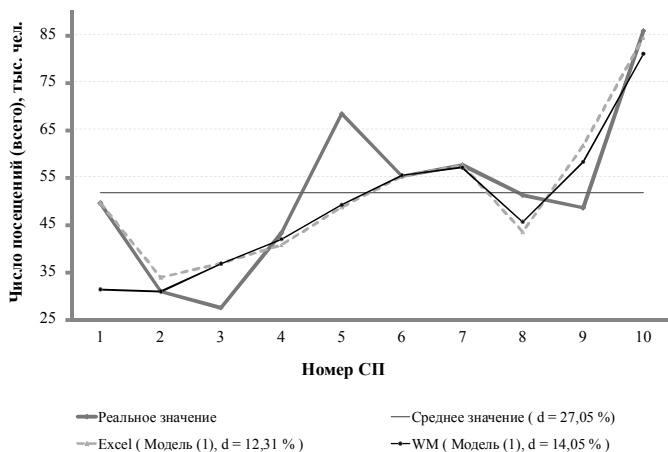


Рис. 13. Число посещений (всего)

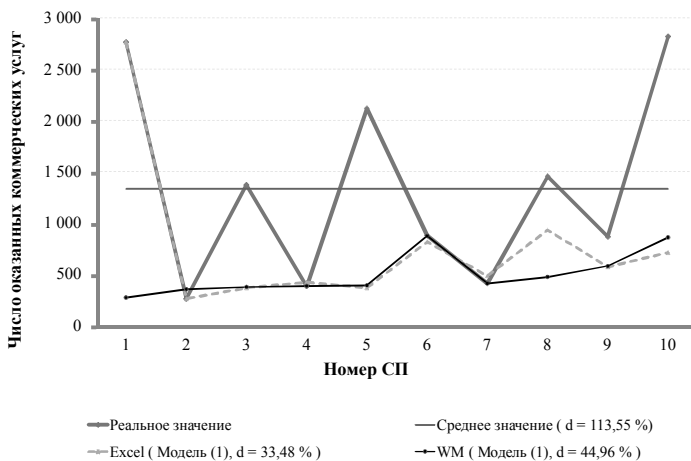


Рис. 14. Число оказанных коммерческих услуг

При моделировании показателя «УЕТ (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.

При моделировании показателя «УЕТ (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 удастся снизить значение средней относительной ошибки аппроксимации этого показателя более чем в 2 раза.

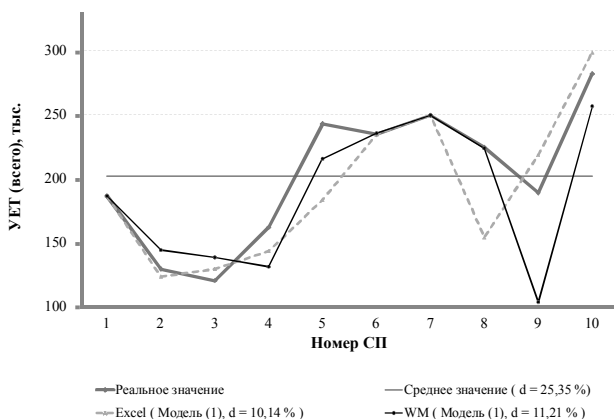


Рис. 15. УЕТ (всего)

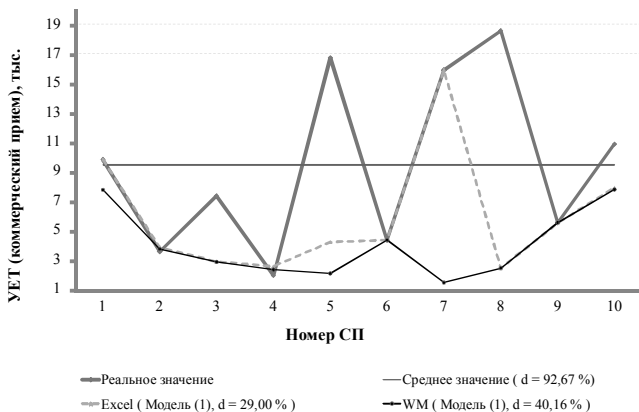


Рис. 16. УЕТ (коммерческий прием)

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.

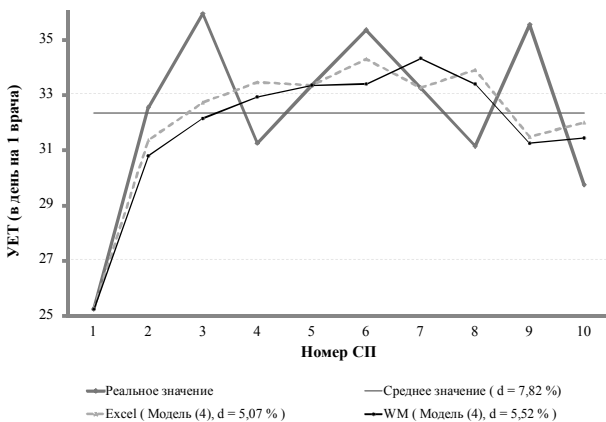


Рис. 17. УЕТ (в день на 1 врача)

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.

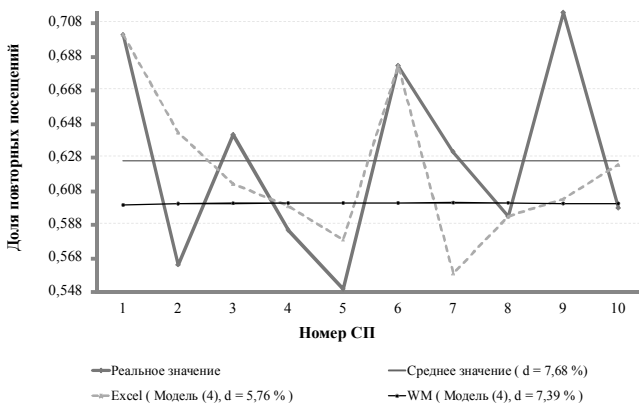


Рис. 18. Доля повторных посещений

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».

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 искались 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, так как десять параметров оцениваются по десяти точкам.

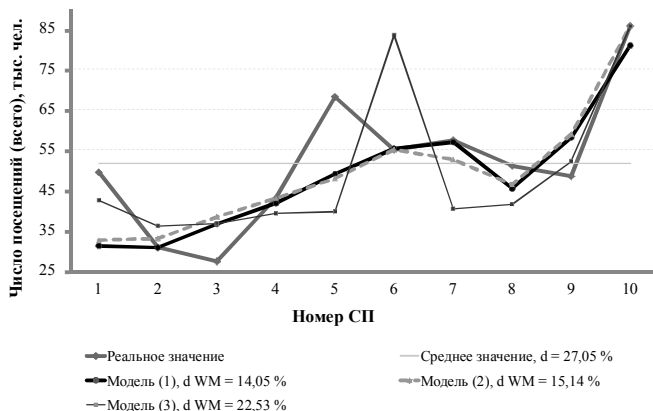


Рис. 19. Число посещений (всего)

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 таблице 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

СП _i	p_i
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, т.е. 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).

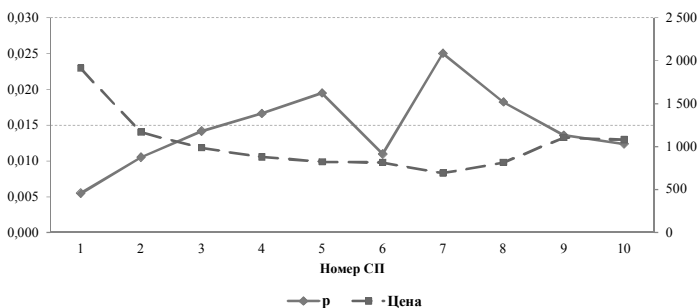


Рис. 20. Значение подбираемых параметров p и «цен» услуг СП в модели (6)

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

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

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 таблице 11. В этой таблице также представлены значения «относительных цен» услуг СП ($\lambda_{i, \text{cp}} = \bar{\lambda}_i - \lambda_i$, где

$$\bar{\lambda}_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \lambda_j).$$

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

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

СП _i	p_i	$\lambda_{i, \text{cp}}$
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

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.

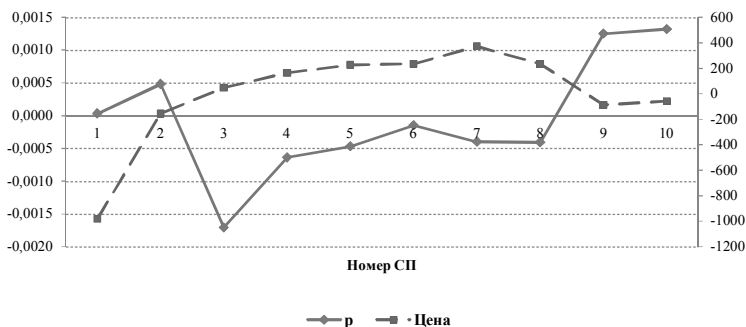


Рис. 21. Значение подбираемых параметров $\{p_i\}$ и «средних цен» услуг СП в модели (7)

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 том числе 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 том числе:

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

- формировании ценовой политики и политики в отношении качества оказываемой медуслуги;
- 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).

Литература

1. ДАРГАУ Л.А. *Теоретические аспекты управления здоровьем и возможности его реализации в условиях Российской Федерации* // Проблемы управления. – 2003. – №2. – С. 43–52.
2. КОЛОСНИЦЫНА М.Г., ШЕЙМАН И.М., ШИШКИН С.В. *Экономика здравоохранения*. – М.: Издательский дом ГУ-ВШЭ, 2009. – 479 с.
3. КОРГИН Н.А., НОВОЖЕНИНА Н.А., СУДАКОВ Ю.Н. *Моделирование здоровья человека как параметра субъекта организационной системы* // Труды V Всероссийской школы-семинара молодых ученых «Управление большими системами». – Липецк: ЛГТУ, 2008. – С. 202–207.
4. МИРЗОЯН Г.Л. *Идентификация модели конкуренции в сфере услуг на примере ВУЗов* // Труды 56-й научной конференции МФТИ. – М.: МФТИ, 2013. – С. 106–107.
5. МИРЗОЯН Г.Л. *Модели мотивационного управления в лечебно-профилактическом учреждении* // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – №1.1(51). – С. 207–210.
6. МИРЗОЯН Г.Л. *Модель поведения лечебно-профилактического учреждения на территориальном рынке медицинских услуг* // Управление большими системами. – 2013. – №45. – С. 330–343.
7. МИРЗОЯН Г.Л. *Модель территориальной системы здравоохранения и классификация задач управления* // Труды меж-

- дународной конференции по проблемам управления. – С.–Пб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – С. 172–174.
8. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами*. – 3-е изд. испр. и дополн. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.
 9. СЕМКИН Г.И., ДАРТАУ Л.А., СТЕФАНЮК Е.А. *Здоровье и образ жизни человека: возможности управления*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 64 с.
 10. ШИШКИН С.В., БОНДАРЕНКО Н.В., КЕЛЬМАНЗОН К.М. *Российское здравоохранение: мотивация врачей и общественная доступность*. – М.: Независимый институт социальной политики, 2008. – 288 с.
 11. ЩЕПИН О.П., МЕДИК В.А. *Общественное здоровье и здравоохранение: учебник*. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 592 с.
 12. ARROW K. *Uncertainty and the Welfare Economics of Medical Care* // *American Economic Review*. – 1963. – Vol. 53, №5. – P. 941–973.
 13. BECKER G. *A Theory of the Allocation Time* // *The Economic Journal*. – 1965. – Vol. 75, №299. – P. 493 – 517.
 14. BREKKE K., SICILIANI L., STRAUME O. *Hospital Competition and Quality with Regulated Prices*. *Cesifo Working Paper Series 2635*. – Munich: cesifo Group, 2009. – 19 p.
 15. CULYER A., NEWHOUSE J. *The State and Scope of Health Economic*. *Handbook of Health Economics*. –Vol. 1. Part A. – Amsterdam: Elsevier, 2000. – P. 1–8.
 16. DORFMAN R., STEINER P. *Optimal Advertising and Optimal Quality* // *American Economic Review*. – 1954. – Vol. 44, №5. – P. 826–836.
 17. GAYNOR M., TOWN R. *Competition in Health Care Markets*. *Working Paper № 12/282*. – Bristol: University of Bristol, 2012. – 153 p.
 18. GROSSMAN M. *The Demand for Health: the Theoretical and Empirical Investigation* // *National Bureau of Economic Research*. N.Y., 1972. – 115 p.
 19. GROSSMAN M. *The Human Capital Model of the Demand for Health*. – NBER Working Paper № 7078, 1999. – 102 p.

20. *Handbook of Health Economics*. Vol. 2. – Amsterdam: Elsevier, 2012. – 1126 p.
21. JONES A. *Health Econometrics*. – NY.: University of New York, 1998. – 81 p.
22. WAGSTAFF A., CULYER A. *Four Decades of Health Economics through a Bibliometric Lens* // Policy Research Working Paper 5829. – Washington DC: The World Bank. 2011 – 72 p.

MATHEMATICAL MODELS FOR HEALTHCARE DEMAND IN REGIONAL MARKETS (CASE 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 (mirzoyangl@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: We suggest mathematical models of healthcare demand on a regional market under price and quality competition. The models are identified using the data on dental services market in an industrial megalopolis.

Keywords: medical institution, dental clinic, healthcare demand, mathematical model, medical institution performance indicators.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Д.А. Новиковым

*Поступила в редакцию 15.02.2014.
Опубликована 31.05.2014.*