

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»**

Факультет экономических наук

Гедонистическое ценообразование на примере наушников.

ФИО	% Вклада	Выполняемые задачи
Чуйкин Н.	33.(3)%	Пред обработка данных и отбор признаков Первичный анализ данных и описание признаков Проверка мультиколлинеарности Проверка нормальности остатков Тестирование полу-лог модели. Оценка модели, интерпретация предельных эффектов Модель квантильной регрессии
Добин И.Н	33.(3)%	Отбор и создание новых признаков Спецификация модели и интерпретация Проверка гетероскедастичности Проверка нормальности остатков Оформление отчета, написание выводов
Семенов В.	33.(3)%	Парсинг данных Оформление кодовой части проекта Проверка выбросов Проверка модели на устойчивость Предложение нового товара и построение прогнозной цены.

1 Введение

Модель гедонистического ценообразования (hedonic pricing model, HPM) представляет собой эконометрический инструмент, используемый для оценки влияния характеристик товаров на их рыночную цену. Теоретическая основа модели восходит к работам Ланкастера (1966) и Рорсена (1974), которые продемонстрировали, что цена дифференцированного товара может быть представлена как функция его количественно измеримых свойств (атрибутов). В отличие от традиционного подхода, предполагающего, что товары являются однородными, гедонистическая модель рассматривает товар как совокупность отдельных характеристик, каждая из которых вносит вклад в формирование его стоимости. Соответственно, потребитель предъявляет спрос не на товар, а на сами атрибуты.

Формально можно сказать, что

$$P_i = f(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}) + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim WN$$

P_i - цена товара, X_{ij} - фактор, влияющий на цену.

В этой статье исследуется линейная регрессия в качестве основного инструмента приближения функции $f(y)$. При сравнении рабочести моделей в качестве примера был взят градиентный бустинг [Catboost](#). Для исследования мы выбрали наушники из-за наличия технических характеристик, значимо влияющих на цену. Данные были взяты с сайта [Dr.Head](#), предоставляющего широкий выбор профессиональных и обычных гарнитур. Всего в выборке 863 наблюдения и 22 признака, включая закодированные качественные признаки.

Отметим, что в модели не может быть пропущенных существенных признаков, поскольку были взяты все характеристики, которые видит пользователь, когда заходит на сайт и совершает выбор, и возможные для использования в ценообразовании. Остальные признаки, указанные в описании товара, либо часто не указываются (т.е. не влияют на решение), либо имеют большое количество категорий и, скорее всего, так же не влияют на выбор.

Таблица 1: Количественные признаки

Признак	min	max	mean	std
Цена, руб.	490	6 700 000	64 521	248 490
Минимальная частота, Гц	3	160	17.57	12.19
Максимальная частота, кГц	5	112	27.12	11.91
Вес, г	0	980	107.65	159.75
Гарантия, мес	2	60	12.55	3.59
Срок службы, мес	12	72	24.52	3.69

Таблица 2: Категориальные признаки

Признак	Значения
Тип наушников	Проводные, Беспроводные, Совмещенные
Цвет	Черный, Белый, Other, Не указано
Вид наушников	Вставные, Полноразмерные, Накладные
Тип акустического оформления	Закрытые, Открытые, Полуоткрытые
Страна производства	США, Китай, Other, Не указано

Таблица 3: Бинарные признаки

Признак	Доля "да"
Чехол/футляр в комплекте	0.82
Встроенный микрофон	0.61
Быстрая зарядка	0.46
Беспроводная зарядка	0.19
Складная конструкция	0.10

2 Основная модель

2.1 Проверка на наличие выбросов

Метрика DFFITS измеряет влияние каждого наблюдения на предсказанные значения модели:

$$\text{DFFITS}_i = \frac{\hat{y}_i - \hat{y}_{(i)}}{\sqrt{s_{(i)}^2 h_{ii}}} \quad (1)$$

где:

- \hat{y}_i — предсказание для i -го наблюдения
- $\hat{y}_{(i)}$ — предсказание без учета i -го наблюдения
- h_{ii} — рычаговое значение
- $s_{(i)}^2$ — оценка дисперсии ошибок без i -го наблюдения

Критерий: Наблюдение считается выбросом при $|\text{DFFITS}_i| > 2\sqrt{p/n}$, где p — число предикторов, n — число наблюдений.

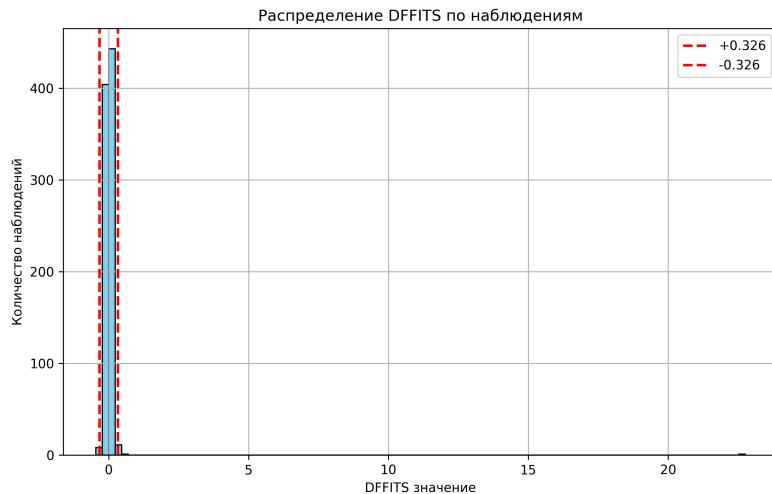


Рис. 1: DFFITS

Таблица 4: Результаты анализа выбросов

Показатель	Значение
Пороговое значение DFFITS	0.3256
Число выбросов	5
Номера выбросов	[48, 55, 290, 321, 586]

На Рис.1 видно, что основная масса значений сосредоточена вне критической области и лишь 5 наблюдений заметно отличаются. Удалим эти наблюдения для повышения робастности модели.

2.2 Гетероскедастичность

$$H_0: \sigma_i = \sigma_j, \quad \forall i \neq j$$

2.2.1 Тест Уайта

Статистика: $LM = nR^2 \sim \chi^2(p - 1)$

Показатель	Значение
LM-статистика	810.91
p-value	0.0000

Вывод: Гетероскедастичность присутствует.

2.2.2 Тест Глейзера (с линейной спецификацией)

Тест Глейзера проводился для регрессии

$$|e| = \alpha + X\beta + u, u \sim N(0, \sigma_u^2)$$

Предиктор	Коэффициент	p-value
Константа	-9335.67	0.940
X_1	5.34	0.993
X_2	4038.61	0.000
X_3	-314.19	0.000
X_4	9909.47	0.305
X_5	-2725.36	0.772
X_6	12220.0	0.726
X_7	-52600.0	0.716
X_8	-12200.0	0.630
X_9	-20200.0	0.310
X_{10}	-26130.0	0.136
X_{11}	40200.0	0.267
X_{12}	113000.0	0.001
X_{13}	86100.0	0.001
X_{14}	-13620.0	0.733
X_{15}	-15160.0	0.465
X_{16}	-99240.0	0.000
X_{17}	-54820.0	0.092
X_{18}	-93030.0	0.000
X_{19}	-3568.16	0.900
X_{20}	105.34	0.997
X_{21}	-14360.0	0.518
X_{22}	12410.0	0.647

Коэффициенты при $X_2, X_3, X_{12}, X_{13}, X_{16}, X_{18}$ оказались значимыми на уровне значимости 1%. \Rightarrow Гетероскедастичность присутствует.

Корректировка гетероскедастичности с помощью линейных преобразований лишает признаки интерпретируемости и усложняет процедуру ценообразования, поэтому было решено использовать FGLS для получения оценок и поправки в форме Уайта на дисперсию коэффициентов там, где это необходимо.

2.3 Эндогенность

Поясним эндогенность в модели с помощью двух тезисов.

1. Исследуемая цена - это цена из диапазона равновесных цен, сложившихся в результате уравновешивания предложения и спроса на рынке.
2. Процесс ценообразования рассматривается не изолированно от внешней среды.

Из первого тезиса следует, что рыночные механизмы уже не могут влиять на цены, поскольку они уже лежат в равновесном диапазоне. Иначе говоря, процесс «производство (определение характеристик) → формирование цены → продажа» необратим во времени, ведь исследуемые характеристики носят исключительно технический характер.

Однако мы не можем исключить влияние глобальных факторов на признаки и на цену одновременно. Допустим, в экономике Китая произошёл серьёзный кризис, и они перестали производить товар. Безусловно, это влияет на характеристики продаваемой гарнитуры, но так же это влияет и на цену. Поскольку Китай – экономика, плотно встроенная в глобальную, то внутренний кризис вызовет снижение платежеспособного спроса. Значит, при втором предположении в модели присутствует эндогенность из-за наличия третьего фактора, влияющего как на цену, так и на характеристики. В силу отсутствия валидных инструментов и возможности контроля этих факторов далее мы предполагаем отсутствие глобальных внешних шоков, т.е. эндогенность модели.

Также невозможно исключить наличие ненаблюдаемых факторов, влияющих на цену, например, «категория престижности товара», которые коррелируют как с ценой, так и с признаками. Далее, однако, будем предполагать, что таких пропущенных ненаблюдаемых факторов нет и модель эндогенна.

2.4 Мультиколлинеарность

Чтобы оценки были более численно устойчивыми, исследуем признаки на взаимную корреляцию. Исходя из рис. 2 и табл. 5 видно, что переменные «срок службы» и «гарантия» сильно коррелируют. Было принято решение их удалить.

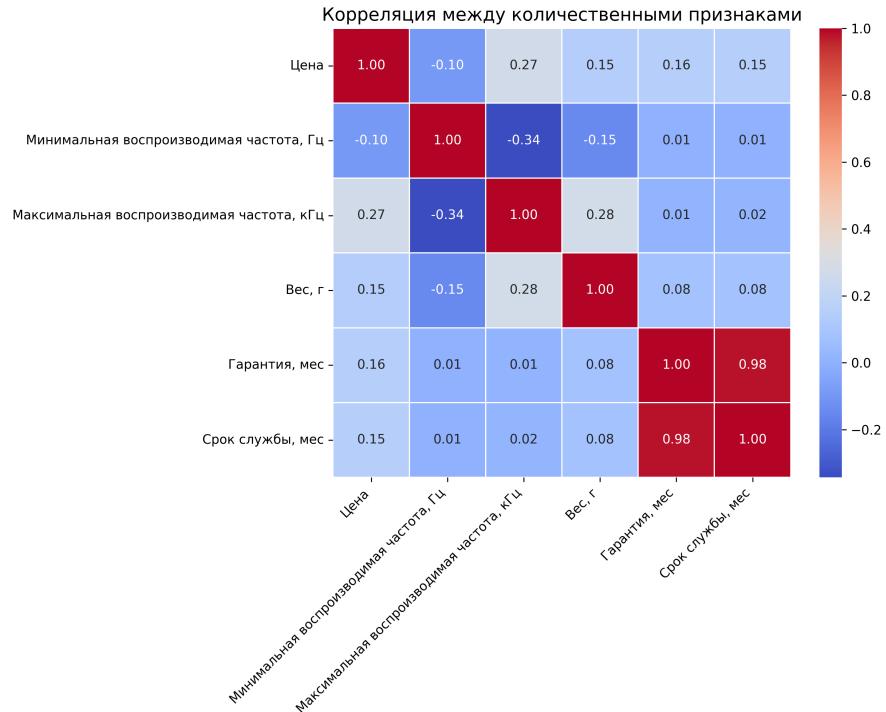


Рис. 2: Матрица корреляций для количественных признаков

Таблица 5: Анализ мультиколлинеарности (VIF)

Признак	VIF
Цена	1.111891
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	1.137223
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	1.275085
Вес, г	1.098735
Гарантия, мес	24.440959
Срок службы, мес	24.412872

2.5 Функциональная форма

Для того, чтобы сделать остатки похожими на нормальными, преобразуем целевую переменную (цену) с помощью преобразования Бокса-Кокса с максимизацией правдоподобия.

$$y^* = \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, \lambda \neq 0$$

$$\hat{\lambda}_{optimal} = -0.0466$$

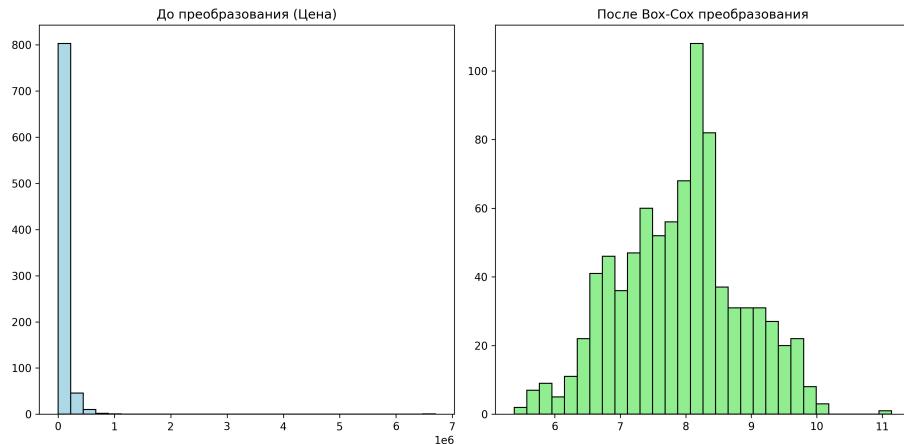


Рис. 3: Гистограмма целевой переменной.

2.5.1 Спецификация и нормальность остатков

Спецификация подбиралась, исходя из двух критериев: интерпретируемость и близость эмпирического распределения остатков к нормальному. В силу уже преобразованного целевого признака осталось протестировать линейную и полулогарифмическую (относительно y^*) спецификации. Преобразовывались только количественные признаки, дамми-переменные оставались без изменений. Нормальность остатков была протестирована с помощью теста Шапиро-Уилка, и в обоих случаях гипотеза о нормальности отвергнута ($pvalue \approx 0$ в обоих случаях). В силу нашего первого критерия (интерпретируемости) была выбрана линейная модель. В строгом смысле отсутствие нормальности остатков не позволяет тестировать гипотезы, однако во многих тестах достаточно асимптотической нормальности на больших выборках.

Тест Шапиро-Уилка:

$$H_0 : e_i \sim N(0, \sigma^2)$$

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i e_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2},$$

- a_i — коэффициенты, рассчитанные на основе математического ожидания порядковых статистик нормального распределения,

- \bar{e} — выборочное среднее.
- $e_{(i)}$ - i -ый член вариационного ряда.

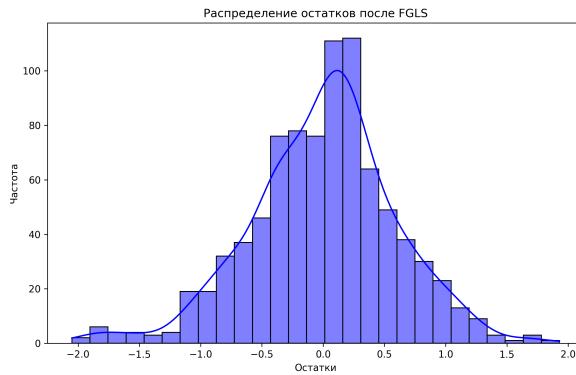


Рис. 4: Распределение остатков в линейной модели

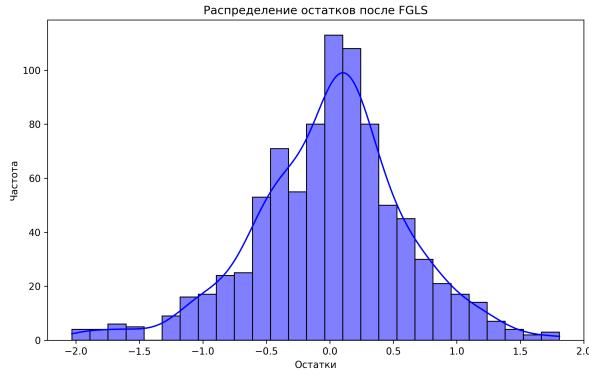


Рис. 5: Распределение остатков в полулогарифмической модели

2.6 Оценка модели

В приложении на рис. 10 представлена FGLS оценка коэффициентов модели. Итоговую спецификацию можно записать так:

$$price_i^* = \alpha + \sum_{j=1}^{22} \beta_j x_{ij} + \epsilon_i \quad (2)$$

$price^* = \frac{price^\lambda - 1}{\lambda}$, x_{ik} - все признаки модели с учетом дамми-переменных и исключенного признака «Гарантия».

Модель оказалась значима на любом разумном уровне значимости, что было проверено с помощью F-теста:

$$\begin{aligned} H_0 &: \beta_i = 0 \forall i \\ H_1 &: \exists i : \beta_i \neq 0 \end{aligned}$$

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - k}{k - 1} \sim F(k - 1, n - k)$$

k — общее количество регрессоров.

Таблица 6: Результаты F-теста регрессии

Статистика	р-значение
F-тест	$58.13 \quad 1.03 \times 10^{-147}$

Высокие значения $R^2 = 0.592$ и $R_{adj}^2 = 0.582$ говорят об адекватности модели.

Нами было применено преобразования Бокса-Кокса, что делает непосредственную интерпретацию коэффициентов невозможной, однако мы можем посчитать средний предельный эффект на цену. Для количественных признаков

$$AME_j = \frac{1}{n} \sum_i \frac{dy_i}{dx_j}$$

$$y_i = (\lambda\alpha + \lambda \sum_j \beta_j x_{ij} + 1)^{1/\lambda}$$

$$\frac{dy_i}{dx_j} = \frac{1}{\lambda} (1 + \alpha\lambda + \lambda \sum_j \beta_j x_{ij})^{1/\lambda - 1} \lambda \beta_j$$

Для бинарных признаков

$$\Delta y_i = y_i|x_k=1 - y_i|x_k=0 = (\lambda\alpha + \lambda \sum_{j \neq k} \beta_j x_{ij} + 1 + \lambda\beta_k)^{1/\lambda} - (\lambda\alpha + \lambda \sum_{j \neq k} \beta_j x_{ij} + 1)^{1/\lambda}$$

Таблица 7: Предельные эффекты (Average Marginal Effects)

Признак	AME
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-257.38
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	824.61
Вес, г	86.94
Срок службы, мес	850.56
Тип наушников: проводные	-33 384.65
Тип наушников: проводные, беспроводные	105 342.46
Цвет: белый	-19 974.31
Цвет: не указано	19 343.02
Цвет: черный	-8 461.69
Вид наушников: накладные	-5 722.10
Вид наушников: полноразмерные	229.01
Тип акустического оформления: открытые	15 825.89
Тип акустического оформления: полуоткрытые	-12 666.76
Чехол/футляр в комплекте: нет	-26 815.02
Страна производства: Китай	-24 599.18
Страна производства: США	66 959.21
Страна производства: не указано	-15 130.32
Встроенный микрофон: нет	64 169.50
Быстрая зарядка: нет	-22 612.84
Беспроводная зарядка: нет	-52 518.51
Складная конструкция: нет	5 863.83

Интерпретация предельных эффектов непосредственно следует из их определения: Китайские наушники в среднем стоят на 24 600 руб. меньше, увеличение срока службы на 1 мес. приводит к росту стоимости на 850 руб.

3 Квантильная регрессия

Квантильная регрессия уровня q - это решение задачи минимизации функционала $L(q) = \sum_{y_i \geq x_i^T \beta} q|y_i - x_i^T \beta| + \sum_{y_i < x_i^T \beta} (1-q)|y_i - x_i^T \beta|$.

В приложении 6 доступны таблицы с оценками коэффициентов и графики изменений коэффициентов по квантилям, где доверительные интервалы получены с помощью парного бутстрата. Из рис. 20, 19 явно видно разное влияние одних и тех же признаков на разные по цене категории наушников. Например, отсутствие беспроводной зарядки отрицательно влияет на цену для дешевых и средних наушников, и положительно для дорогих. Вероятно, это объясняется тем, что самые дорогие наушники в выборке - это профессиональная гарнитура, не поддерживающая беспроводную зарядку.

4 Ценообразование новых товаров

В нашей постановке задачи прайсинг товаров становится простым предсказанием $\hat{y} = \hat{f}(x)$, x - характеристики нового товара. С помощью параметрического бутстрата можно рассчитать доверительный интервал, а в случае линейной спецификации он считается явно как $[\hat{y} - z_{1-\alpha/2}\hat{\sigma}\sqrt{1+x^T(X^TX)^{-1}x}, \hat{y} + z_{1-\alpha/2}\hat{\sigma}\sqrt{1+x^T(X^TX)^{-1}x}]$.

Однако, наша модель нуждается в дополнительных уточнениях. Необходимость этого рассмотрим на следующем примере: возьмём самые дорогие наушники (6.7 млн руб.) и поменяем характеристики так: «Страна производства» = Китай, «Срок службы» = 12 мес, «Чехол/футляр в комплекте» = нет. Цена этого товара согласно нашей модели снизилась до 24341 руб., что явно противоречит здравому смыслу. В реальности присутствуют ненаблюдаемые факторы «категории элитарности» товара, которые либо непосредственно влияют на цену, либо уже заложены в ней, а значит нужно по-разному прайсить дешевые наушники, средние и дорогие. Используем для этого квантильные регрессии, LAD, FGLS и проверим их робастность.

4.1 Робастность ценообразования

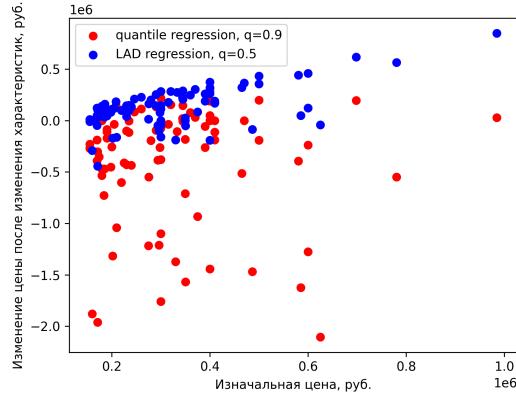


Рис. 6: Прайсинг дорогих наушников.

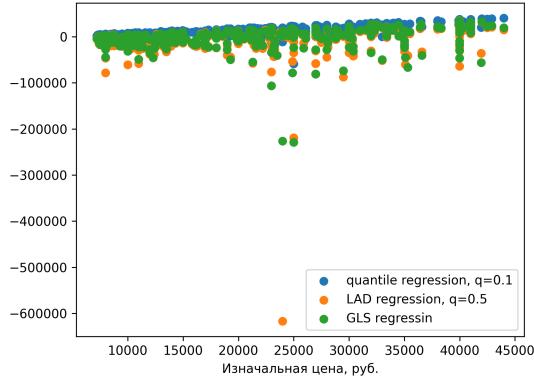


Рис. 7: Прайсинг наушников основной категории (средней).

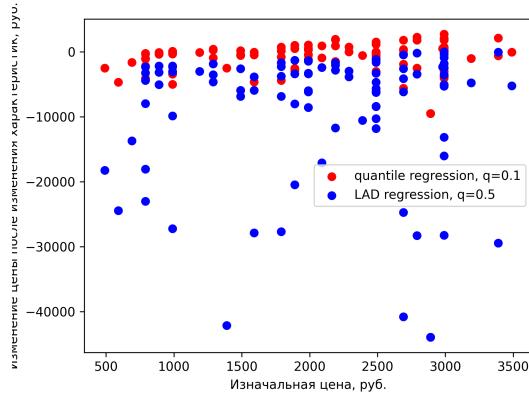


Рис. 8: Прайсинг дешевых наушников.

Для начала поменяем только несущественный признак «Чехол/футляр в комплекте» = да. Разделим на товары на три категории: дорогие (выше 0.75 квантиля), средние (от 0.25 до 0.75 квантиля) и дешевые (до 0.25 квантиля).

- Для прайсинга дорогих товаров более робастной оказалась LAD регрессия, изменяющая цены менее существенно в абсолютном выражении и в большинстве случаев, угадывающая со знаком изменений.
- Для основной категории лучше использовать FGLS оценку, которая даже на нетипичных наблюдениях дает менее искаженные результаты, чем LAD.
- Для дешевых наушников, напротив, наиболее перспективной выглядит модель квантильный регрессии на квантиль уровня 10%.
- Сделанные выводы подтверждаются и при изменении других показателей. «Страна производства» = Китай, «Срок службы» = 12 мес, «Чехол/футляр в комплекте» = нет, см. рис. 11, 13, 12.
- Вышеизложенные тезисы позволяют сформулировать следующую гипотезу: дешевые наушники – однородная категория, в которой мало нетипичных наблюдений, а значит прайсинг с помощью простых моделей в этой нише разумен. Для других категорий стоит использовать более сильные модели, для сравнения мы использовали Catboost, которая действительно показывает лучшие результаты (рис. 9).

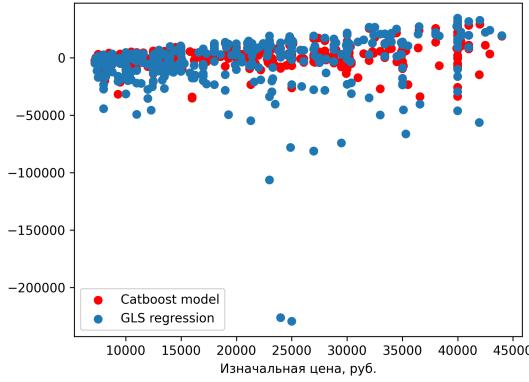


Рис. 9: Сравнение робастности Catboost и FGLS для средней категории.

5 Заключение

Как было отмечено в предыдущем разделе, наушники - не однородный товар, и применять одну и ту же модель для всех категорий некорректно. Для того, чтобы а) учесть все данные в оценке модели, б) добавить различия по категориям, в) плавно смоделировать переход из категорий в категорию, – мы сформулировали концепты новых моделей, с которыми можно ознакомиться в приложении 5.

Поскольку ценообразование товара по его атриутам по существу предиктивная задача, имеет смысл рассматривать более сильные модели, точнее приближающие функцию $f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ из уравнения 1. Однако, ценность данной работы состоит не столько в получении точной и робастной оценки стоимости, сколько в предварительном анализе данных, исследующем однородность товара, значимость характеристик и подходы к повышению робастности модели.

Приложение А.

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	7.7972	0.208	37.423	0.000	7.388	8.206
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-0.0034	0.002	-1.819	0.069	-0.007	0.000
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	0.0110	0.002	5.243	0.000	0.007	0.015
Вес, г	0.0012	0.000	4.800	0.000	0.001	0.002
Срок службы, мес	0.0114	0.006	1.943	0.052	-0.000	0.023
Тип наушников_проводные	-0.3517	0.103	-3.411	0.001	-0.554	-0.149
Тип наушников_проводные, беспроводные	0.6946	0.428	1.622	0.105	-0.146	1.535
Цвет_белый	-0.3558	0.075	-4.738	0.000	-0.503	-0.208
Цвет_не указано	0.2478	0.059	4.194	0.000	0.132	0.364
Цвет_черный	-0.1169	0.052	-2.248	0.025	-0.219	-0.015
Вид наушников_накладные	-0.0821	0.107	-0.765	0.445	-0.293	0.129
Вид наушников_полноразмерные	0.0031	0.097	0.032	0.975	-0.187	0.193
Тип акустического оформления_открытые	0.2010	0.074	2.711	0.007	0.055	0.347
Тип акустического оформления_полуоткрытые	-0.2005	0.118	-1.699	0.090	-0.432	0.031
Чехол/футляр в комплекте_нет	-0.5027	0.062	-8.166	0.000	-0.624	-0.382
Страна производства_Китай	-0.3834	0.071	-5.379	0.000	-0.523	-0.244
Страна производства_США	0.6735	0.096	6.993	0.000	0.484	0.863
Страна производства_не указано	-0.2220	0.076	-2.912	0.004	-0.372	-0.072
Встроенный микрофон_нет	0.9425	0.085	11.126	0.000	0.776	1.109
Быстрая зарядка_нет	-0.2541	0.076	-3.335	0.001	-0.404	-0.105
Беспроводная зарядка_нет	-0.4693	0.066	-7.109	0.000	-0.599	-0.340
Складная конструкция_нет	0.0831	0.080	1.034	0.301	-0.075	0.241

Рис. 10: Оценки FGLS линейной спецификации.

Приложение В

Dobit model

Идея Добит-модели совмещает в себе концепт цензурированной выборки и различных коэффициентов для уровней цен, при этом сами уровни отсечки тоже неизвестны и подбираются через ММП. Пусть y_i - цена товара, x_i - вектор признаков, $\varepsilon_i \sim WN(0, \sigma^2)$, $\phi(x)$ – функция плотности ε_i . Рассмотрим модель с 3 категориями:

$$y_i^* = x_i^T \beta + \varepsilon_i$$

$$y_i = \begin{cases} 0, y_i^* \leq 0 \\ y_i^* + x_i^T \theta_1, y_i^* \in (0, c_1] \\ y_i^* + x_i^T \theta_2, y_i^* \in (c_1, c_2] \\ y_i^* + x_i^T \theta_3, y_i^* > c_2 \end{cases}$$

Тогда, функция правдоподобия запишется как

$$P(y|x) = \prod_{y_i=0} P(\varepsilon_i \leq -x_i^T \beta) \prod_{y_i-x_i^T \theta_1 \in (0, c_1]} \phi(y_i - x_i^T \beta - x_i^T \theta_1) \times \\ \times \prod_{y_i-x_i^T \theta_2 \in (c_1, c_2]} \phi(y_i - x_i^T \beta - x_i^T \theta_2) \prod_{y_i-x_i^T \theta_3 > c_2} \phi(y_i - x_i^T \beta - x_i^T \theta_3)$$

Видно, что параметры θ_t и c_t находятся в индикаторах, что не очень удобно при оптимизации, поэтому можно упростить модель, сделав её смесью гауссиан.

$$p(y_i|x_i, y_i > 0) = \sum_{k=1}^3 w_k N(y_i|x_i^T \beta_k, \sigma_k^2)$$

Тогда, правдоподобие модели можно оптимизировать с помощью классического ЕМ-алгоритма, введя номер гауссиана, из которой пришло наблюдение, в качестве латентной переменной.

Приложение C

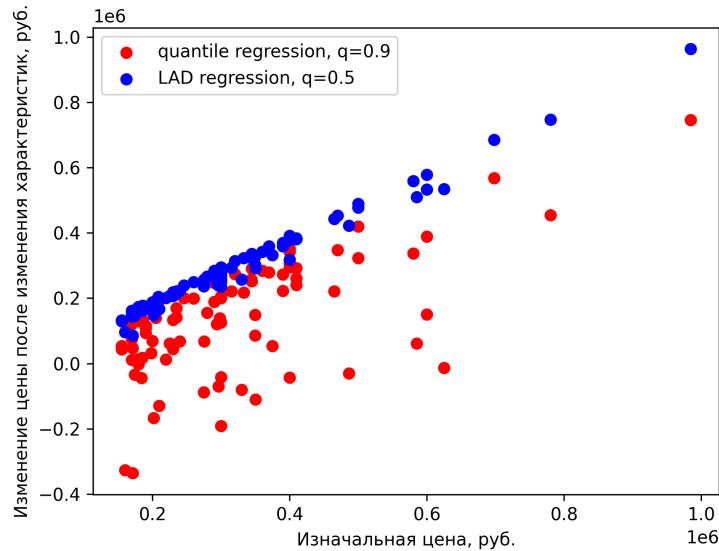


Рис. 11: Прайсинг дорогих наушников.

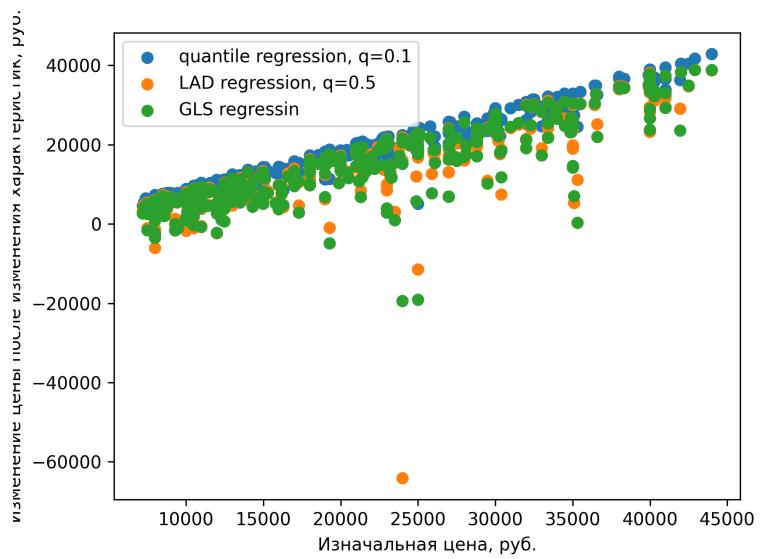


Рис. 12: Прайсинг наушников основной категории (средней).

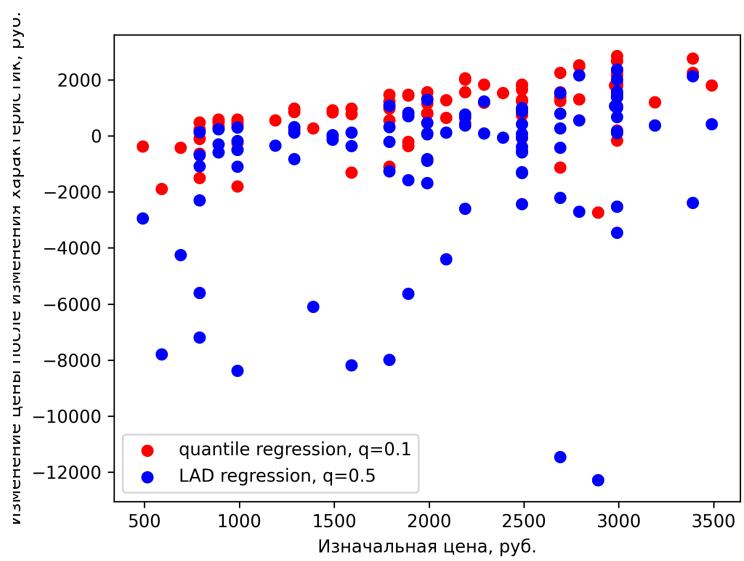


Рис. 13: Прайсинг дешевых наушников.

6 Приложение D

	Coef.	Std.Err.	t
const	7.132296	0.258827	27.556207
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-0.010694	0.001619	-6.605633
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	0.013063	0.002843	4.594761
Вес, г	0.001068	0.000525	2.033537
Срок службы, мес	0.020964	0.005839	3.590637
Тип наушников_проводные	-0.288289	0.174510	-1.651994
Тип наушников_проводные, беспроводные	1.200166	1.235747	0.971207
Цвет_белый	-0.175180	0.114182	-1.534218
Цвет_не указано	0.332669	0.083031	4.006556
Цвет_черный	-0.175180	0.076260	-2.297151
Вид наушников_накладные	0.108242	0.179742	0.602207
Вид наушников_полноразмерные	0.103741	0.186282	0.556907
Тип акустического оформления_открытые	0.252250	0.111864	2.254982
Тип акустического оформления_полуоткрытые	-0.101522	0.191527	-0.530065
Чехол/футляр в комплекте_нет	-0.266475	0.095661	-2.785612
Страна производства_Китай	-0.360237	0.111710	-3.224765
Страна производства_США	0.845391	0.148108	5.707918
Страна производства_не указано	-0.289154	0.111927	-2.583423
Встроенный микрофон_нет	0.680506	0.150577	4.519335
Быстрая зарядка_нет	-0.428936	0.114524	-3.745391
Беспроводная зарядка_нет	-0.680943	0.108379	-6.282994
Складная конструкция_нет	0.076747	0.129461	0.592820

Рис. 14: Оценки коэффициентов квантильной регрессии, $q = 0.1$

	Coef.	Std.Err.	t
const	7.382057	0.207277	35.614458
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-0.001830	0.001992	-0.918720
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	0.012561	0.002220	5.659166
Вес, г	0.001195	0.000332	3.598142
Срок службы, мес	0.015862	0.005447	2.912027
Тип наушников_проводные	-0.361064	0.126434	-2.855751
Тип наушников_проводные, беспроводные	0.959963	0.610878	1.571448
Цвет_белый	-0.373829	0.084906	-4.402836
Цвет_не указано	0.283400	0.064371	4.402614
Цвет_черный	-0.227188	0.058810	-3.863055
Вид наушников_накладные	0.122761	0.121967	1.006514
Вид наушников_полноразмерные	0.010676	0.127473	0.083755
Тип акустического оформления_открытые	0.135274	0.085288	1.586088
Тип акустического оформления_полуоткрытые	-0.244005	0.132604	-1.840108
Чехол/футляр в комплекте_нет	-0.390283	0.068632	-5.686589
Страна производства_Китай	-0.257861	0.080835	-3.189981
Страна производства_США	0.943426	0.107570	8.770351
Страна производства_не указано	-0.155706	0.084224	-1.848717
Встроенный микрофон_нет	0.986321	0.109047	9.044889
Быстрая зарядка_нет	-0.338502	0.083480	-4.054864
Беспроводная зарядка_нет	-0.724641	0.077379	-9.364803
Складная конструкция_нет	0.098224	0.090024	1.091091

Рис. 15: Оценки коэффициентов квантильной регрессии, $q = 0.25$

	Coef.	Std.Err.	t
const	7.991018	0.203376	39.291822
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-0.002133	0.001847	-1.155286
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	0.009460	0.002053	4.608588
Вес, г	0.001489	0.000236	6.299279
Срок службы, мес	0.011114	0.005713	1.945217
Тип наушников_проводные	-0.454192	0.100649	-4.512628
Тип наушников_проводные, беспроводные	0.712637	0.417978	1.704961
Цвет_белый	-0.446433	0.073295	-6.090883
Цвет_не указано	0.146339	0.057680	2.537105
Цвет_черный	-0.171948	0.050784	-3.385895
Вид наушников_накладные	-0.068330	0.104828	-0.651822
Вид наушников_полноразмерные	-0.118110	0.094351	-1.251812
Тип акустического оформления_открытые	0.050581	0.072375	0.698878
Тип акустического оформления_полуоткрытые	-0.180744	0.115163	-1.569461
Чехол/футляр в комплекте_нет	-0.568053	0.060095	-9.452536
Страна производства_Китай	-0.413824	0.069577	-5.947699
Страна производства_США	0.642295	0.094014	6.831874
Страна производства_не указано	-0.177804	0.074409	-2.389544
Встроенный микрофон_нет	1.005666	0.082691	12.161681
Быстрая зарядка_нет	-0.169089	0.074378	-2.273386
Беспроводная зарядка_нет	-0.544542	0.064443	-8.450040
Складная конструкция_нет	0.068246	0.078437	0.870079

Рис. 16: Оценки коэффициентов квантильной регрессии, $q = 0.5$

	Coef.	Std.Err.	t
const	8.147537	0.182266	44.701395
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-0.004114	0.001962	-2.096956
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	0.009999	0.001848	5.410446
Вес, г	0.001248	0.000203	6.151418
Срок службы, мес	0.001403	0.004866	0.288314
Тип наушников_проводные	-0.598048	0.091857	-6.510640
Тип наушников_проводные, беспроводные	0.723698	0.496424	1.457823
Цвет_белый	-0.325599	0.070240	-4.635537
Цвет_не указано	0.166332	0.054320	3.062081
Цвет_черный	-0.099459	0.047748	-2.083017
Вид наушников_накладные	-0.069553	0.097540	-0.713068
Вид наушников_полноразмерные	0.102415	0.081742	1.252904
Тип акустического оформления_открытые	0.125184	0.069893	1.791085
Тип акустического оформления_полуоткрытые	-0.357088	0.108504	-3.290996
Чехол/футляр в комплекте_нет	-0.495300	0.057859	-8.560392
Страна производства_Китай	-0.369767	0.065822	-5.617671
Страна производства_США	0.459598	0.090026	5.105172
Страна производства_не указано	-0.290181	0.070363	-4.124061
Встроенный микрофон_нет	1.202674	0.072022	16.698672
Быстрая зарядка_нет	-0.007420	0.073407	-0.101087
Беспроводная зарядка_нет	-0.313143	0.061179	-5.118478
Складная конструкция_нет	0.191688	0.074398	2.576522

Рис. 17: Оценки коэффициентов квантильной регрессии, $q = 0.75$

	Coef.	Std.Err.	t
const	8.387996	0.212194	39.529759
Минимальная воспроизводимая частота, Гц	-0.004952	0.003147	-1.573397
Максимальная воспроизводимая частота, кГц	0.005935	0.002323	2.554702
Вес, г	0.001028	0.000245	4.200361
Срок службы, мес	-0.004458	0.005786	-0.770472
Тип наушников_проводные	-0.471871	0.104609	-4.510798
Тип наушников_проводные, беспроводные	0.628642	0.869099	0.723326
Цвет_белый	-0.278414	0.076897	-3.620617
Цвет_не указано	0.134986	0.060163	2.243651
Цвет_черный	-0.162368	0.053848	-3.015320
Вид наушников_накладные	-0.070975	0.114230	-0.621333
Вид наушников_полноразмерные	0.215243	0.088844	2.422710
Тип акустического оформления_открытые	0.179701	0.082944	2.166532
Тип акустического оформления_полуоткрытые	0.058011	0.122658	0.472952
Чехол/футляр в комплекте_нет	-0.566891	0.072046	-7.868506
Страна производства_Китай	-0.239906	0.073518	-3.263227
Страна производства_США	0.383800	0.105843	3.626110
Страна производства_не указано	-0.119569	0.077015	-1.552544
Встроенный микрофон_нет	1.348385	0.082981	16.249358
Быстрая зарядка_нет	-0.251959	0.088155	-2.858146
Беспроводная зарядка_нет	-0.074943	0.070762	-1.059079
Складная конструкция_нет	0.255315	0.086998	2.934717

Рис. 18: Оценки коэффициентов квантильной регрессии, $q = 0.9$

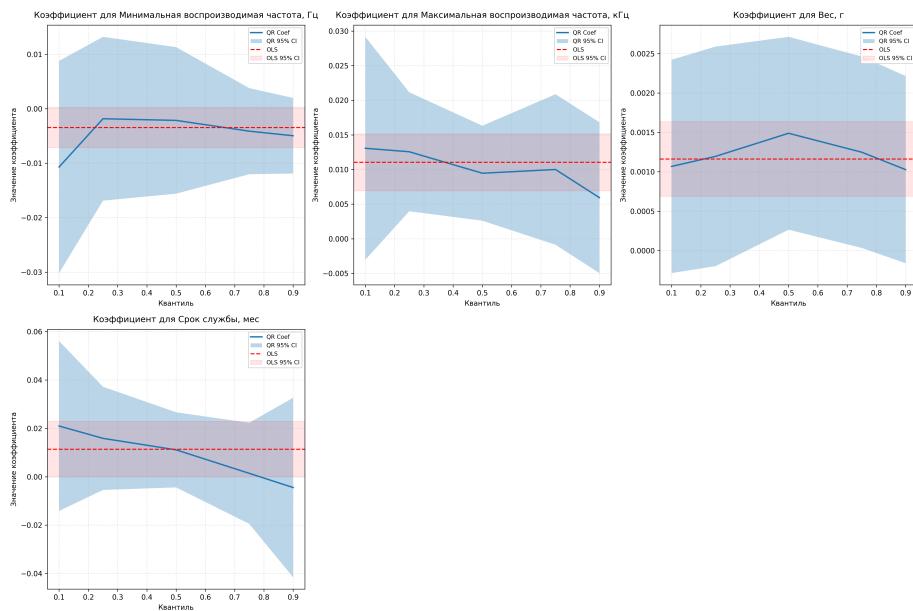


Рис. 19: Доверительный интервал для коэффициентов квантильной регрессии, числовые признаки.

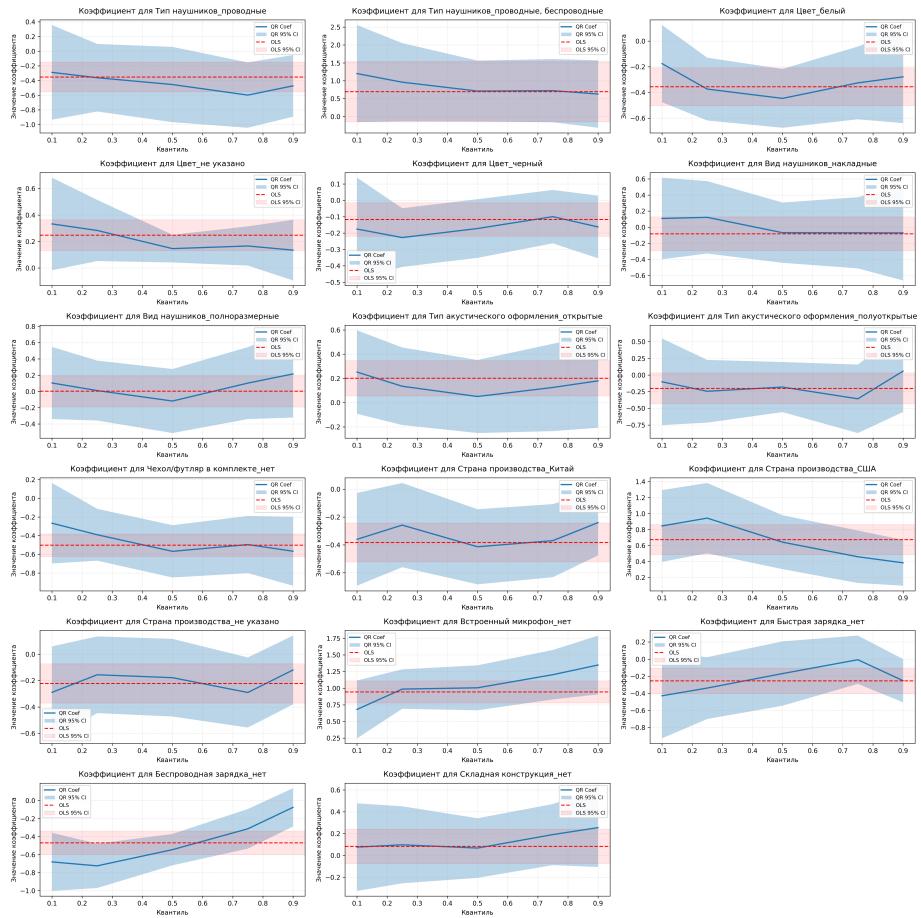


Рис. 20: Доверительный интервал для коэффициентов квантильной регрессии, категориальные признаки.

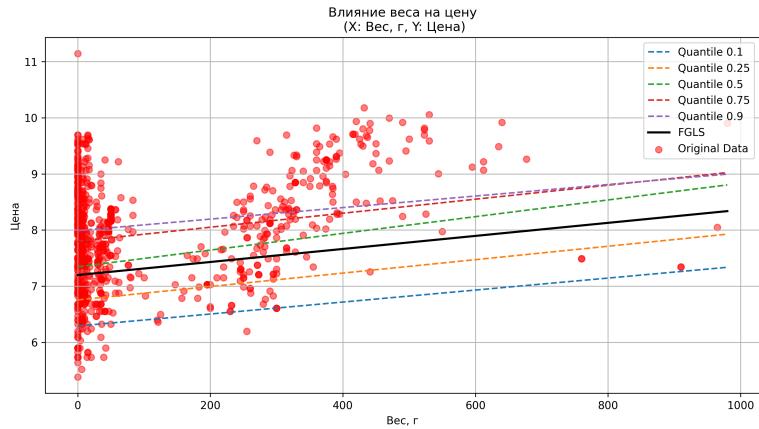


Рис. 21: Влияние веса наушников на цену, сравнение всех моделей.

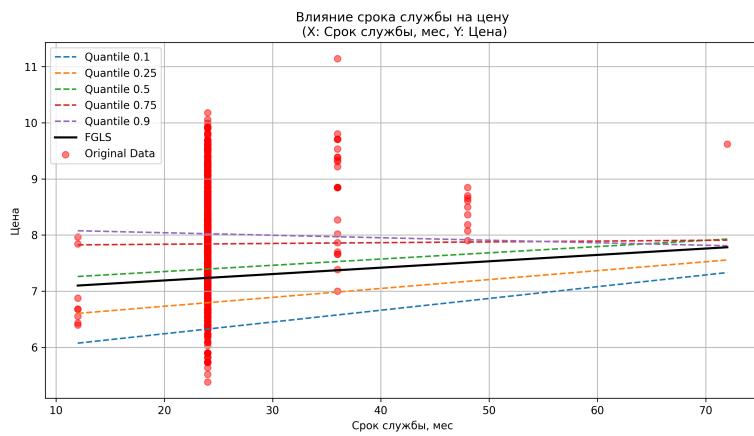


Рис. 22: Влияние срока службы наушников на цену, сравнение всех моделей.