

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СМАРТФОНОВ (НА ПРИМЕРЕ СМАРТФОНОВ iPhone КОМПАНИИ APPLE)*

Александр Евгеньевич ВАРШАВСКИЙ^а;
Мария Сергеевна КУЗНЕЦОВА^б

^а доктор экономических наук, кандидат технических наук,
профессор, руководитель лаборатории,
Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН),
Москва, Российская Федерация
varshav@cemi.rssi.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8229-3692>
SPIN-код: 7987-6250

^б старший лаборант,
Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН),
Москва, Российская Федерация
mary.cuznetsow2012@yandex.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 310/2021
Получена 27.05.2021
Получена в
доработанном виде
13.06.2021
Одобрена 30.06.2021
Доступна онлайн
15.09.2021

УДК 330.4
JEL: O14, O33

Ключевые слова:

смартфоны, технико-
экономические
показатели, удельный
коэффициент
поглощения
электромагнитной
энергии (SAR),
проблемные
инновации

Аннотация

Предмет. Анализ тенденций развития смартфонов iPhone на основе рассмотрения закономерностей изменения их основных технико-экономических показателей (количество ядер, частота процессора, объем оперативной памяти, объем встроенной памяти, емкость аккумулятора, размер диагонали экрана, вес, разрешение основной камеры, цена, удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии SAR).

Цели. Выявление закономерностей и тенденций изменения технико-экономических показателей смартфонов iPhone, взаимосвязи между показателями, а также зависимости цены и SAR от технических показателей.

Методология. Методология исследования основана на изучении и моделировании показателей смартфонов.

Результаты. Выявлена динамика и определены взаимосвязи технико-экономических показателей смартфонов iPhone. Определены основные зависимости цены и удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR от технических показателей смартфонов.

Выводы. Результаты исследования показывают, что с усложнением смартфона, которое отражается и в росте его цены, происходит также увеличение показателя SAR, то есть при сохранении существующих тенденций развития мобильных устройств, отражающих стремление к расширению их возможностей, можно ожидать повышения рисков для человека и окружающей среды. Проведенный анализ показал, что

величина SAR смартфонов увеличивается с ростом количества ядер и частоты процессора (а также объема оперативной памяти), что, как правило, сопровождается ростом цены, и вместе с тем снижается с увеличением размеров смартфона (диагонали экрана, веса, емкости аккумулятора).

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2021

Для цитирования: Варшавский А.Е., Кузнецова М.С. Анализ показателей инновационного развития смартфонов (на примере смартфонов iPhone компании Apple) // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2021. – Т. 17, № 9. – С. 1625 – 1649.
<https://doi.org/10.24891/ni.17.9.1625>

Введение

Современные смартфоны, помимо основных функций мобильного телефона, имеют операционную систему, обеспечивающую возможность программирования, доступ в Интернет, функции мультимедиа и др., а также набор датчиков и индикаторов. Однако использование этой техники связано также с определенными рисками для здоровья ее потребителя из-за электромагнитного излучения (ЭМИ) сверхвысоких частот (СВЧ), которое негативно воздействует на человеческий организм. Результаты зарубежных и отечественных исследований показывают, что при длительном воздействии ЭМИ СВЧ возможны заболевания центральной нервной, сердечно-сосудистой, иммунной и других систем, ухудшение общего здоровья, а также сокращение продолжительности жизни [1, 2].

За последние годы возможности смартфонов значительно расширились, в связи с чем представляет большой интерес анализ тенденций изменения их технико-экономических показателей, цены и уровня ЭМИ СВЧ, оцениваемого с помощью удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR (*Specific Absorption Rate*), а также анализ взаимосвязей между этими показателями.

В данной статье приведены результаты анализа технико-экономических показателей и их взаимосвязи на примере смартфонов iPhone компании Apple. Смартфоны iPhone обычно ассоциируются с богатством (по оценкам, средний пользователь iPhone зарабатывает на 40% больше, чем обладатели смартфонов других компаний¹), причем женщины составляют основную долю всех пользователей. При этом политика компании Apple, как отмечает

* Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-010-00065А.

¹ iPhone users earn higher income, engage more on Apps than Android users. Comscore, Inc. 14.08.2014. URL: <https://comscore.com/ita/Public-Relations/Infographics/iPhone-Users-Earn-Higher-Income-Engage-More-on-Apps-than-Android-Users>

ее генеральный директор Т. Кук, нацелена на выпуск смартфона, обеспечивающего максимальное удобство при минимально возможной цене, а не на продажу недорогого изделия². Подобная политика, нацеленная на максимизацию технических возможностей смартфона, как показывается в данной статье, одновременно ведет к повышению рисков для пользователей, росту показателя SAR.

В статье приведены зависимости технических показателей и цены смартфонов от года их выпуска, приведены результаты эконометрического анализа взаимосвязи технических показателей, а также зависимости цены и показателя SAR от технических показателей смартфонов. При этом использовалась методология, изложенная в работах Дж. Мартино [3], Д. Сахала [4] и А.Е. Варшавского [5]. Полученные эконометрические зависимости могут быть использованы при прогнозировании роста технических показателей, изменения цены и показателя SAR.

Динамика технико-экономических показателей смартфонов

Первый смартфон серии iPhone компании Apple был выпущен в 2007 г.³. В 2007–2019 гг. компания Apple выпустила 24 модели смартфонов 13 поколений⁴ (табл. 1). Можно выделить четыре группы смартфонов в соответствии с количеством ядер процессора.

Смартфоны с одноядерным процессором. В 2007–2010 гг. было выпущено четыре модели смартфонов четырех поколений: iPhone 2G (2007 г., 1 поколение), iPhone 3G (2008 г., 2 поколение), iPhone 3GS (2009 г., 3 поколение), iPhone 4 (2010 г., 4 поколение). За этот период частота процессора повысилась с 0,412 до 1 ГГц, объем оперативной памяти – с 0,128 до 0,5 Гб, емкость аккумулятора с – 1 150 до 1 420 мАч, разрешение основной камеры – с 2 до 5 Мпикс, объем встроенной памяти варьировался с 8 до 32 Гб, вес смартфонов находился в пределах 133–137 г⁵. SAR изменялся в диапазоне от 0,62 до 1,1 Вт/кг.

Все смартфоны, начиная со смартфона iPhone 3G, оснащаются акселерометром, датчиками расстояния, внешней освещенности и

² Williams R. Women more likely to own an iPhone than men. Daily Telegraph. London. 09.01.2015. URL: <https://telegraph.co.uk/technology/apple/iphone/11335574/Women-more-likely-to-own-an-iPhone-than-men.html>; Nielson S. Apple's Premium Pricing Strategy, Product Differentiation. Market Realist. 20.11.2020. URL: <https://marketrealist.com/2014/02/apples-premium-pricing-strategy-product-differentiation/>

³ Корпорация Apple. Досье // ТАСС. 06.09.2014. URL: <https://tass.ru/info/1425116>

⁴ Определение моделей iPhone. Apple Support / Apple Inc. URL: <https://support.apple.com/ru-ru/HT201296>

⁵ Спецификации (технические характеристики) iPhone. Apple Support / Apple Inc. URL: https://support.apple.com/kb/index?q=iPhone+Спецификации&src=globalnav_support&type=organic&page=search&locale=ru_RU

влажности, а начиная с iPhone 3GS – магнитометром, с iPhone 4 – трехосевым гироскопом.

Смартфоны с двухъядерным процессором. В 2011–2016 гг. было выпущено девять моделей смартфонов пяти поколений: iPhone 4S (2011 г., 5 поколение), iPhone 5 (2012 г., 6 поколение), iPhone 5C и iPhone 5S (2013 г., 7 поколение), iPhone 6 и iPhone 6 Plus (2014 г., 8 поколение), iPhone 6S и iPhone 6S Plus (2015 г., 9 поколение), iPhone SE (2016 г., 9 поколение). За этот период частота процессора повысилась с 1 до 1,9 ГГц, объем оперативной памяти – с 0,5 до 2 Гб, емкость аккумулятора – с 1 432 до 2 915 мАч, размер диагонали экрана – с 3,5 до 5,5 дюймов, разрешение основной камеры – с 8 до 12 Мпикс, объем встроенной памяти варьировался с 16 до 128 Гб, вес смартфонов находился в пределах 112–192 г. Начиная с модели iPhone 5S, стала использоваться система безопасной аутентификации Touch ID первого, а затем, начиная с iPhone 6S, второго поколения. Кроме того, модель iPhone 6 и все последующие были оснащены барометром.

При этом задняя часть корпуса большинства смартфонов была изготовлена из алюминия, за исключением моделей iPhone 4 (из стекла) и iPhone 5C (из поликарбоната, более дешевого материала, что снизило цену смартфона). SAR изменялся в диапазоне от 0,72 до 0,99 Вт/кг.

Смартфоны с четырехъядерным процессором. В 2016 г. были выпущены две модели смартфонов 10 поколения: iPhone 7 и iPhone 7 Plus. При этом объем оперативной памяти находился в пределах с 2 до 3 Гб, емкость аккумулятора повысилась с 1 960 до 2 900 мАч, размер диагонали экрана – с 4,7 до 5,5 дюймов, объем встроенной памяти варьировался от 32 до 256 Гб, вес – от 138 до 188 г. SAR изменялся в диапазоне от 1,24 до 1,38 Вт/кг.

Смартфоны с шестиядерным процессором. В 2017–2019 гг. было выпущено 9 моделей смартфонов трех поколений: iPhone 8, iPhone 8 Plus и iPhone X (2017 г., 11 поколение), iPhone XS, iPhone XS Max и iPhone XR (2018 г., 12 поколение), iPhone 11, iPhone 11 Pro и iPhone 11 Pro Max (2019 г., 13 поколение). За этот период частота процессора увеличилась с 2,4 до 2,65 ГГц, объем оперативной памяти – с 2 до 4 Гб, емкость аккумулятора – с 1 821 до 3 969 мАч, размер диагонали экрана – с 4,7 до 6,5 дюймов, объем встроенной памяти варьировался с 64 до 512 Гб, вес смартфонов находился в пределах 148–226 г. SAR изменялся в диапазоне от 0,92 до 1,32 Вт/кг. При этом в iPhone 8 и iPhone 8 Plus использовалась система безопасной аутентификации Touch ID второго поколения, а затем, в следующих

моделях, начиная с iPhone X, использовалась система идентификации лица Face ID⁶.

Зависимости технико-экономических показателей смартфонов от года выпуска

Зависимости технико-экономических показателей рассмотренных поколений смартфонов от года выпуска t имеют следующий вид (все приведенные в статье оценки параметров эконометрических моделей статистически значимы в соответствии с t -критерием Стьюдента, t -статистики $\geq |2|$):

- количество ядер процессора x_1 , ед.: $x_1 = 0,72e^{0,18T}$, $R^2 = 0,85$, где $T = t - 2007$, t – год выпуска, R^2 – коэффициент детерминации;
- частота процессора x_2 , ГГц: $x_2 = 0,2T + 0,24$, $R^2 = 0,95$ (рис. 1);
- объем оперативной памяти x_3 , Гб: $x_3 = 0,17e^{0,28T}$, $R^2 = 0,95$;
- объем встроенной памяти x_4 , Гб: минимальный объем встроенной памяти: $x_{4\min} = 5,14T - 5,32$, $R^2 = 0,76$, максимальный объем встроенной памяти: $x_{4\max} = 10,36e^{0,34T}$, $R^2 = 0,97$ (рис. 2);
- размер диагонали экрана x_6 в дюймах: $x_6 = 3,09e^{0,06T}$, $R^2 = 0,78$ (рис. 3);
- разрешение основной камеры x_8 , Мпикс: $x_8 = 0,87T + 2,9$, $R^2 = 0,86$;
- цена P , долл. США: минимальная цена модели: $P_{\min} = 15,66T + 535,81$, $R^2 = 0,66$, максимальная цена модели: $P_{\max} = 580,47e^{0,07T}$, $R^2 = 0,93$ (рис. 4) (максимальная и минимальная цена каждой модели смартфонов в основном зависит от объема встроенной памяти).

Приведенные зависимости позволяют ориентировочно оценить изменение каждого показателя за определенный период времени – например, рост частоты процессора за пять лет может составить 1 ГГц и т.п.

Удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии (SAR) смартфонов в 2008 г. составлял 0,88 Вт/кг, в 2014 г. – от 0,91 до 0,97 Вт/кг, в 2019 г. – от 0,95 до 0,99 Вт/кг, (рис. 5) (по данным Федерального бюро по радиационной защите Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)⁷, величина SAR смартфонов компании Apple в среднем примерно на 20–40% выше, чем у смартфонов других компаний).

⁶ Gibbs S. iPhone X: new Apple smartphone dumps home button for all-screen design // The Guardian. 12.09.2017. URL: <https://theguardian.com/technology/2017/sep/12/iphone-x-release-date-apple-home-button-screen>

⁷ SAR Suche / Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). URL: https://bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html?resourceId=6048906&input_=6046838&pageLocale=de&sarQueryString=&submit=Suchen

Анализ взаимосвязи технических показателей смартфонов

Для более точного прогнозирования целесообразно также знание взаимосвязи технических показателей. Проведенный анализ позволил оценить взаимосвязь следующих технических показателей:

1) зависимость частоты процессора x_2 от:

– количества ядер x_1 : $x_2 = 1,004\ln(x_1) + 0,74$, $R^2 = 0,89$ (рис. 6);

– объема оперативной памяти x_3 : $x_2 = 0,69\ln(x_3) + 1,54$, $R^2 = 0,92$;

2) зависимость веса смартфонов x_7 от:

– емкости аккумулятора x_5 : $x_7 = 0,04x_5 + 69,13$, $R^2 = 0,87$;

– размера диагонали экрана x_6 : $x_7 = 29,72x_6 + 13,61$, $R^2 = 0,8$ (рис. 7);

– зависимость емкости аккумулятора x_5 от размера диагонали экрана x_6 :
 $x_5 = 734,99x_6 - 1\,370,06$, $R^2 = 0,91$.

Результаты анализа показывают значительную корреляцию размера диагонали экрана, веса и емкости аккумулятора (коэффициент корреляции 0,89–0,96), поэтому в работе в большинстве случаев рассматривается размер диагонали экрана.

Анализ зависимости цены от технических показателей

В данном разделе приведены зависимости цены P смартфонов от частоты процессора x_2 , объема оперативной памяти x_3 , объема встроенной памяти x_4 , емкости аккумулятора x_5 , размера диагонали экрана x_6 , веса x_7 , разрешения основной камеры x_8 .

Смартфоны с одноядерным процессором. Были найдены зависимости цены P от следующих технических показателей:

– частоты процессора x_2 : $\ln P = 0,29\ln x_2 + 6,5 + 0,14D$, $R^2 = 0,92$, где $D = 0$ для смартфонов с минимальным и $D = 1$ – с максимальным объемом встроенной памяти;

– объема оперативной памяти x_3 : $\ln P = 0,2\ln x_3 + 6,63 + 0,14D$, $R^2 = 0,96$;

– объема встроенной памяти x_4 : $\ln P = 0,23\ln x_4 + 5,83$, $R^2 = 0,64$;

– разрешения основной камеры x_8 : $\ln P = 0,29\ln x_8 + 6,02 + 0,14D$, $R^2 = 0,95$.

Полученные оценки параметров моделей показывают, что увеличение на 10% частоты процессора приводит к росту цены на 2,9%, объема оперативной памяти – на 2%, объема встроенной памяти – на 2,3%, разрешения основной камеры – на 2,9%.

Смартфоны с двухъядерным процессором. Были получены оценки параметров двухфакторных эконометрических моделей зависимости цены P :

- от объема встроенной памяти x_4 и емкости аккумулятора x_5 :

$$\ln P = 0,13 \ln x_4 + 0,12 \ln x_5 - 0,15D + 6,09, R^2 = 0,9,$$

где $D = 1$, если задняя часть корпуса смартфона сделана из поликарбоната, и $D = 0$, если из других материалов;

- от объема встроенной памяти x_4 и веса x_7 :

$$\ln P = 0,13 \ln x_4 + 0,15 \ln x_7 - 0,17D + 5,4, R^2 = 0,89.$$

Полученные оценки параметров моделей показывают, что увеличение на 10% емкости аккумулятора приводит к росту цены на 1,2%, объема встроенной памяти – на 1,3%, веса смартфонов – на 1,5%. При этом использование поликарбоната для задней части корпуса приводит к снижению цены.

Смартфоны с четырехъядерным процессором. Анализ технико-экономических показателей двух моделей этой группы показывает, что увеличение объема оперативной памяти на 1 Гб приводит к росту цены на 120 долл. США, емкости аккумулятора на 1 Ач – на 127 долл., объема встроенной памяти на 1 Гб – на 0,9 долл., веса на 1 г – на 2 долл., размера диагонали экрана на 1 дюйм – на 150 долл. США.

Смартфоны с шестиядерным процессором. Были получены оценки параметров двухфакторных моделей зависимости цены P от:

- объема оперативной памяти x_3 и объема встроенной памяти x_4 :

$$P = 128,4x_3 + 0,98x_4 + 364,91, R^2 = 0,7;$$

- объема встроенной памяти x_4 и емкости аккумулятора x_5 :

$$P = 1,05x_4 + 142,08x_5 + 386,92, R^2 = 0,69;$$

- объема встроенной памяти x_4 и размера диагонали экрана x_6 :

$$\ln P = 0,17 \ln x_4 + 0,95 \ln x_6 + 4,35, R^2 = 0,56.$$

Полученные оценки параметров моделей показывают, что увеличение объема оперативной памяти на 1 Гб приводит к росту цены на 128 долл. США, емкости аккумулятора на 1 Ач – на 142 долл., объема встроенной памяти на 1 Гб – на 1 долл. США; при увеличении на 10% размера диагонали экрана цена возрастает на 9,5%.

Кроме того, была найдена зависимость цены от объема встроенной памяти x_4 для смартфонов с одинаковой диагональю экрана (отдельно рассматривались модели с диагональю экрана 5,8 и 6,5 дюйма) (рис. 8). Анализ показал, что при увеличении объема встроенной памяти цена возрастает в равной мере у смартфонов с размером диагонали экрана 5,8 дюйма (модели iPhone X, iPhone XS, iPhone 11 Pro) и 6,5 дюйма (модели iPhone XS Max, iPhone 11 Pro Max).

Зависимость цены P смартфонов от объема встроенной памяти x_4 : $P = 0,78x_4 + 100D + 949$, $R^2 = 1$, где $D = 0$, если размер диагонали экрана смартфона равен 5,8 дюйма, и $D = 1$, если 6,5 дюйма. Близкая зависимость наблюдается для смартфонов с размером диагонали экрана 6,1 дюйма.

В целом, приведенные модели показывают, что рост таких технических показателей, как объем оперативной памяти, объем встроенной памяти, частота процессора, емкость аккумулятора, размер диагонали экрана, вес, разрешение основной камеры ведет к повышению цены смартфонов.

Анализ зависимости SAR от технико-экономических показателей смартфонов

Уровень воздействия электромагнитного поля на организм человека оценивается с помощью удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR, который определяет энергию электромагнитного поля, поглощающуюся в тканях тела человека. Показатель SAR измеряется в ваттах на килограмм (Вт/кг)⁸. По европейским нормам допустимый уровень SAR у смартфона – 2 Вт/кг в расчете на 10 г тканей (при этом рекомендуемый уровень в Германии – до 0,6 Вт/кг)⁹. В США и Южной Корее уровень SAR не должен превышать 1,6 Вт/кг для 1 г тканей¹⁰.

Значения SAR определяют при работе смартфонов на максимальной мощности, где наиболее мощное электромагнитное излучение наблюдается во время звонка. Однако на практике излучаемая энергия смартфона зависит от конкретных условий приема и передачи сигнала.

Исследования электромагнитных полей мобильных телефонов проводились в работах Ю.Г. Григорьева [1, 2] и О.А. Григорьева [6], О.А. Вятлевой и др. [7], Н.И. Вторниковой и др. [8] и Г.Г. Верещако [9],

⁸ Specific Absorption Rate (SAR) Summary // National Radio Research Agency. URL: <https://tra.go.kr/en/sar/summary.do>

⁹ Spezifische Absorptionsraten (SAR) von Handys / Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). 27.01.2020. URL: <https://bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/mobilfunk/schutz/sar-handy.html>

¹⁰ SAR Compliance in Australia (by EMC Technologies) – Requirements for Mobile and Portable Transmitting Devices / EMC Technologies. 21.10.2019. URL: <https://emctech.com.au/sar-compliance-in-australia-requirements-for-mobile-and-portable-transmitting-devices/>

Н. Кустера и К. Бальцано [10], а также в рамках Национальной токсикологической программы¹¹. Результаты исследований свидетельствуют об отрицательном воздействии энергии электромагнитного поля на здоровье человека. Уже при 2 Вт/кг ткани в месте контакта со смартфоном могут слегка нагреваться, а негативное воздействие свыше 4,5–6 Вт/кг способно привести к росту температуры тела¹². При этом значения SAR меньше разрешенного также не могут гарантировать безопасности, поскольку пользователи часто используют сразу несколько смартфонов.

Это означает, что смартфоны являются наглядным примером проблемной инновации, которая приносит не только пользу, но и вред, то есть необходимо учитывать риски, вызываемые электромагнитным излучением, которое негативно воздействует на здоровье человека [11].

В настоящей работе также исследовалась зависимость SAR от цены P и рассмотренных ранее технических показателей.

Результаты анализа показывают, что величина SAR увеличивается с ростом количества ядер и частоты процессора (а также объема оперативной памяти) как для легких, так и для тяжелых смартфонов, и снижается с увеличением размеров смартфона (диагонали экрана, веса, емкости аккумулятора).

Были рассмотрены три группы смартфонов: с одноядерным и двухъядерным процессорами, с четырехъядерным процессором, с шестиядерным процессором.

Смартфоны с одноядерным и двухъядерным процессорами. Рассматривались две группы смартфонов – весом 129–140 г и 172–192 г. Были получены следующие зависимости SAR от технико-экономических показателей.

Для смартфонов с весом 129–140 г:

- от максимальной цены – модели с максимальным объемом встроенной памяти P_{\max} : $SAR = 0,0003P_{\max} + 0,74$, $R^2 = 0,67$;
- от количества ядер x_1 : $SAR = 0,07x_1 + 0,83$, $R^2 = 0,78$;
- от частоты процессора x_2 : $SAR = 0,08x_2 + 0,86$, $R^2 = 0,56$.

Для смартфонов с весом 172–192 г получены зависимости SAR от следующих технических показателей:

¹¹ Cell Phone Radio Frequency Radiation / National Toxicology Program.
URL: <https://ntp.niehs.nih.gov/whatwestudy/topics/cellphones/index.html>

¹² Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) / ICNIRP.
URL: <https://icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

- частоты процессора x_2 : $SAR = 0,04x_2 + 0,85, R^2 = 1$;
- объема оперативной памяти x_3 : $SAR = 0,02x_3 + 0,89, R^2 = 1$.

Таким образом, с ростом количества ядер процессора, частоты процессора (объема оперативной памяти) величина SAR увеличивается.

Анализ зависимости SAR от размеров смартфона (диагонали экрана, веса, емкости аккумулятора) для смартфонов с одноядерным и двухъядерным процессорами показал, что величина SAR негативно коррелирована:

- с размером диагонали экрана x_6 смартфонов: $SAR = -0,02x_6 + 1,05 - 0,09D, R^2 = 0,66$, где $D = 1$, если задняя часть корпуса смартфона сделана из пластика, и $D = 0$, если из других материалов;
- с емкостью аккумулятора x_5 : $SAR = -0,03x_5 + 1,01 - 0,1D, R^2 = 0,74$;
- с весом x_7 : $SAR = -0,0008x_7 + 1,07 - 0,08D, R^2 = 0,67$.

Таким образом, величина SAR снижается с ростом размера диагонали экрана, веса и емкости аккумулятора.

Результаты оценки параметров приведенных однофакторных зависимостей показывают, что при росте количества ядер на 1 SAR увеличивается на 0,07 Вт/кг (у смартфонов с весом 129–140 г), частоты процессора на 1 ГГц – на 0,04–0,08 Вт/кг, объема оперативной памяти на 1 Гб – на 0,02 Вт/кг (у смартфонов с весом 172–192 г); и снижается при росте емкости аккумулятора на 1 Ач – на 0,03 Вт/кг, веса на 1 г – на 0,001 Вт/кг и размера диагонали экрана на 1 дюйм – на 0,02 Вт/кг.

Смартфоны с четырехъядерным процессором. Сопоставление двух моделей этой группы смартфонов показывает, что у смартфона iPhone 7, имеющего меньшие размеры, чем у iPhone 7 Plus, величина SAR выше (1,38 и 1,24 Вт/кг соответственно).

Смартфоны с шестиядерным процессором. Наиболее высокое значение SAR в данной группе имеет смартфон iPhone 8 (1,32 Вт/кг), отличающийся меньшими габаритами (размером диагонали экрана, емкостью аккумулятора) и весом. Так, у iPhone 8 емкость аккумулятора меньше на 895 мАч, вес – на 26 г, размер диагонали экрана – на 1,1 дюйма, чем у iPhone X, у которого показатель SAR меньше – 0,92 Вт/кг.

Анализ смартфонов с одинаковым размером диагонали экрана (отдельно рассматривались модели с диагональю экрана 5,8 дюйма и 6,5 дюйма) позволил получить дополнительные зависимости SAR от технических показателей. Была найдена зависимость SAR от:

- объема оперативной памяти x_3 смартфонов с диагональю 5,8 дюйма:
 $SAR = 0,07x_3 + 0,71, R^2 = 1$;
- емкости аккумулятора x_5 смартфонов с диагональю 6,5 дюйма:
 $SAR = -0,05x_5 + 1,15, R^2 = 1$;
- веса x_7 смартфонов с диагональю 6,5 дюйма: $SAR = -0,002x_7 + 1,45, R^2 = 1$.

Таким образом, при одинаковом размере диагонали экрана смартфон с большим значением емкости аккумулятора и весом имеет меньшее значение SAR.

Также был проведен дополнительный анализ зависимости SAR от основных технических показателей (количества ядер, частоты процессора, объема оперативной памяти) отдельно для легких (с весом 129–148 г и диагональю экрана до 5 дюймов) и тяжелых смартфонов (с весом 172–194 г и диагональю экрана более 5 дюймов), результаты которого представлены далее.

Зависимость SAR легких и тяжелых смартфонов от основных технических показателей

Анализ взаимосвязи SAR и количества ядер x_1 , частоты процессора x_2 , объема оперативной памяти x_3 отдельно для легких и тяжелых смартфонов позволил получить следующие зависимости SAR:

- от количества ядер x_1 для смартфонов:
 - с весом 129–148 г: $SAR = 0,11x_1 + 0,79, R^2 = 0,81$;
 - с весом 172–194 г: $SAR = 0,01x_1 + 0,89, R^2 = 0,6$;
- от частоты процессора x_2 для смартфонов:
 - с весом 129–148 г: $SAR = 0,27x_2 + 0,69, R^2 = 0,89$;
 - с весом 172–194 г: $SAR = 0,07x_2 + 0,81, R^2 = 0,64$;
- от объема оперативной памяти x_3 для смартфонов:
 - с весом 129–148 г: $SAR = 0,26x_3 + 0,8, R^2 = 0,88$;
 - с весом 172–194 г: $SAR = 0,03x_3 + 0,88, R^2 = 0,72$.

Таким образом, эластичность зависимости SAR от рассмотренных технических показателей для тяжелых смартфонов значительно ниже по сравнению с более легкими смартфонами, то есть рост SAR с увеличением соответствующего показателя происходит у тяжелых смартфонов в

значительно меньшей степени, чем у легких. Оценки параметров полученных зависимостей показывают, что у смартфонов с весом 129–148 г SAR увеличивается при росте количества ядер на 1 на 0,11 Вт/кг, частоты процессора на 1 ГГц – на 0,27 Вт/кг, объема оперативной памяти на 1 Гб – на 0,26 Вт/кг. В то же время у смартфонов с весом 172–194 г SAR увеличивается в меньшей степени: при росте количества ядер на 1 – на 0,01 Вт/кг, частоты процессора на 1 ГГц – на 0,07 Вт/кг, объема оперативной памяти на 1 Гб – на 0,03 Вт/кг.

Заключение

Итак, с усложнением смартфона, которое отражается и в росте его цены, происходит также увеличение показателя SAR, то есть при сохранении существующих тенденций развития мобильных устройств, отражающих стремление к расширению их возможностей, можно ожидать повышения рисков для человека и окружающей среды [11].

Проведенный анализ показал, что величина SAR смартфонов увеличивается с ростом количества ядер и частоты процессора (а также объема оперативной памяти), что, как правило, сопровождается ростом цены, и вместе с тем снижается с увеличением размеров смартфона (диагонали экрана, веса, емкости аккумулятора).

Все это необходимо учитывать как при разработке новых моделей смартфонов, так и при их приобретении и эксплуатации потребителем.

Следует учитывать рекомендации экспертов: сократить время разговоров, использовать режим громкой связи или наушники, не совершать звонки при слабом сигнале, снимать очки с металлической оправой во время разговора, не класть смартфон на ночь возле подушки, не держать смартфон в кармане брюк, груди или на поясе и т.п. [1, 2].

Таблица 1**Технико-экономические показатели смартфонов iPhone****Table 1****Technical and economic indicators of iPhone**

№	Модель	Год	Кол-во ядер, ед.	Частота процессора, ГГц	Максимальный объем встроенной памяти, Гб	Размер диагонали экрана, дюйм	Цена, долл. США	SAR, Вт/кг
1	iPhone 2G	2007	1	0,412	8	3,5	...	0,62
2	iPhone 3G*	2008	1	0,412	16	3,5	569	0,88
3	iPhone 3GS*	2009	1	0,6	16	3,5	699	1,1
4	iPhone 4	2010	1	1	32	3,5	749	0,93
5	iPhone 4S	2011	2	1	64	3,5	849	0,99
6	iPhone 5	2012	2	1,3	64	4	849	0,9
7	iPhone 5c**	2013	2	1,3	32	4	649	0,96
8	iPhone 5s	2013	2	1,3	64	4	849	0,98
9	iPhone 6	2014	2	1,4	128	4,7	849	0,97
10	iPhone 6 Plus	2014	2	1,4	128	5,5	949	0,91
11	iPhone 6s	2015	2	1,8	128	4,7	849	0,87
12	iPhone 6s Plus	2015	2	1,9	128	5,5	949	0,93
13	iPhone SE	2016	2	1,8	64	4	...	0,72
14	iPhone 7	2016	4	2,34	256	4,7	849	1,38
15	iPhone 7 Plus	2016	4	2,34	256	5,5	969	1,24
16	iPhone 8	2017	6	2,4	256	4,7	849	1,32
17	iPhone 8 Plus	2017	6	2,4	256	5,5	949	0,99
18	iPhone X	2017	6	2,4	256	5,8	1 149	0,92
19	iPhone XR	2018	6	2,4	256	6,1	899	0,99
20	iPhone XS	2018	6	2,4	512	5,8	1 349	0,99
21	iPhone XS Max	2018	6	2,4	512	6,5	1 449	0,99
22	iPhone 11	2019	6	2,65	256	6,1	849	0,95
23	iPhone 11 Pro	2019	6	2,65	512	5,8	1 349	0,99
24	iPhone 11 Pro Max	2019	6	2,65	512	6,5	1 449	0,95

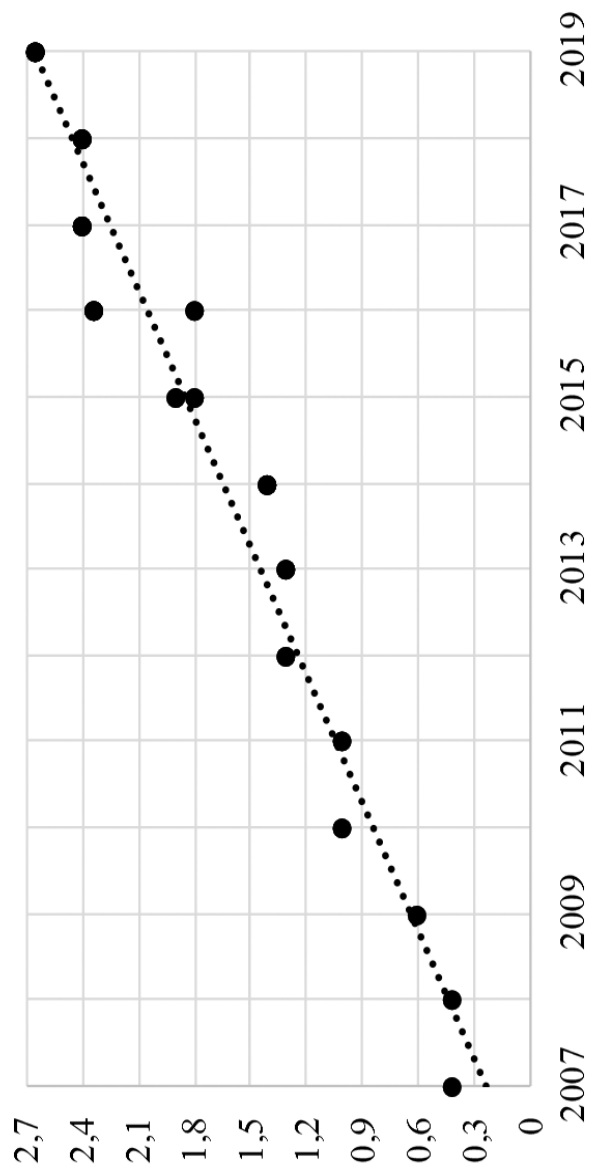
Примечание. * – задняя часть корпуса смартфона сделана из пластика; ** – задняя часть корпуса смартфона из поликарбоната.

Источник: авторская разработка по данным Apple и Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Source: Authoring based on Apple and Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) data

Рисунок 1
Динамика частоты процессора смартфонов, ГГц

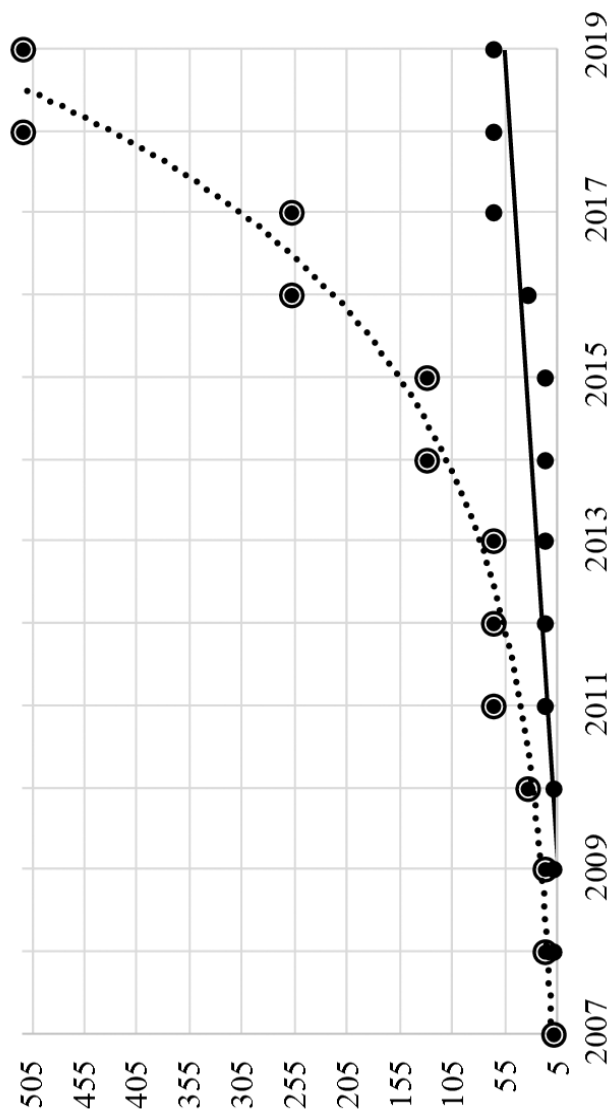
Figure 1
The dynamics of the processor frequency of smartphones, GHz



Источник: авторская разработка по данным Apple

Source: Authoring based on Apple data

Рисунок 2
Динамика минимального X_{4min} и максимального X_{4max} объема встроенной памяти смартфонов, Гб
Figure 2
The dynamics of minimum X_{4min} and maximum X_{4max} amount of the internal memory of smartphones, Gb

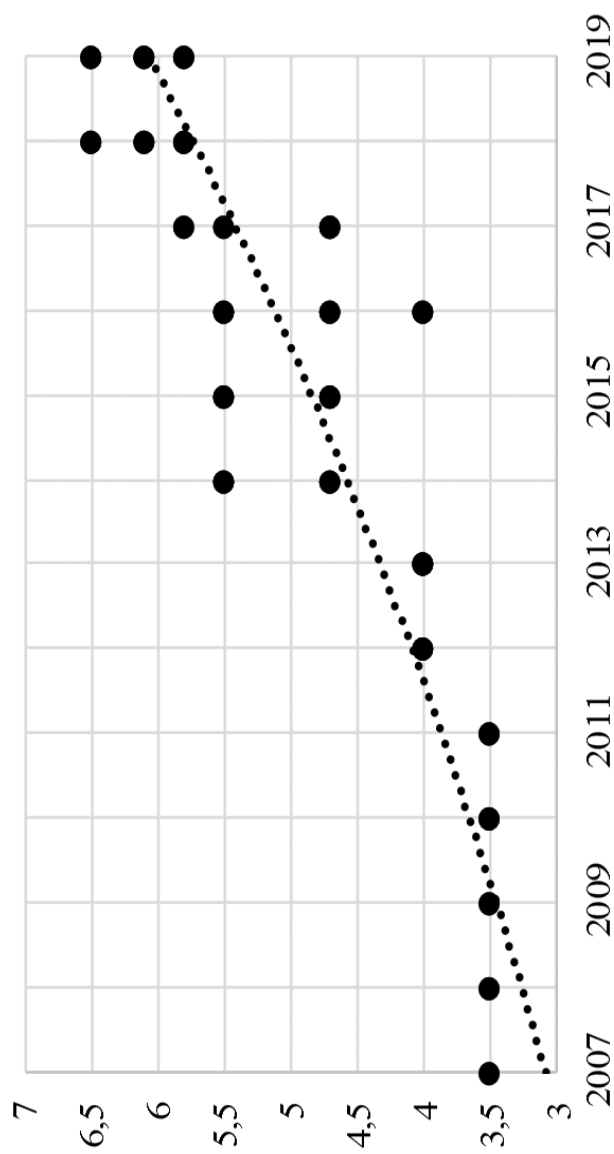


Источник: авторская разработка по данным Apple

Source: Authoring based on Apple data

Рисунок 3
Динамика размера диагонали экрана смартфонов, дюйм

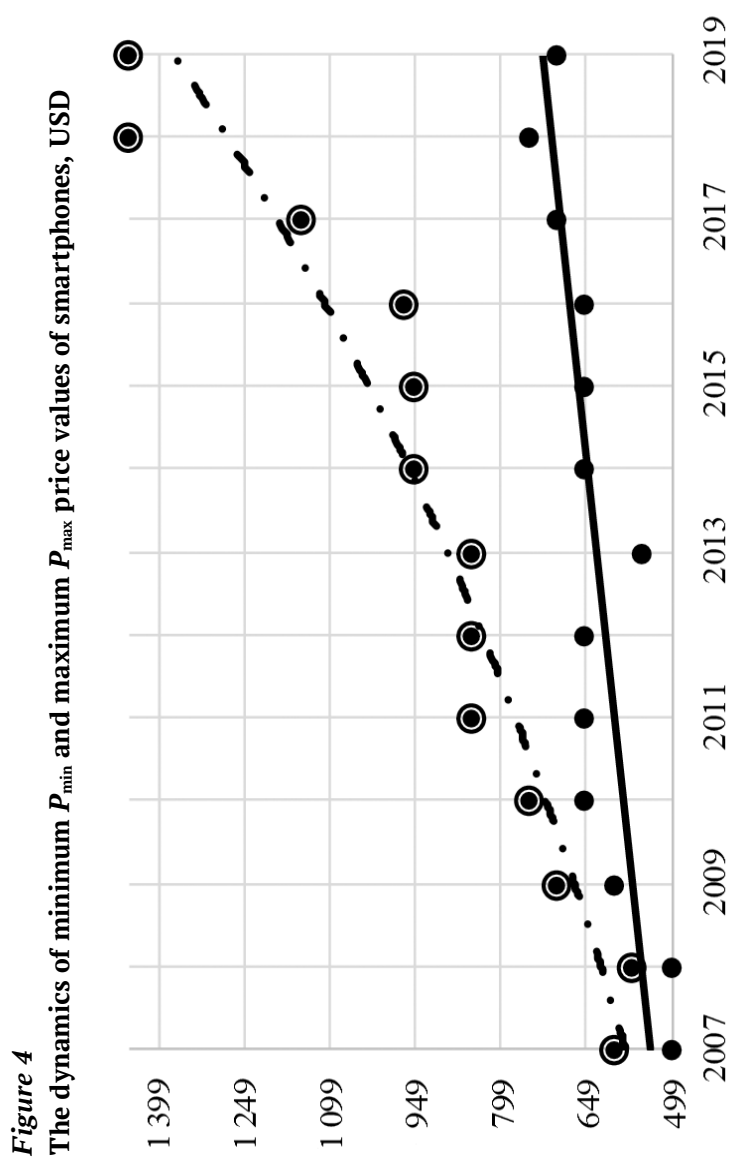
Figure 3
The dynamics of the screen diagonal dimension of smartphones, inch



Источник: авторская разработка по данным Apple

Source: Authoring based on Apple data

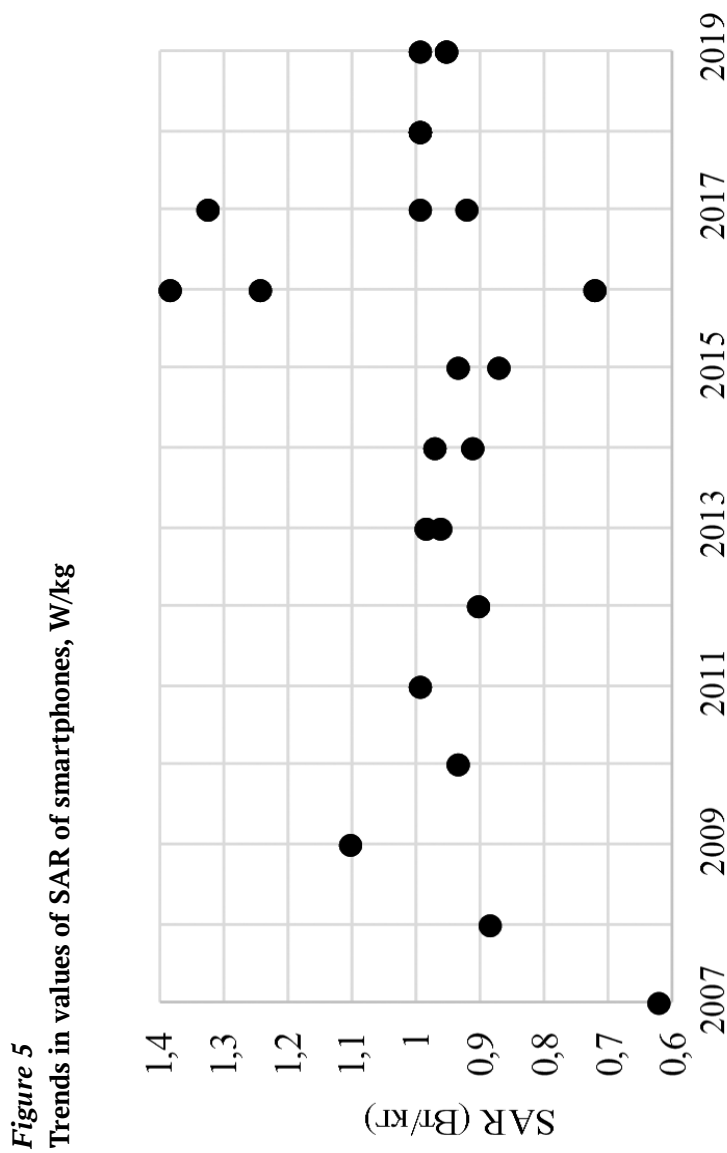
Рисунок 4
 Динамика минимальных P_{\min} и максимальных значений P_{\max} цены смартфонов, долл. США



Источник: авторская разработка по данным Apple

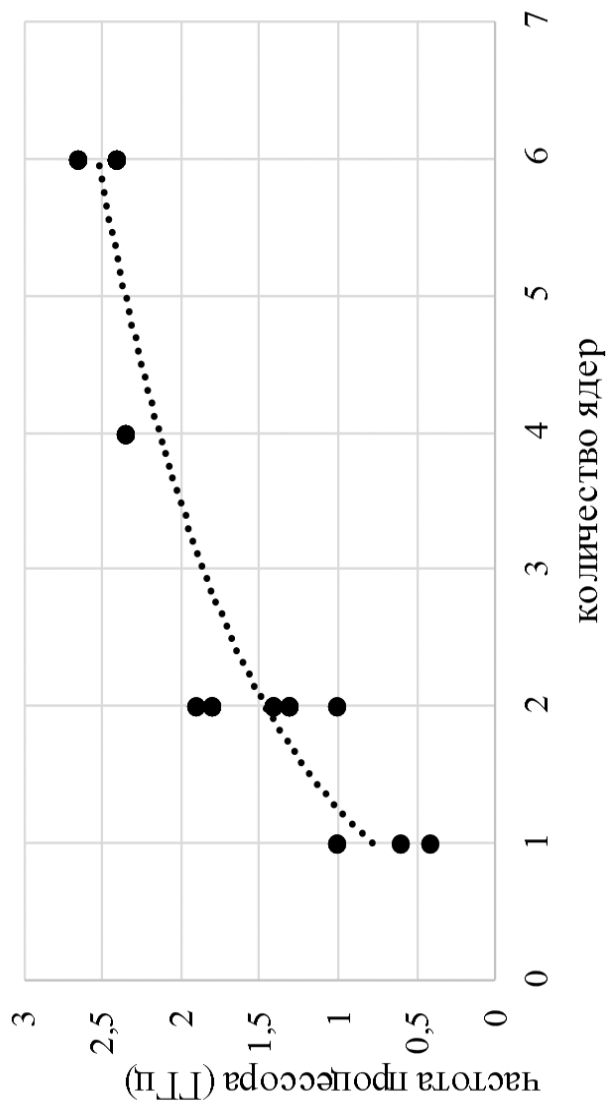
Source: Authoring based on Apple data

Рисунок 5
Динамика значений удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR) смартфонов, Вт/кг



Источник: авторская разработка по данным Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Source: Authoring based on Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) data

Рисунок 6
Взаимосвязь частоты процессора и количества ядер смартфонов, ГГц
Figure 6
The relationship between the processor frequency and the number of smartphone cores, GHz

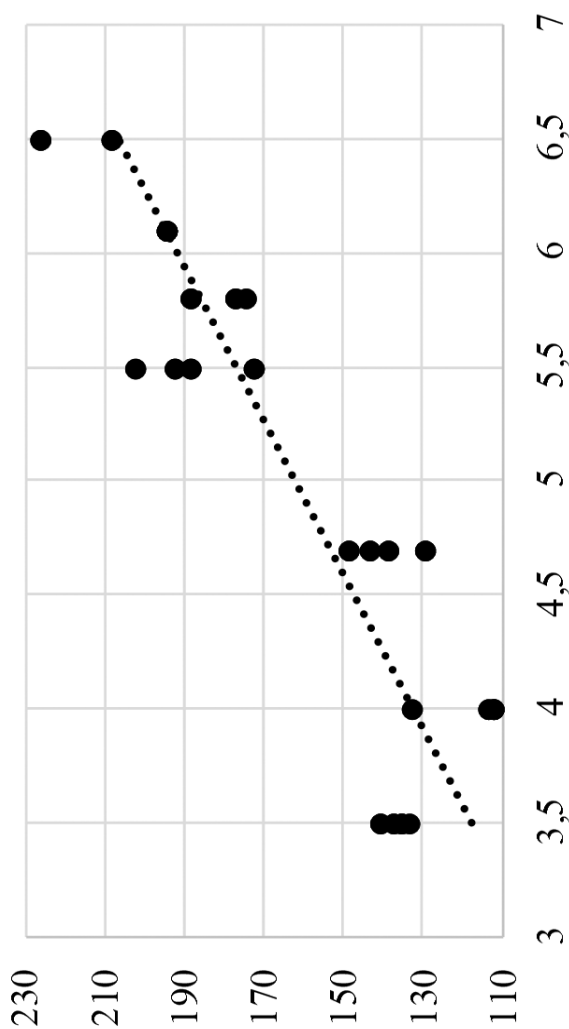


Источник: авторская разработка по данным Apple

Source: Authoring based on Apple data

Рисунок 7
Взаимосвязь веса (г) и размера диагонали экрана (дюймов) смартфонов

Figure 7
The relationship between the weight (g) and screen diagonal dimension (inch) of smartphones



Источники: авторская разработка по данным Apple

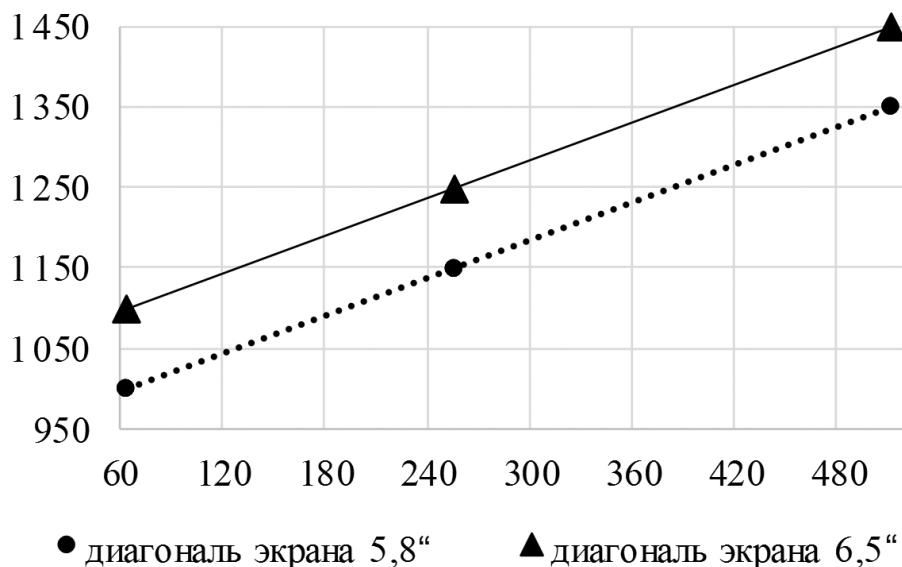
Source: Authoring based on Apple data

Рисунок 8

Зависимость цены (долл. США) от объема встроенной памяти (Гб) для смартфонов с шестиядерным процессором и размером диагонали экрана 5,8 дюйма и 6,5 дюйма

Figure 8

The dependence of the price (USD) on the internal memory (Gb) for smartphones with the six-core processor and a 5,8 inch- and 6,5 inch screen diagonal



Источник: авторская разработка по данным Apple

Source: Authoring based on Apple data

Список литературы

1. Григорьев Ю.Г. От электромагнитного смога до электромагнитного хаоса. К оценке опасности мобильной связи для здоровья населения // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2018. Т. 63. № 3. С. 28–33.
URL: https://doi.org/10.12737/article_5b168a752d92b1.01176625
2. Григорьев Ю.Г. Мобильная связь и электромагнитная опасность для здоровья населения. Современная оценка риска – от электромагнитного смога до электромагнитного хаоса (обзор литературы) // *Вестник новых медицинских технологий*. 2019. № 2. С. 88–95.
URL: <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2019-16347>
3. Мартино Дж.П. Технологическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1977. 591 с.
4. Сахал Д. Технический прогресс: концепции, модели, оценки / под ред. А.А. Рывкина. М.: Финансы и статистика, 1985. 366 с.

5. *Варшавский А.Е.* Научно-технический прогресс в моделях экономического развития: методы анализа и оценки. М.: Финансы и статистика, 1984. 208 с.
6. *Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А.* Сотовая связь и здоровье. Электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности. М.: Экономика, 2013. 567 с.
7. *Вятлева О.А., Курганский А.М.* Риски для здоровья, связанные с режимами использования и уровнем излучения мобильных телефонов, у современных младших школьников // *Гигиена и санитария*. 2019. Т. 98. № 11. С. 1267–1271.
URL: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1267-1271>
8. *Вторникова Н.И., Бабалян А.В., Карелин А.О., Иванов В.А.* Оценка интенсивности электромагнитного излучения мобильных телефонов, воздействующего на голову человека // *Ученые записки СпбГМУ им. акад. И.П. Павлова*. 2017. Т. 24. № 4. С. 75–81.
URL: <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2017-24-4-75-81>
9. *Верещако Г.Г.* Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на состояние мужской репродуктивной системы и потомство. Минск: Беларуская навука, 2015. 190 с.
10. *Kuster N., Balzano Q.* Energy absorption mechanisms by biological bodies in the near field of dipole antennas // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1992. Vol. 41. Iss. 1. P. 17–23.
URL: <https://doi.org/10.1109/25.120141>
11. *Варшавский А.Е.* Проблемные инновации: риски для человечества. М.: ЛЕНАНД, 2014. 328 с.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

ANALYZING SMARTPHONE INNOVATIVE DEVELOPMENT: EVIDENCE FROM APPLE'S iPhone

Aleksandr E. VARSHAVSKII ^{a,*},
Mariya S. KUZNETSOVA ^b

^a Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
varshav@cemi.rssi.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8229-3692>

^b Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS),
Moscow, Russian Federation
mary.cuznetsow2012@yandex.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 310/2021
Received 27 May 2021
Received in revised
form 13 June 2021
Accepted 30 June 2021
Available online
15 September 2021

JEL classification: O14,
O33

Keywords:

smartphone, feasibility
indicator, specific
absorption rate, SAR,
problematic innovation

Abstract

Subject. We analyze development trends in iPhone by reviewing the way their key technological and economic indicators change.

Objectives. We trace patterns and trends in technological and economic indicators of iPhone, correlations of the indicators, and the dependence of the price and SAR on technological indicators.

Methods. Following our methodology, we study and model indicators of smartphones.

Results. We traced and determined the correlation of technological and economic indicators of iPhone. The article demonstrates how the price and SAR mainly depend on technological indicators of smartphones.

Conclusions and Relevance. As the findings show, as the above smartphone gets more technologically sophisticated, i.e. the price and SAR increase, we can expect higher risks for the man and the environment, though the mobile device development trends may still persevere. As seen from the analysis, SAR increases as smartphones have more cores and processor frequency, operation memory, which basically entails higher prices. In the mean time, the above indicators lower as the smartphone dimensions grow (screen diagonal, weight, battery capacity).

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2021

Please cite this article as: Varshavskii A.E., Kuznetsova M.S. Analyzing Smartphone Innovative Development: Evidence from Apple's iPhone. *National Interests: Priorities and Security*, 2021, vol. 17, iss. 9, pp. 1625–1649.
<https://doi.org/10.24891/ni.17.9.1625>

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), grant № 20-010-00065A.

References

1. Grigor'ev Yu.G. [From Electromagnetic Smog to Electromagnetic Chaos. To Evaluating the Hazards of Mobile Communication for Health of the Population]. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'* = *Medical Radiology and Radiation Security*, 2018, vol. 63, iss. 3, pp. 28–33. (In Russ.) URL: https://doi.org/10.12737/article_5b168a752d92b1.01176625
2. Grigor'ev Yu.G. [Cellular communication and electromagnetic health hazards of the population. Modern risk assessment – from electromagnetic smog to electromagnetic chaos]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii = Journal of New Medical Technologies*, 2019, no. 2, pp. 88–95. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2019-16347>
3. Martino J.P. *Tekhnologicheskoe prognozirovanie* [Technological Forecasting for Decision Making]. Moscow, Progress Publ., 1977, 591 p.
4. Sahal D. *Tekhnicheskii progress: kontseptsii, modeli, otsenki* [Technological progress: concepts, models, estimates. Russian edition]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 1985, 366 p.
5. Varshavskii A.E. *Nauchno-tekhnicheskii progress v modelyakh ekonomicheskogo razvitiya: metody analiza i otsenki* [Scientific and technological progress in economic development models: Methods for analysis and evaluation]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 1984, 208 p.
6. Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev O.A. *Sotovaya svyaz' i zdorov'e. Elektromagnitnaya obstanovka. Radiobiologicheskie i gigienicheskie problemy. Prognoz opasnosti* [Cellular communication and health. Electromagnetic conditions. Radiobiological and hygienic problems. Hazard forecast]. Moscow, Ekonomika Publ., 2013, 567 p.
7. Vyatleva O.A., Kurganskii A.M. [Risks for health associated with use modes and radiation level of cell phones in modern younger schoolchildren]. *Gigiena i sanitaria = Hygiene and Sanitation*, 2019, vol. 98, no. 11, pp. 1267–1271. (In Russ.) URL: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1267-1271>
8. Vtornikova N.I., Babalyan A.V., Karelin A.O., Ivanov V.A. [Evaluation of EMF exposure of mobile phones on human head]. *Uchenye zapiski SPbGMU im. akad. I.P. Pavlova = Scientific Notes of Pavlov University*, 2017, vol. 24, no. 4, pp. 75–81. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2017-24-4-75-81>

9. Vereshchako G.G. *Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya mobil'nykh telefonov na sostoyanie muzhskoi reproduktivnoi sistemy i potomstvo* [The influence of electromagnetic radiation of mobile phones on the male reproductive system and offsprings]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2015, 190 p.
10. Kuster N., Balzano Q. Energy Absorption Mechanisms by Biological Bodies in the Near Field of Dipole Antennas. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1992, vol. 41, iss. 1, pp. 17–23.
URL: <https://doi.org/10.1109/25.120141>
11. Varshavskii A.E. *Problemnye innovatsii: riski dlya chelovechestva* [Problematic innovations: Risks to humanity]. Moscow, LENAND Publ., 2014, 328 p.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.