

pISSN 2073-2872
eISSN 2311-875X

Инновации и инвестиции

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СМАРТФОНОВ (НА ПРИМЕРЕ СМАРТФОНОВ NOKIA КОМПАНИЙ NOKIA, MICROSOFT И HMD)

Александр Евгеньевич ВАРШАВСКИЙ ^{a,*},
Мария Сергеевна КУЗНЕЦОВА ^b

^a 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

^b младший научный сотрудник,
Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН),
Москва, Российская Федерация
mary.cuznetsow2012@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0982-608X>
SPIN-код: 9670-7187

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 322/2022
Получена 07.07.2022
Получена в
доработанном виде
16.09.2022
Одобрена 03.11.2022
Доступна онлайн
15.12.2022

УДК 330.4

JEL: O14, O33

Ключевые слова:

смартфоны, техпроцесс,
чипсет, технико-
экономические
показатели, удельный
коэффициент
поглощения
электромагнитной
энергии

Аннотация

Предмет. Закономерности изменения технико-экономических показателей смартфонов Nokia.

Цели. Анализ технических параметров смартфонов средней ценовой категории Nokia.

Методология. Применены математические методы исследования.

Результаты. Определены взаимосвязи технико-экономических показателей смартфонов Nokia. Установлена зависимость цены и удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии от технических показателей и техпроцесса, на основе которого изготовлены чипсеты.

Выводы. Развитие технологии производства смартфонов, как правило, сопровождается ростом цены и повышением рисков для здоровья человека из-за увеличения удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2022

Для цитирования: Варшавский А.Е., Кузнецова М.С. Анализ показателей инновационного развития смартфонов (на примере смартфонов Nokia компаний Nokia, Microsoft и HMD) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2022. – Т. 18, № 12. – С. 2379 – 2405.
<https://doi.org/10.24891/ni.18.12.2379>

Введение

Техпроцесс (топологический размер микросхем) характеризует уровень технологии, определяет размеры транзисторов: чем меньше нанометров в техпроцессе, тем выше скорость работы и, в целом, больше производительность процессора. Соответственно, расширяются возможности и производительность современных смартфонов, что позволяет использовать устройства более интенсивно. Вместе с тем, как правило, повышаются риски для здоровья человека.

В данной работе проведен анализ технико-экономических показателей смартфонов Nokia на основе исследования тенденций развития техпроцесса чипсетов Qualcomm в 2007–2021 гг. Выбор смартфонов Nokia был обусловлен наличием статистических данных, позволяющих провести исследование с учетом исходных показателей, характеризующих развитие техпроцесса.

Рассмотрено изменение технических показателей в результате снижения техпроцесса, оценена взаимосвязь технических показателей и техпроцесса, проведен анализ динамики и взаимосвязи технических показателей. Изучены такие вопросы, как расширение функциональных возможностей смартфонов, зависимость цены от технических показателей, а также удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR) от технико-экономических показателей.

В процессе исследования использовалась методология представленная в работах Дж. Мартино [1], Д. Сахала [2] и А.Е. Варшавского [3]. Полученные эконометрические зависимости могут быть использованы при прогнозировании изменения техпроцесса, цены и величины SAR, а также роста технических показателей. Следует подчеркнуть, что все приведенные в работе зависимости построены с учетом причинно-следственных связей в развитии технологии (техпроцесс – чипсет – характеристики процессора – поглощение электромагнитной энергии).

В работе рассматриваются следующие показатели: техпроцесс, серия чипсета, поколение чипсета, количество арифметико-логических устройств

(АЛУ), частота центрального процессора (CPU), частота графического процессора (GPU), количество ядер, объем оперативной памяти, объем встроенной памяти, емкость аккумулятора, размер диагонали экрана, вес, разрешение основной камеры, цена, удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии.

Динамика развития техпроцесса, на основе которого изготовлены чипсеты Qualcomm

В 2011–2020 гг. смартфоны под брендом Nokia (временно Microsoft Lumia) были выпущены такими производителями, как Nokia (Финляндия)¹, Microsoft (США)² и HMD Global (Финляндия)³. Nokia объявила о сотрудничестве и стратегическом партнерстве с FII Mobile (подразделение тайваньского контрактного производителя Foxconn International Holding) и HMD Global⁴ на период 2016–2026 гг.

В смартфонах Nokia используются чипсеты Snapdragon компании Qualcomm (США), которая является мировым лидером в разработке технологий для беспроводной связи, а также систем на кристалле. Мобильные чипсеты Qualcomm семейства Snapdragon используются в телефонах Nokia, Samsung и др., в компании занято около 45 тыс. сотрудников, общая выручка превышает 33,5 млрд долл. США, чистая прибыль – свыше 9 млрд долл. США, затраты на исследования и разработки – более 7 млрд долл. США. Эти чипсеты (набор микросхем, для совместной работы с целью выполнения определенных функций) включают:

- центральный процессор (CPU);
- графический процессор Adreno (GPU);
- цифровой процессор обработки сигналов Hexagon – Digital Signal Processor (DSP);

¹ Первые смартфоны Nokia на базе Windows Phone представлены официально.
URL: <https://www.ferra.ru/news/mobile/Nokia-Lumia-26-10-2011.htm>

² Nokia представила первые смартфоны на Windows Phone.
URL: <https://ria.ru/20111026/471352291.html>

³ HMD Closes Nokia Brand and Patents Deal with Microsoft, Smartphones Due in 2017.
URL: <https://www.anandtech.com/show/10879/hmd-closes-nokia-brand-and-patents-deal-with-microsoft-nokia-smartphones-on-the-way>

⁴ The Legend Lives on: Nokia-branded Android Smartphones are Coming.
URL: <https://www.androidauthority.com/legend-lives-nokia-branded-android-smartphones-coming-soon-693048/>

- процессор обработки изображений Image Signal Processor (ISP);
- ряд модулей связи.

В семействе чипсетов Snapdragon выделяют два поколения. Первое поколение – чипсеты серии Snapdragon *S1*, *S2*, *S3*, *S4* – производились в 2007–2012 гг. За этот период техпроцесс снизился в целом с 65 до 28 nm, в том числе в чипсетах серии *S1* – с 65 до 45 nm, серии *S4* – с 45 до 28 nm (в чипсетах серий *S2* и *S3* величина техпроцесса составляла 45 nm); количество ядер CPU увеличилось с 1 до 4 ед., частота процессора – с 0,6 до 1,9 ГГц.

Второе поколение – чипсеты серии Snapdragon 2, 4, 6, 7, 8 – производятся с 2013 г. За 2013–2021 гг. техпроцесс снизился в целом с 45 до 5 nm, в том числе в чипсетах серии 2 – с 45 до 28 nm, серии 4 – с 28 до 8 nm, серии 6 – с 28 до 6 nm, серии 7 – с 10 до 5 nm, серии 8 – с 28 до 5 nm; количество ядер CPU увеличилось с 2 до 8 ед., частота процессора – с 1 до 3,2 ГГц. При этом чипсеты серии 2 используются для бюджетных, серии 4 – для бюджетных и среднебюджетных, серии 6 – для среднебюджетных, серии 7 – для среднебюджетных и более дорогих, серии 8 – для самых дорогих устройств.

На *рис. 1* представлена динамика техпроцесса, на основе которого изготовлены чипсеты первого и второго поколений серии Snapdragon. В рассматриваемых смартфонах Nokia используются чипсеты обоих поколений. В целом развитие чипсетов Qualcomm характеризуется тенденцией к увеличению количества ядер и частоты процессора.

Временные зависимости, характеризующие динамику техпроцесса (для первого года анонсирования чипсетов)

Развитие чипсетов характеризуется снижением величины техпроцесса. Следует отметить, что ряд чипсетов первого поколения, а также второго поколения серий 2 и 6 построены на основе техпроцесса различной величины, для них рассматриваются минимальные значения техпроцесса (z_{min}).

Динамика величины техпроцесса, на основе которого изготовлены чипсеты, описывается несколькими уравнениями. Чипсеты первого поколения:

$$z_{min} = 45 - 3,4T \quad ,$$

где $T=t-2007$, t – первый год анонсирования чипсета, $R^2=1$, R^2 – коэффициент детерминации (все приведенные в данной статье оценки параметров эконометрических моделей статистически значимы; при этом предполагается, что все полученные зависимости могут быть использованы для экстраполяции на краткосрочную перспективу – порядка 3–5 лет).

Чипсеты второго поколения (кроме чипсетов серии 2 с техпроцессом 28 nm) описываются следующими уравнениями. Серия 4:

$$z=26,88e^{(-0,15T)},$$

где $T=t-2013$, $R^2=0,96$.

Серия 6:

$$z_{min}=26,41e^{(-0,18T)}; R^2=0,98.$$

Серия 7:

$$z=30,72e^{(-0,22T)}; R^2=0,97.$$

Серия 8:

$$z=24,66e^{(-0,24T)}, R^2=0,97.$$

Зависимость показателей графических процессоров Qualcomm от времени и величины техпроцесса

Рассмотрены следующие показатели графических процессоров Qualcomm (GPU Adreno): техпроцесс, количество арифметико-логических устройств (АЛУ) и частота графического процессора. При этом исследована динамика величины техпроцесса для первого и последнего годов выпуска GPU, зависимость количества АЛУ и частоты графического процессора (GPU) от года выпуска GPU, а также определены зависимости количества АЛУ и частоты GPU от величины техпроцесса.

За 2008–2021 гг. величина техпроцесса, на основе которого построены GPU Qualcomm, снизилась с 65 до 7 nm, количество АЛУ возросло с 8 до 1 536 ед., частота GPU увеличилась с 133 до 950 МГц. Таким образом, в целом снижение техпроцесса привело к увеличению количества АЛУ и частоты GPU.

Динамика величины техпроцесса z , nm описывается следующими временными зависимостями. Для первого года выпуска GPU:

$$z = 66,09 e^{(-0,21 T)},$$

где $T = t_1 - 2008$, t_1 – первый год выпуска GPU, $R^2 = 0,99$ (рис. 2).

Для последнего года выпуска GPU:

$$z = 107,43 e^{(-0,2 T)},$$

где $T = t_2 - 2008$, t_2 – последний год выпуска GPU, $R^2 = 0,93$.

Для смартфонов Nokia 2011–2020 гг., рассмотренных в данной статье, временная зависимость величины техпроцесса z , nm для первого года выпуска смартфона имеет следующий вид:

$$z = 68,56 e^{(-0,18 T)}; R^2 = 0,95.$$

Таким образом, GPU Qualcomm и смартфоны Nokia имеют близкую динамику величины техпроцесса (для первого года их выпуска) в целом с лагом от одного до трех лет. Динамика количества АЛУ n (ед.) и частоты GPU f_2 , МГц описывается, соответственно, следующими временными зависимостями (рис. 3):

$$n = 6,95 e^{(-0,37 T)}; R^2 = 0,7,$$

$$f_2 = 49,73 T + 199,8; R^2 = 0,72.$$

Далее были определены следующие зависимости количества АЛУ и частоты GPU от техпроцесса (рис. 4). Для среднего количества АЛУ n

$$\ln(n) = 10,57 - 2,03 \ln(z); R^2 = 0,83.$$

Для максимального количества АЛУ n_{max}

$$\ln(n_{max}) = 11,63 - 2,17 \ln(z); R^2 = 0,96.$$

Для минимального количества АЛУ n_{min}

$$\ln(n_{min}) = 9,97 - 2,1 \ln(z); R^2 = 0,99.$$

Зависимость частоты GPU f_2 от техпроцесса z (рис. 5) имеет следующий вид. В среднем

$$f_2 = 976,22 e^{(-0,03z)}; R^2 = 0,85 \text{ .}$$

Для максимальной частоты GPU

$$f_{2max} = 1\,442,65 e^{(-0,04z)}; R^2 = 0,99 \text{ .}$$

Для минимальной частоты GPU

$$f_{2min} = 882,77 e^{(-0,03z)}; R^2 = 0,9 \text{ .}$$

Таким образом, снижение величины техпроцесса сопровождается ростом количества АЛУ и частоты GPU. Например, снижение техпроцесса на 10% приводит к росту АЛУ на 20–22%.

Динамика технических показателей смартфонов

Анализ динамики технических показателей 31 модели смартфонов Nokia 2011–2020 гг. выпуска (техпроцесс, частота центрального процессора (CPU), количество ядер, объем оперативной памяти, объем встроенной памяти, емкость аккумулятора, размер диагонали экрана) выявил следующие временные зависимости.

Техпроцесс z , nm:

$$z = 43,27 e^{(-0,15T)}; R^2 = 0,7 \text{ ,}$$

где $T = t_1 - 2\,011$, t_1 – первый год выпуска модели смартфона. Для первого года использования новой величины техпроцесса в смартфоне зависимость имеет следующий вид (рис. 6):

$$z = 40,28 e^{(-0,18T)}; R^2 = 0,95 \text{ .}$$

Частота процессора f_1 , ГГц:

для максимальной частоты процессора

$$f_{1max} = 0,18 T + 1,35; R^2 = 0,99 \text{ ,}$$

для минимальной частоты процессора (рис. 7)

$$f_{1min} = 0,18 T - 0,54; R^2 = 0,9 \text{ .}$$

Количество ядер y , ед.:

$$y=0,91 T+0,81; R^2=0,75 \quad .$$

Объем оперативной памяти m_1 , Гб (рис. 8):

$$m_1=0,36 e^{0,32 T}; R^2=0,63 \quad .$$

Объем встроенной памяти m_2 , Гб:

для максимального объема встроенной памяти

$$m_{2max}=19,53 e^{0,22 T}; R^2=0,94 \quad ,$$

для минимального объема встроенной памяти

$$m_{2min}=3,78 e^{0,33 T}; R^2=0,75 \quad .$$

Емкость аккумулятора A , мАч:

для максимальной емкости аккумулятора

$$A_{max}=305 T+1\,922,5; R^2=0,82 \quad ,$$

для минимальной емкости аккумулятора

$$A_{min}=281,8 T+950,36; R^2=0,85 \quad .$$

Размер диагонали экрана d , дюйм:

для максимального размера диагонали экрана

$$d_{max}=0,3 T+4,37; R^2=0,73 \quad ,$$

для минимального размера диагонали экрана

$$d_{min}=0,34 T+3,34; R^2=0,99 \quad .$$

Полученные эконометрические зависимости позволяют осуществить краткосрочный прогноз технических показателей. В соответствии с ними можно ориентировочно предположить, что в смартфонах к 2025 г. техпроцесс может составить 5 nm, частота процессора – от 2 до 3,9 ГГц, количество ядер – 13 ед., объем оперативной памяти – 32 Гб, объем встроенной памяти – от 385 до 426 Гб, емкость аккумулятора – от 4,9 до 6,2 Ач, размер диагонали экрана – от 8,1 до 8,6 дюймов.

Анализ взаимосвязи технических показателей смартфонов

Проведенный анализ позволил оценить зависимость частоты процессора f_1 от техпроцесса z :

$$\ln(f_1) = 2,05 - 0,54 \ln(z); R^2 = 0,6 \quad ;$$

для максимальной частоты процессора

$$\ln(f_{1max}) = 2,09 - 0,46 \ln(z); R^2 = 1 \quad ;$$

для минимальной частоты процессора:

$$\ln(f_{1min}) = 2,13 - 0,62 \ln(z), R^2 = 0,98 \quad .$$

Проведенный анализ позволил оценить также зависимость объема оперативной памяти m_1 от техпроцесса z

$$\ln(m_1) = 6,05 - 1,84 \ln(z), R^2 = 0,67 \quad ,$$

от частоты процессора f_1

$$m_1 = 3,59 f_1 - 3,43; R^2 = 0,75 \quad ,$$

от количества ядер y

$$m_1 = 0,63 y - 0,88; R^2 = 0,63 \quad ,$$

от объема встроенной памяти m_2

$$m_1 = 0,05 m_2 + 0,37; R^2 = 0,91 \quad .$$

Для смартфонов с техпроцессом 28 nm были определены зависимости объема оперативной памяти m_1 от частоты процессора f_1 и количества ядер y

$$m_1 = 0,33 y + 1,87 f_1 - 2,44; R^2 = 0,6 \quad ,$$

зависимость веса смартфонов w (г) от емкости аккумулятора A

$$w = 0,03 A + 90,91; R^2 = 0,65 \quad ,$$

зависимость емкости аккумулятора A от размера диагонали экрана d :

$$A = 950,48 d - 2\,324,81; R^2 = 0,92 \quad .$$

Полученные выражения показывают, что снижение величины техпроцесса приводит к росту частоты процессора, количества ядер и объема оперативной памяти. Например, при снижении величины техпроцесса на 10% частота процессора может возрасти примерно на 5–6%, а объем оперативной памяти – на 18%.

Анализ зависимости цены смартфонов от технических показателей

Эконометрические модели, описывающие зависимость цены смартфонов Nokia 2011–2020 гг. выпуска от техпроцесса, серии чипсета, частоты процессора, количества ядер, объема оперативной памяти, объема встроенной памяти, емкости аккумулятора, размера диагонали экрана, веса и разрешения основной камеры, были построены для всех смартфонов Nokia с чипсетами первого и второго поколений, а также для смартфонов с чипсетами второго поколения.

В *табл. 1* для смартфонов Nokia с чипсетами первого и второго поколений приведены оценки параметров зависимости цены от:

- частоты процессора и разрешения основной камеры (модель 1);
- количества ядер и емкости аккумулятора (модель 2);
- количества ядер и размера диагонали экрана (модель 3);
- количества ядер и веса (модель 4);
- объема оперативной памяти (модель 5);
- объема встроенной памяти и разрешения основной камеры (модель 6).

С помощью разработанных моделей (*табл. 1*) можно показать, что увеличение частоты процессора на 1 ГГц приводит к росту цены на 23 тыс. руб., количества ядер на 1 ед. – на 3–5 тыс. руб., объема оперативной памяти на 1 Гб – на 7 тыс. руб., емкости аккумулятора на 100 мАч – на 1 тыс. руб., размера диагонали экрана на 1 дюйм – на 6 тыс. руб., веса на 10 г – на 1,7 тыс. руб., разрешения основной камеры на 5 Мпикс – на 1,6 тыс. руб. При увеличении объема встроенной памяти на 10% цена возрастает на 4,6%, разрешения основной камеры – на 4,2%.

В *табл. 2* для смартфонов с чипсетами второго поколения приведены оценки параметров зависимости цены от:

- техпроцесса и емкости аккумулятора (модель 1);

- серии чипсета, частоты процессора и разрешения основной камеры (модель 2);
- частоты процессора и емкости аккумулятора (модель 3);
- серии чипсета, количества ядер и емкости аккумулятора (модель 4);
- серии чипсета и объема оперативной памяти (модель 5);
- серии чипсета и объема встроенной памяти (модель 6);
- серии чипсета и размера диагонали экрана (модель 7);
- серии чипсета и разрешения основной камеры (модель 8).

С помощью разработанных моделей (табл. 2) можно показать, что у смартфонов с чипсетами второго поколения снижение техпроцесса на 1 нм приводит к росту цены на 1,6 тыс. руб., увеличение частоты процессора на 1 ГГц – к росту цены на 11–23 тыс. руб., количества ядер на 1 ед. – на 3 тыс. руб., объема оперативной памяти на 1 Гб – на 3 тыс. руб., объема встроенной памяти на 10 Гб – на 1,3 тыс. руб., емкости аккумулятора на 100 мАч – на 0,4–1 тыс. руб., размера диагонали экрана на 1 дюйм – на 4,6 тыс. руб., разрешения основной камеры на 5 Мпикс – на 1–1,5 тыс. руб., а использование в смартфонах следующей серии чипсета приводит к росту цены на 4–6 тыс. руб.

Анализ зависимости SAR смартфонов от технико-экономических показателей

Воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) оценивается с помощью удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR (Specific Absorption Rate), который определяет энергию электромагнитного поля, поглощаемую в тканях тела человека (Вт/кг)⁵. Результаты многочисленных исследований о негативном воздействии ЭМИ мобильных телефонов на здоровье человека приведены в работах Ю.Г. Григорьева, О.А. Григорьева, М.С. Бляхера, С.Э. Шибанова, С.Г. Яценко, С.Ю. Рыбалко, Я. Штэйн и др. [4–10].

Допустимый уровень SAR у смартфона отличается по странам. При этом в России установлены наиболее жесткие нормативы. Однако гарантировать безопасность не может и величина SAR меньше разрешенного уровня, поскольку часть потребителей использует несколько смартфонов. Это

⁵ Spezifische Absorptionsraten (SAR) von Handys.

URL: <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/vorsorge/sar-handys/sar-handys.html>

означает, что необходимо учитывать риски от ЭМИ смартфонов, которые являются одним из наиболее распространенных примеров проблемных инноваций [11].

Расширение возможностей смартфонов связано с улучшением техпроцесса. Разработчики стремятся уменьшить техпроцесс (количество nm), чтобы увеличить производительность и улучшить технические показатели смартфонов. В работе [12] было показано, что рост количества ядер, частоты процессора и объема оперативной памяти приводит к увеличению значений *SAR* смартфонов. В данной работе дополнительно проведено исследование зависимости *SAR* от техпроцесса, поколения и серии чипсетов, используемых в смартфонах Nokia 2011–2020 гг. выпуска, а также от частоты процессора, количества ядер, объема оперативной памяти, размера диагонали экрана, веса и цены.

Результаты анализа показывают, что величина *SAR* увеличивается по мере развития технологии (со снижением техпроцесса, возрастанием серии чипсета, использованием чипсета следующего поколения, с ростом частоты процессора, количества ядер и объема оперативной памяти), снижается с увеличением габаритных размеров (диагонали экрана и веса) и увеличивается с расширением потребительских характеристик смартфонов, что приводит к повышению цены.

Были определены зависимости величины *SAR* от технических показателей для всех рассмотренных смартфонов Nokia, для смартфонов с однокядерным процессором (техпроцессом 45 nm), с двухъядерным и четырехъядерным процессором (28 nm), а также для смартфонов с шестиядерным и восьмиядерным процессором, с чипсетами Snapdragon второго поколения серий 7 и 8 (20–7 nm) и смартфонов с восьмиядерным процессором (28–7 nm).

Так, анализ технических показателей всех рассмотренных смартфонов Nokia 2011–2020 гг. выпуска, использующих чипсеты первого и второго поколений, показал, что значительное влияние на величину *SAR* оказывает размер диагонали экрана d :

$$SAR = 1,78 - 0,23d + 0,58D; R^2 = 0,5 \quad ,$$

где $D=1$ для смартфонов с техпроцессом 7 и 10 nm, $D=0$ для смартфонов с техпроцессом 20, 28, 45 nm. Анализ этой модели показывает, что снижение техпроцесса приводит к росту величины *SAR*, а увеличение размера диагонали экрана смартфона на 1 дюйм – к снижению на 0,2 Вт/кг.

Анализ технических показателей смартфонов с одноядерным процессором (техпроцесс 45 nm), использующих чипсеты первого поколения, показал, что при возрастании серии чипсета величина SAR увеличивается на 0,5 Вт/кг, при увеличении частоты процессора на 1 ГГц – на 0,3 Вт/кг.

Сопоставление смартфонов с близким весом (126–132 г) и размером диагонали экрана 3,7 дюйма показывает, что при увеличении частоты процессора на 1 ГГц величина SAR возрастает на 0,8 Вт/кг, при увеличении объема оперативной памяти на 1 Гб – на 1,6 Вт/кг, при росте цены на 1 тыс. руб. – на 0,1 Вт/кг. Для смартфонов с двухъядерным и четырехъядерным процессором (техпроцесс 28 nm) и близким весом (127–129 г) были рассчитаны зависимости SAR от частоты процессора f_1 :

$$SAR = 1,4 f_1 - 0,59; R^2 = 0,94 ,$$

а также от количества ядер:

$$SAR = 0,14 y + 0,53; R^2 = 0,94 .$$

Анализ моделей показывает, что увеличение частоты процессора на 1 ГГц приводит к росту SAR на 1,4 Вт/кг, количества ядер на 1 ед. – на 0,1 Вт/кг.

Кроме того, были рассмотрены смартфоны с чипсетами второго поколения и близкими значениями технических показателей (частота процессора 1,1–1,2 ГГц, объем встроенной памяти 8 Гб). Была построена двухфакторная модель, описывающая зависимость величины SAR от цены P и серии чипсета s второго поколения (без смартфона Lumia 640 XL, который значительно отличается разрешением основной камеры):

$$SAR = 0,02 P + 0,09 s + 0,31; R^2 = 0,88 ,$$

где $s=2$ для смартфонов с чипсетом второго поколения серии 2, $s=4$ для смартфонов с чипсетом второго поколения серии 4. Анализ этой модели показывает, что увеличение цены на 10 тыс. руб. приводит к росту величины SAR на 0,2 Вт/кг, использование чипсета второго поколения серии 4 – на 0,36 Вт/кг.

Также был рассмотрен ряд смартфонов с двухъядерным процессором (техпроцесс 28 nm), которые используют чипсеты первого и второго поколений. Были рассчитаны зависимости величины SAR от поколения чипсета g и размера диагонали экрана d :

$$SAR = 0,28 g - 0,36 d + 2,37; R^2 = 0,79 ,$$

где $g=1$ для смартфонов с чипсетом первого поколения (серия 4S) и $g=2$ для смартфонов с чипсетом второго поколения (серия 4), а также от размера диагонали экрана d :

$$\ln SAR = 2,05 - 1,53 \ln(d); R^2 = 67 \quad ,$$

и от веса w :

$$\ln SAR = 4,93 - 1,03 \ln(w); R^2 = 0,66 \quad .$$

С помощью этих моделей можно показать, что использование чипсетов второго поколения приводит к росту величины SAR на 0,3 Вт/кг, увеличение размера диагонали экрана на 1 дюйм приводит к снижению величины SAR на 0,36 Вт/кг; при увеличении на 10% размера диагонали экрана SAR снижается на 15%, при увеличении веса – на 10%.

Кроме того, была рассчитана зависимость величины SAR от размера диагонали экрана d для смартфонов с двухъядерным, четырехъядерным и восьмьюдерным процессором и техпроцессом 28 nm (без смартфонов Lumia 435 и Lumia 532, для которых требуются дополнительные данные):

$$\ln SAR = 2,29 - 1,69 \ln(d); R^2 = 0,56 \quad .$$

Данная модель показывает, что увеличение на 10% размера диагонали экрана приводит к снижению величины SAR на 17%.

Для смартфонов с шестиядерным и восьмьюдерным процессором (техпроцесс 20-7 nm) используют чипсеты второго поколения серий 7 и 8. Были рассчитаны зависимости величины SAR от техпроцесса z :

$$\ln SAR = 1,4 - 0,71 \ln(z); R^2 = 0,97 \quad ,$$

и от объема оперативной памяти m_1 :

$$SAR = 0,1 m_1 + 0,18; R^2 = 0,96 \quad .$$

С помощью разработанных моделей можно показать, что снижение техпроцесса на 10% приводит к росту величины SAR на 7,1%, увеличение объема оперативной памяти на 1 Гб – к росту на 0,1 Вт/кг.

Для смартфонов с восьмьюдерным процессором (техпроцесс 28-7 nm) используют чипсеты второго поколения. Была рассчитана зависимость величины SAR от техпроцесса z :

$$\ln SAR = 1,07 - 0,55 \ln(z); R^2 = 0,94 \quad .$$

Анализ модели показывает, что снижение на 10% техпроцесса приводит к росту величины SAR на 5,5%; при увеличении частоты процессора на 1 ГГц величина SAR возрастает на 0,3 Вт/кг, а при увеличении объема оперативной памяти на 1 Гб – на 0,1 Вт/кг. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что величина SAR увеличивается при снижении техпроцесса, возрастании серии чипсета, использовании чипсета второго поколения, росте частоты процессора, количества ядер и объема оперативной памяти, а снижается при росте размера диагонали экрана и увеличении веса смартфонов.

Заключение

Таким образом, развитие технологии производства смартфонов Nokia характеризуется снижением величины техпроцесса, сменой поколений чипсета, увеличением частоты процессора, количества ядер и объема оперативной памяти, что отражается в росте цены смартфонов. Полученные эконометрические зависимости могут быть использованы при краткосрочном прогнозировании технико-экономических показателей смартфонов.

При сохранении габаритных показателей и росте технических показателей происходит соответствующее увеличение удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR , а при одинаковых технических показателях рост размера диагонали экрана и веса смартфонов приводит к снижению SAR . Эти результаты показывают, что для смартфонов средней ценовой категории (например, для смартфонов Nokia, которые на 70% дешевле смартфонов iPhone компании Apple), сохраняются закономерности развития, типичные для смартфонов высшей ценовой категории (для смартфонов iPhone компании Apple), отмеченные в предыдущей статье авторов [12].

Отметим, что с развитием технологии и улучшением технических показателей смартфонов также возрастают риски для здоровья, которые необходимо учитывать при использовании мобильной техники (следует использовать режим громкой связи или наушники во время разговора, не совершать звонки при слабом сигнале и т.п.).

Таблица 1

Зависимости цены смартфонов Nokia, в которых используются чипсеты первого и второго поколений, от технических показателей, тыс. руб.

Table 1

Dependence of price of Nokia smartphones with 1st and 2nd generation chipsets on technical indicators, thousand RUB

Показатели	Модель 1	Модель 2
Свободный коэффициент	-17,09 (-3,58)	-13,22 (-2,67)
Частота процессора, ГГц	22,96 (5,87)	-
Количество ядер, ед.	-	2,96 (2,36)
Объем оперативной памяти, Гб	-	-
Объем встроенной памяти, Гб	-	-
Емкость аккумулятора, мАч	-	0,01 (2,9)
Размер диагонали экрана, дюйм	-	-
Вес, г	-	-
Разрешение основной камеры, Мпикс	0,32 (2,19)	-
R^2	0,81	0,7
F	46,05	25,28
Стандартная ошибка	6,77	8,49

Продолжение

Показатели	Модель 3	Модель 4
Свободный коэффициент	-25,64 (-1,98)	-25,26 (-2,54)
Частота процессора, ГГц	-	-
Количество ядер, ед.	3,85 (2,82)	4,69 (4,76)
Объем оперативной памяти, Гб	-	-
Объем встроенной памяти, Гб	-	-
Емкость аккумулятора, мАч	-	-
Размер диагонали экрана, дюйм	6,02 (1,8)	-
Вес, г	-	0,17 (2,36)
Разрешение основной камеры, Мпикс	-	-
R^2	0,63	0,67
F	19,08	21,92
Стандартная ошибка	9,32	8,91

Продолжение

Показатели	Модель 5	Модель 6
Свободный коэффициент	7,54 (3,67)	0,62 (3,06)
Частота процессора, ГГц	-	-
Количество ядер, ед.	-	-
Объем оперативной памяти, Гб	6,87 (7,68)	-
Объем встроенной памяти, Гб	-	0,46 (4,08)
Емкость аккумулятора, мАч	-	-
Размер диагонали экрана, дюйм	-	-
Вес, г	-	-
Разрешение основной камеры, Мпикс	-	0,42 (2,8)
R^2	0,72	0,83
F	59,04	52,79
Стандартная ошибка	7,98	0,31

Примечание. В рамках модели 6 учтены эндогенные и экзогенные переменные в логарифмах.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2

Зависимости цены смартфонов Nokia, в которых используются чипсеты второго поколения, от технических показателей, тыс. руб.

Table 2

Dependence of price of Nokia smartphones with 2nd generation chipsets on technical indicators, thousand RUB

Показатели	Модель 1	Модель 2
Свободный коэффициент	42,41 (2,43)	-16,47 (-4,03)
Техпроцесс, nm	-1,61 (-3,81)	-
Серия чипсета, №	-	4,16 (4,57)
Частота процессора, ГГц	-	11,3 (2,57)
Количество ядер, ед.	-	-
Объем оперативной памяти, Гб	-	-
Объем встроенной памяти, Гб	-	-
Емкость аккумулятора, мАч	0,01 (2,12)	-
Размер диагонали экрана, дюйм	-	-
Разрешение основной камеры, Мпикс	-	0,21 (1,95)
R^2	0,83	0,93
F	39,05	68,45
Стандартная ошибка	7,25	4,74

Продолжение

Показатели	Модель 3	Модель 4
Свободный коэффициент	-28,89 (-5,26)	-19,97 (-5,45)
Техпроцесс, nm	-	-
Серия чипсета, №	-	3,66 (3,93)
Частота процессора, ГГц	22,84 (3,98)	-
Количество ядер, ед.	-	3,34 (3,71)
Объем оперативной памяти, Гб	-	-
Объем встроенной памяти, Гб	-	-
Емкость аккумулятора, мАч	0,01 (1,89)	0,004 (1,86)
Размер диагонали экрана, дюйм	-	-
Разрешение основной камеры, Мпикс	-	-
R^2	0,84	0,94
F	41,13	77,6
Стандартная ошибка	7,1	4,47

Продолжение

Показатели	Модель 5	Модель 6
Свободный коэффициент	-5,92 (-2,47)	-5,67 (-2,1)
Техпроцесс, nm	-	-
Серия чипсета, №	4,86 (6,45)	5,35 (6,95)
Частота процессора, ГГц	-	-
Количество ядер, ед.	-	-
Объем оперативной памяти, Гб	3,09 (3,7)	-
Объем встроенной памяти, Гб	-	0,13 (2,95)
Емкость аккумулятора, мАч	-	-
Размер диагонали экрана, дюйм	-	-
Разрешение основной камеры, Мпикс	-	-
R^2	0,93	0,91
F	101,4	82,98
Стандартная ошибка	4,75	5,21

Продолжение

Показатели	Модель 7	Модель 8
Свободный коэффициент	-27,3 (-2,6)	-7,79 (-2,93)
Техпроцесс, nm	-	-
Серия чипсета, №	5,82 (6,68)	5,87 (8,1)
Частота процессора, ГГц	-	-

Количество ядер, ед.	–	–
Объем оперативной памяти, Гб	–	–
Объем встроенной памяти, Гб	–	–
Емкость аккумулятора, мАч	–	–
Размер диагонали экрана, дюйм	4,59 (1,84)	–
Разрешение основной камеры, Мпикс	–	0,29 (2,49)
R^2	0,89	0,9
F	63,31	73,63
Стандартная ошибка	5,89	5,5

Примечание. В рамках модели 6 учтены эндогенные и экзогенные переменные в логарифмах.

Источник: авторская разработка

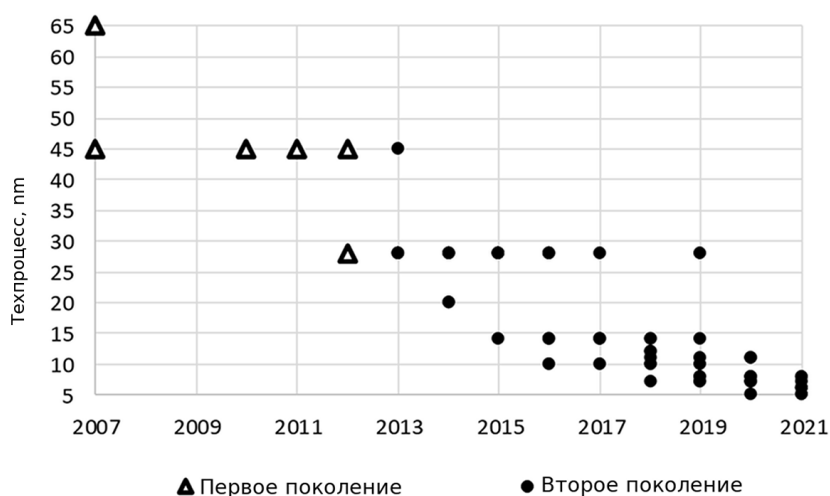
Source: Authoring

Рисунок 1

Динамика величины техпроцесса, на основе которого изготовлены чипсеты Qualcomm первого и второго поколений серии Snapdragon, nm

Figure 1

Dynamics of technical process, on which basis Qualcomm chipsets of the 1st and 2nd generation of Snapdragon series are made, nanometers



Источник: авторская разработка

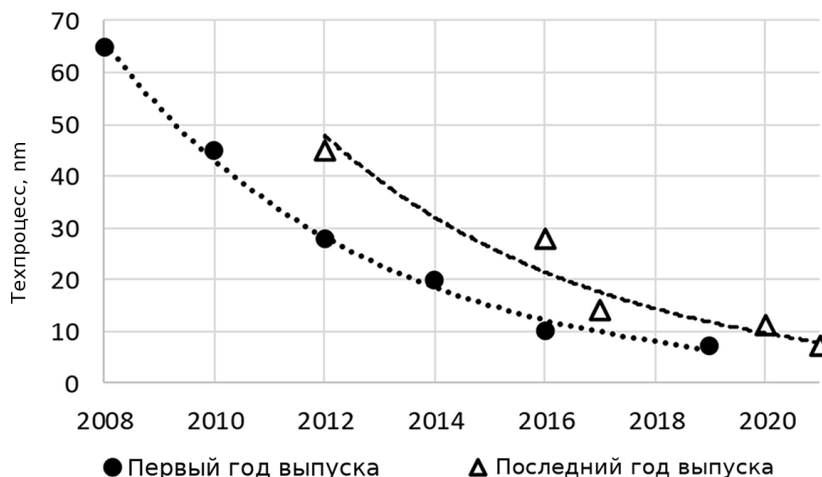
Source: Authoring

Рисунок 2

Динамика величины техпроцесса, используемого в GPU Qualcomm, nm (2008–2020 гг.)

Figure 2

Dynamics of technical process, used in Qualcomm GPU, nanometers



Источник: авторская разработка

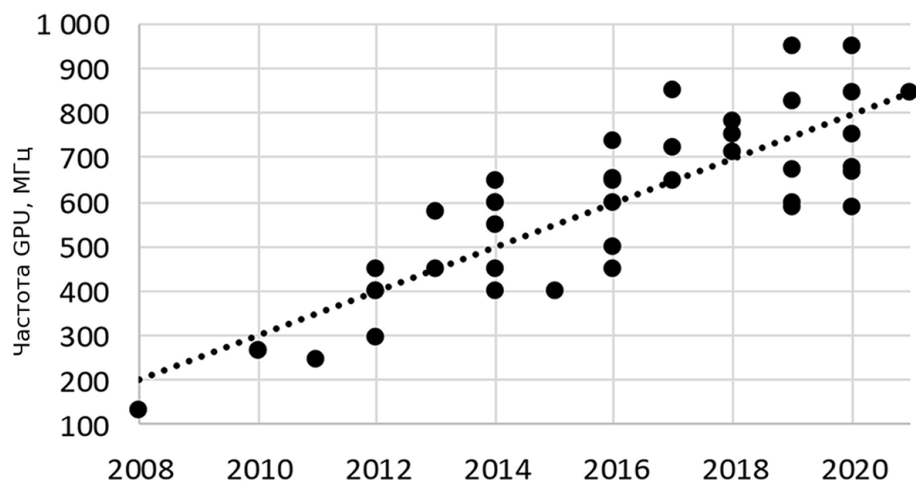
Source: Authoring

Рисунок 3

Динамика частоты процессора в GPU Qualcomm, МГц (2008–2020 гг.)

Figure 3

Dynamics of Qualcomm GPU frequency (2008–2020), megahertz



Источник: авторская разработка

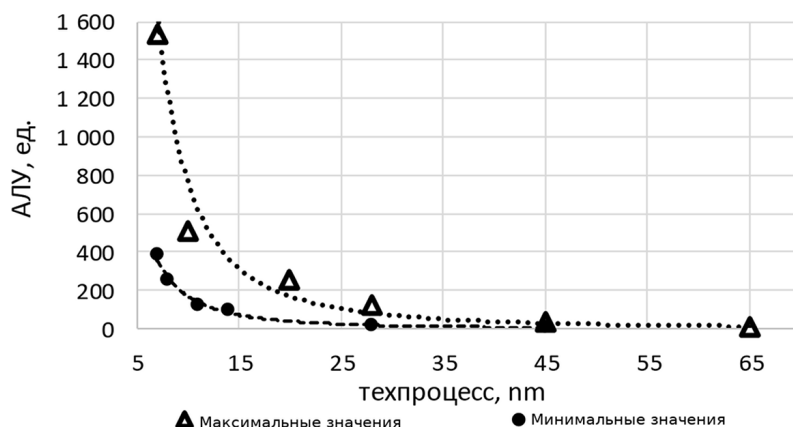
Source: Authoring

Рисунок 4

Взаимосвязь количества арифметико-логических устройств (ед.) и техпроцесса (nm) в GPU Qualcomm

Figure 4

Relationship between the number of ALU (unit) and the process technology (nanometer) in Qualcomm GPU



Источник: авторская разработка

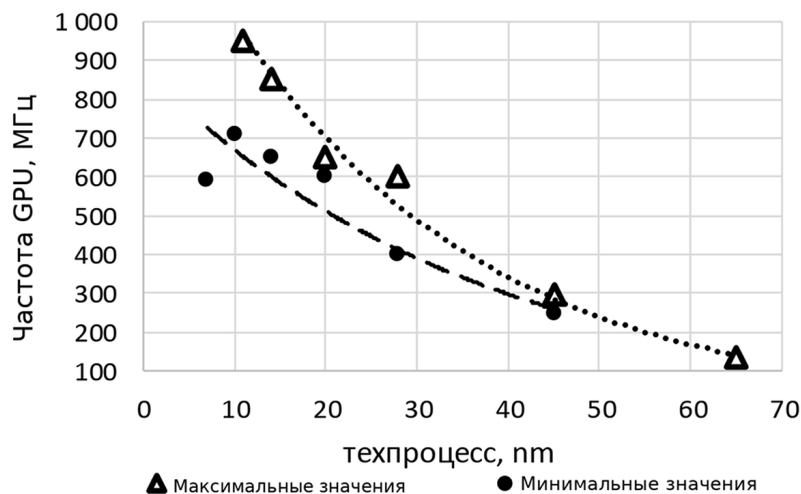
Source: Authoring

Рисунок 5

Взаимосвязь частоты процессора (МГц) и техпроцесса (nm) в GPU Qualcomm

Figure 5

Relationship between the processor frequency (megahertz) and the process technology (nanometer) in Qualcomm GPU



Источник: авторская разработка

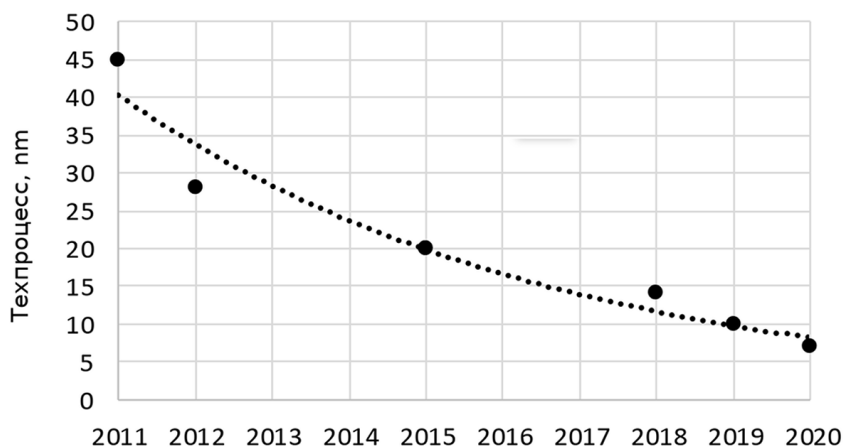
Source: Authoring

Рисунок 6

Динамика техпроцесса в смартфонах Nokia (nm) для первого года использования техпроцесса в смартфоне (2011–2020 гг.)

Figure 6

Dynamics of the process technology in Nokia smartphones (nanometer) for the first year of using the process technology in a smartphone) (2011–2020)



Источник: авторская разработка

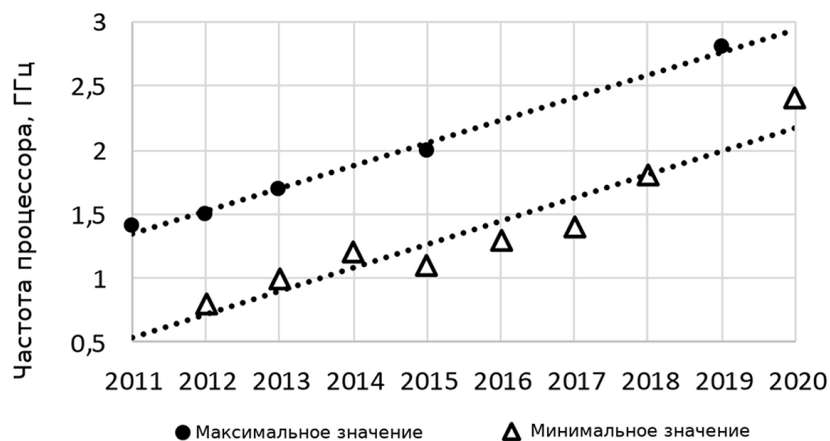
Source: Authoring

Рисунок 7

Динамика частоты процессора смартфонов (2011–2020 гг.), ГГц

Figure 7

Dynamics of the processor frequency of smartphones (2011–2020), gigahertz



Источник: авторская разработка

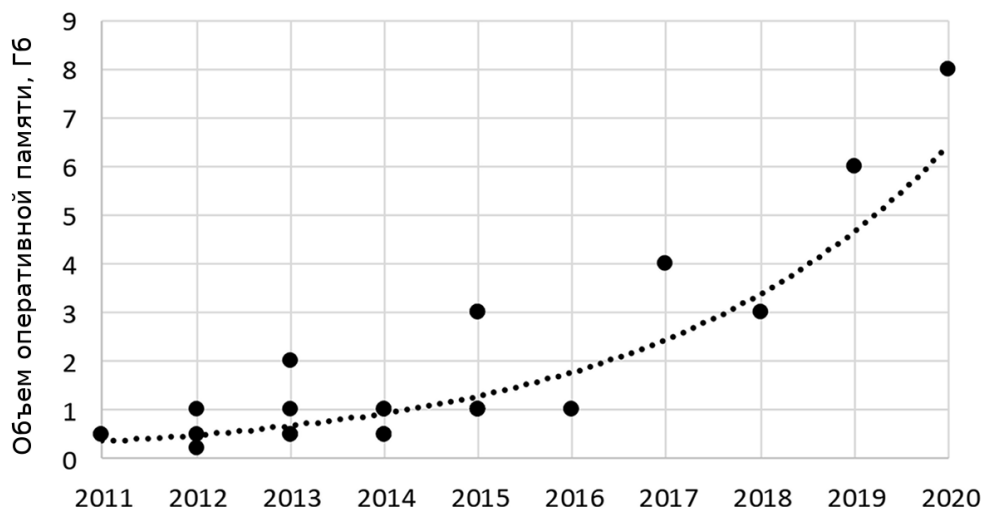
Source: Authoring

Рисунок 8

Динамика объема оперативной памяти смартфонов (2011–2020 гг.), Гб

Figure 8

Dynamics of the amount of RAM in smartphones (2011–2020), gigabyte



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. *Мартино Дж.П.* Технологическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1977. 591 с.
2. *Варшавский А.Е.* Научно-технический прогресс в моделях экономического развития: методы анализа и оценки. М.: Финансы и статистика, 1984. 208 с.
3. *Сагал Д.* Технический прогресс: концепции, модели, оценки. М.: Финансы и статистика, 1985. 367 с.
4. *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. Т. 26. № 2. С. 88–95.
URL: <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2019-16347>
5. *Григорьев О.А., Зубарев Ю.Б.* Влияние ЭМП мобильных телефонов на здоровье: прогнозы и данные медицинской статистики //

- Электросвязь. 2021. № 11. С. 32–37.
URL: http://www.emf-net.ru/article/article_2021_11.pdf
6. Григорьев О.А., Никитина В.Н., Носов В.Н. и др. Электромагнитная безопасность населения. Национальные и международные нормативы электромагнитных полей радиочастотного диапазона // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10. С. 28–33.
URL: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-28-33>
7. Бляхер М.С., Тульская Е.А., Капустин И.В. и др. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на фагоцитарную активность нейтрофилов in vitro // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 9. С. 925–929. URL: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929>
8. Шибанов С.Э., Яценко С.Г., Рыбалко С.Ю. Электромагнитная обстановка, создаваемая мобильной связью, как фактор риска повышения распространенности болезней системы кровообращения // Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 78–84.
URL: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.07>
9. Яценко С.Г., Рыбалко С.Ю. Распространенность сердечно-сосудистой патологии в зависимости от электромагнитной нагрузки, создаваемой мобильной связью // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 11. С. 1302–1308.
URL: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1302-1308>
10. Штэйн Я. Профилактические меры, призванные смягчить негативное воздействие электромагнитной радиации на здоровье // Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 42–53.
URL: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.04>
11. Варшавский А.Е. Проблемные инновации: риски для человечества. Экономические, социальные и этические аспекты. М.: URSS, 2014. 328 с.
12. 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. Вып. 9. С. 1625–1649. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.17.9.1625>

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.

pISSN 2073-2872
eISSN 2311-875X

Innovation and Investment

ANALYZING THE INDICATORS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SMARTPHONES (THE CASE OF NOKIA SMARTPHONES PRODUCED BY NOKIA, MICROSOFT, AND HMD)

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
<https://orcid.org/0000-0003-0982-608X>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 322/2022
Received 7 July 2022
Received in revised
form 16 Sept 2022
Accepted 3 Nov 2022
Available online
15 December 2022

JEL classification: O14,
O33

Keywords: smartphone,
technical process,
chipset, performance
indicator, specific
absorption rate

Abstract

Subject. The article investigates the patterns of changes in technical and economic indicators of Nokia smartphones.

Objectives. Our purpose is to analyze technical parameters of mid-range Nokia smartphones.

Methods. The study rests on mathematical methods of research.

Results. The paper determines interrelations of technical and economic indicators of Nokia smartphones, demonstrates how the price and the specific absorption rate of electromagnetic energy depend on technological indicators and technical process, on which basis chipsets are made.

Conclusions. The development of smartphone manufacturing technology, as a rule, comes with rise in price and risks to human health, caused by an increase in the specific absorption rate of electromagnetic energy.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2022

Please cite this article as: Varshavskii A.E., Kuznetsova M.S. Analyzing the Indicators of Innovative Development of Smartphones (the Case of Nokia Smartphones Produced by Nokia, Microsoft, and HMD). *National Interests: Priorities and Security*, 2022, vol. 18, iss. 12, pp. 2379–2405.
<https://doi.org/10.24891/ni.18.12.2379>

References

1. Martino J.P. *Tekhnologicheskoe prognozirovanie* [Technological Forecasting for Decision Making]. Moscow, Progress Publ., 1977, 591 p.

2. Varshavskii A.E. *Nauchno-tekhnicheskii progress v modelyakh ekonomicheskogo razvitiya: metody analiza i otsenki* [Scientific and technological progress in models of economic development: Methods of analysis and evaluation]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1984, 208 p.
3. Sahal D. *Tekhnicheskii progress: kontseptsii, modeli, otsenki* [Patterns of Technological Innovation]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1985, 367 p.
4. 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, vol. 26, no. 2, pp. 88–95. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2019-16347>
5. Grigor'ev O.A., Zubarev Yu.B. [Human health effects of mobile phone electromagnetic field: Predictions and medical statistics]. *Elektrosvyaz'*, 2021, no. 11, pp. 32–37.
URL: http://www.emf-net.ru/article/article_2021_11.pdf (In Russ.)
6. Grigor'ev O.A., Nikitina V.N., Nosov V.N. et al. [Electromagnetic radiation safety: Russian national and international regulatory frameworks for radiofrequency electromagnetic fields]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya = Public Health and Life Environment*, 2020, no. 10, pp. 28–33. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-28-33>
7. Blyakher M.S., Tul'skaya E.A., Kapustin I.V. et al. [Impact of a cellphone electromagnetic radiation on phagocytic activity of neutrophils in vitro]. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*, 2020, vol. 99, no. 9, pp. 925–929. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929>
8. Shibanov S.E., Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu. [Electromagnetic environment created by mobile communication as a risk factor causing higher prevalence of circulatory diseases]. *Analiz riska zdorov'yu = Health Risk Analysis*, 2021, no. 3, pp. 78–84. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.07>
9. Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu. [The prevalence of cardiovascular disease due to electromagnetic loads generated by mobile communication]. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*, 2019, vol. 98, no. 11, pp. 1302–1308. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1302-1308>

10. Stein Y. [Preventive measures to reduce harmful effects produced by electromagnetic radiation on health]. *Analiz riska zdorov'yu = Health Risk Analysis*, 2021, no. 3, pp. 42–53. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.04>
11. Varshavskii A.E. *Problemnye innovatsii: riski dlya chelovechestva. Ekonomicheskie, sotsial'nye i eticheskie aspekty* [Questionable innovations: Risks for the humankind. Economic, social, ethical aspects]. Moscow, URSS Publ., 2014, 328 p.
12. Varshavskii A.E., Kuznetsova M.S. [Analyzing smartphone innovative development: Evidence from Apple's iPhone]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2021, vol. 17, iss. 9, pp. 1625–1649. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.17.9.1625>

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.