

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЧИПСЕТОВ APPLE В СМАРТФОНАХ IPHONE

Кузнецова М.С.

*Целью работы является исследование динамики технических показателей чипсетов Apple (серии Ax) и анализ взаимосвязи технологии и удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR в смартфонах iPhone компании Apple.*

doi: 10.20537/mce2023econ09

**Введение.** Для поддержания интереса среди потребителей производители смартфонов улучшают их технические характеристики. Важнейшим элементом смартфона является чипсет (система на кристалле, SoC), который во многом определяет производительность и эффективность мобильного устройства.

Чипсет (System on a Chip, SoC) — набор микросхем, включающий центральный процессор (CPU), графический процессор (GPU), цифровой процессор обработки сигналов, процессор обработки изображений, банк памяти, модули связи и т.д. Технические показатели чипсета определяются величиной техпроцесса, на основе которого он изготовлен: чем меньше нормы производства, тем меньше размер устройства (и больше транзисторов можно разместить на одинаковой площади) и более высокие частотные показатели, производительность.

Совершенствование чипсета расширяет возможности смартфонов и позволяет использовать их более интенсивно. Вместе с тем, как правило, повышаются риски негативного воздействия энергии электромагнитного поля на здоровье человека.

В работе [1] проведено исследование динамики технико-экономических показателей (ТЭП) смартфонов Nokia, использующих чипсеты Qualcomm (семейство Snapdragon), и анализ взаимосвязи ТЭП и показателя удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR (Specific Absorption Rate). Результаты анализа показали, что величина SAR увеличивается по мере развития технологии (со снижением тех-

процесса, ростом частоты процессора и количества ядер). Поэтому представляет интерес исследование динамики технических показателей (ТП) чипсетов Apple (серии Ах), и анализ зависимости развития технологии и удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR смартфонов iPhone компании Apple. Выявление аналогичной зависимости между развитием технологии и SAR позволит предположить, что увеличение показателя SAR с улучшением технологии характерно и для смартфонов прочих компаний.

**Динамика технических показателей чипсетов.** Проведен анализ следующих ТП чипсетов: техпроцесс ( $z$ ), частота процессора CPU ( $f$ ), количество ядер CPU ( $c$ ).

Рассматриваемые показатели изменялись во времени следующим образом (приведенные оценки параметров эконометрических моделей статистически значимы в соответствии с t-критерием Стьюдента, t-статистики  $\geq |2|$ , далее в скобках указаны значение t-статистики):

- техпроцесс ( $z$ ), нм:

$$1) z = 48.95e^{(-0.22T1)}, \text{ где } T1 = t - 2010, R^2 = 0.98, \text{ рис. 1,} \\ (69.28) \quad (-26.05)$$

$$2) z = 9.25e^{(-0.17T2)}, \text{ где } T2 = t - 2017, R^2 = 0.93 \\ (31.92) \quad (-7.36)$$

- частота процессора CPU ( $f$ ), ГГц:

$$1) f = 0.22T1 + 0.77, R^2 = 0.97, \text{ рис. 2.} \\ (21.76) \quad (11.34)$$

$$2) f = 0.22T2 + 2.31, R^2 = 0.98 \\ (12.96) \quad (44.65)$$

- количество ядер CPU ( $c$ ), ед.:

$$c = 0.5T1 + 0.84, R^2 = 0.83 \\ (2.02) \quad (7.85)$$

В соответствии с полученными эконометрическими зависимостями можно ориентировочно предположить, что в смартфонах в 2024–2025 гг. техпроцесс может составить 2–3 нм, частота процессора CPU — 3.8–4.1 ГГц, количество ядер CPU — 8 ед. Однако данные результаты требуют дополнительной проверки на основе более глубокого анализа развития технологий.



**Взаимосвязь технических показателей чипсетов.** Проведенный анализ позволил оценить зависимость

- максимальной частоты процессора CPU  $f$  от техпроцесса  $z$ :

$$\ln(f) = 1.98 - 0.51\ln(z), R^2 = 0.94, \text{рис. 3.} \\ (19.58) \quad (-14.10)$$

- количества ядер CPU  $c$  от техпроцесса  $z$ :

$$\ln(c) = 2.91 - 0.67\ln(z), R^2 = 0.8, \\ (11.46) \quad (-7.32)$$

- максимальной частоты процессора CPU  $f$  от количества ядер CPU  $c$ :

$$f = 0.37c + 0.65, R^2 = 0.84 \\ (8.24) \quad (3.46)$$

Результаты анализа показывают, что снижение величины техпроцесса приводит к росту частоты и количества ядер CPU. Таким образом, при снижении величины техпроцесса на 10% максимальная частота процессора CPU может возрасти примерно на 5%, а количество ядер CPU — на 7%.

**Зависимость SAR смартфонов от технических 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). Высокий уровень удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR негативно отражается на здоровье. Результаты многочисленных исследований о негативном воздействии электромагнитного излучения ЭМИ мобильных телефонов на здоровье человека приведены в работах Ю.Г. Григорьева, О.А. Григорьева, О.А. Вятлевой, С.Г. Яценко, С.Ю. Рыбалко, С.Э. Шибанова, Я. Штэйн, М.С. Бляхера, Н.И. Вторниковой, Г.Г. Верещако, А.Е. Варшавского и др. [2–12].

Результаты исследований ТП смартфонов компаний Samsung и Apple показали, что рост показателей, определяющих производительность и мощность устройства (частота процессора, количество ядер), приводит к увеличению удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR [13, 14]. При этом, результаты анализа ТП смартфонов

Nokia, использующих чипсеты Qualcomm (семейство Snapdragon), показали, что развитие технологии (закключающееся в снижении техпроцесса) также приводит к росту величины SAR [1]. Данная зависимость была проанализирована на смартфонах iPhone, использующих чипсеты Apple (серии Ax), чтобы предположить ее применимость к смартфонам прочих производителей.

В проведенных исследованиях [1, 13, 14] было определено, что с увеличением веса и размера диагонали экрана смартфонов величина SAR снижается. Для минимизации влияния габаритных показателей на величину SAR был проведен анализ смартфонов с одинаковым размером диагонали экрана (4.7 дюймов) и близким весом (130–135 г и 145–148 г).

В табл. 1 приведены результаты анализа зависимости удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR смартфонов iPhone компании Apple от техпроцесса и количества ядер CPU.

**Таблица 1.** Увеличение удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR смартфонов iPhone компании Apple при увеличении/уменьшении ТП, Вт/кг, расчет по данным интернет-магазинов.

Показатель	Вес смартфонов	
	130–135 г	145–148 г
Уменьшение техпроцесса на 1 нм	0.1	0.1
Увеличение количества ядер CPU на 1 ед.	0.2	0.1

Результаты анализа показывают, что в данных выборках снижение величины техпроцесса приводит к увеличению удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR, при этом, увеличение количества ядер CPU также приводит к росту величины SAR. Таким образом, данная зависимость может быть применима и к смартфонам прочих производителей.

Также были определены зависимости величины SAR от технических показателей для смартфонов iPhone компании Apple с техпроцессом 16 нм и 20 нм.

Для смартфонов iPhone с техпроцессом 16 нм была рассчитана зависимость величины SAR от частоты процессора CPU  $f$  и веса  $w$  смартфонов:

$$SAR = 0.83f - 0.002w - 0.37, R^2 = 0.98,$$

$$(21.42) \quad (-4.26) \quad (-3.56)$$

Данная модель показывает, что для смартфонов iPhone с техпроцессом 16 нм увеличение частоты процессора CPU на 1 ГГц приводит к росту SAR на 0.83 Вт/кг, увеличение веса на 10 г — к уменьшению SAR на 0.02 Вт/кг.

Сопоставление смартфонов iPhone с техпроцессом 20 нм и одинаковыми значениями количества ядер, частоты процессора и объема оперативной памяти показывает, что увеличение веса смартфонов на 10 г приводит к уменьшению SAR на 0.01 Вт/кг, размера диагонали экрана на 1 дюйм — на 0.07 Вт/кг.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что величина удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR увеличивается при снижении техпроцесса и в чипсетах смартфонов Samsung, и в чипсетах смартфонов Apple. В этом случае можно предположить, что увеличение показателя SAR с улучшением технологии (со снижением техпроцесса, ростом частоты процессора и количества ядер) характерно и для смартфонов прочих компаний.

**Выводы.** Результаты анализа динамики технических показателей чипсетов Apple (серии Aх) в смартфонах iPhone показывают, что развитие технологии производства данных смартфонов характеризуется снижением величины техпроцесса, и ростом количества ядер CPU, частоты процессора CPU. Вместе с тем, это развитие приводит к росту величины удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии SAR, что может негативно отразиться на здоровье пользователей.

Таким образом, с развитием технологии и улучшением технических показателей смартфонов также возрастают и риски для здоровья. Чтобы минимизировать негативное воздействие ЭМИ смартфонов необходимо руководствоваться принципом предосторожности и учитывать данные риски при использовании мобильной техники (использовать режим громкой связи или наушники, сократить время разговоров, не совершать звонки при слабом сигнале, не класть смартфон на ночь возле подушки, не держать смартфон в кармане брюк, груди, на поясе и т.д.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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. doi: 10.24891/ni.18.12.2379
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. Т. 26. № 2. С. 88–95. doi: 10.24411/1609-2163-2019-16347
3. *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](http://www.emf-net.ru/article/article_2021_11.pdf)
4. *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. doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-28-33
5. *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. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1267-1271
6. *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: doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1302-1308
7. *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. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.07
8. *Штэйн Я.* Профилактические меры, призванные смягчить негативное воздействие электромагнитной радиации на здоровье // *Анализ риска здоровью*, 2021. № 3. С. 42–53. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.04
9. *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. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929
10. *Вторникова Н.И., Бабалян А.В., Карелин А.О. и др.* 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. doi: 10.24884/1607-4181-2017-24-4-75-81

11. *Верещако Г.Г.* Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на состояние мужской репродуктивной системы и потомство. Минск: Беларуская навука, 2015.
12. *Варшавский А.Е.* Проблемные инновации: риски для человечества. М.: ЛЕНАНД, 2014.
13. *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. doi: 10.24891/ni.17.9.1625
14. *Кузнецова М.С.* Анализ технико-экономических показателей и удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR) смартфонов Samsung // *Анализ и моделирование экономических и социальных процессов*. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2021 С. 135-141. doi: 10.20537/mce2021econ13

## **ANALYZING THE INDICATORS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF APPLE CHIPSETS IN IPHONE SMARTPHONES**

**Kuznetzova M.S.**

*The paper is devoted to studying the dependence between the specific absorption rate of electromagnetic energy (SAR) and the technical indicators of Apple chipsets, in order to determine factors that contribute to the increase in SAR.*