

Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть VI. Процессоры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Внимание читателей предлагается шестая часть обзора, касающегося систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ) или *High-Performance Computing (HPC)*, а также их применения. В этом году уже опубликованы первая [1], вторая [2], третья [3], четвертая [4] и пятая [5] части нашего шестого по счету комплексного обзора, выходящего под привычной общей “шапкой”. Все предыдущие публикации по-прежнему легко и свободно доступны на нашем сайте www.cad-cam-cae.ru.

Как и обычно, при отборе информации мы опираемся на сформулированный ранее подход: в потоке сообщений, исходящих от маркетинговых служб ведущих производителей процессоров, стараемся вычленилть те значимые события, которые действительно являются вехами в хронологии развития технологий, “спрессованной” в диаграммах [7, рис. 29, табл. 6] и [8, рис. 4].

В шестой части (в предыдущем обзоре этой тематике была посвящена часть IV [6]) актуализированная информация, собранная за прошедший 2017-й и всё еще текущий 2018 годы, распределена по следующим разделам:

1 Состояние мировой полупроводниковой промышленности

- Объем рынка полупроводников
 - Крупнейшие производители полупроводниковых приборов
 - Контрактные производители
- ### 2 Инвестиции в приобретение компаний
- Китай не разрешил компании *Qualcomm* купить *NXP Semiconductors*
 - Поглощение компании *Qualcomm* запретил президент США
 - Подразделение *Toshiba*, производящее микросхемы, продано американцам
 - Компания *Microchip Technology* приобретает *Microsemi Corporation*

World semiconductor industry's annual revenues and its growth rates (%) for 2007–2017 and forecast for 2018 (January, 2018)

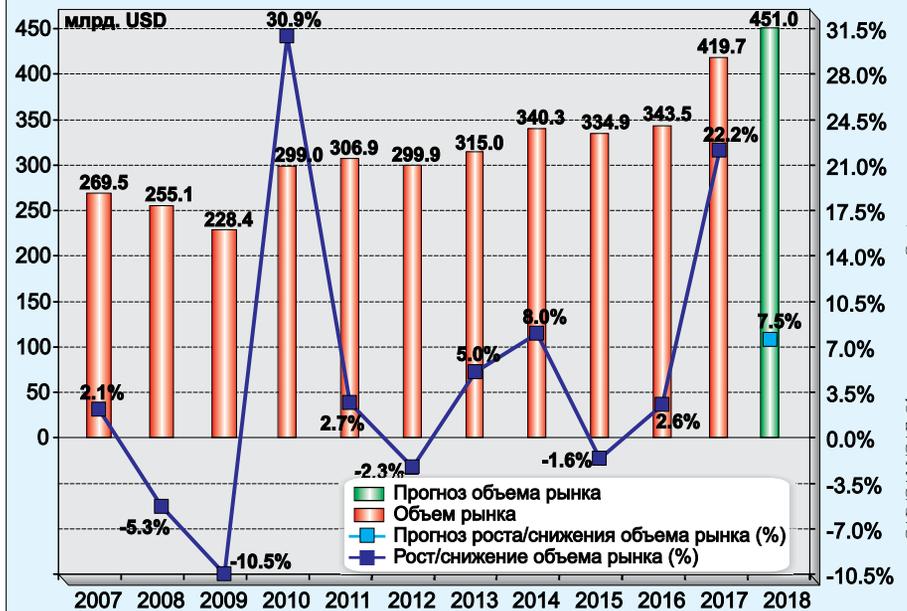


Рис. 1. Годовой доход мировой полупроводниковой промышленности и темпы его роста/снижения (%) в 2007–2017 гг., а также прогноз на 2018 год (январь 2018 г.)

3 Инвестиции в разработку и освоение новых технологий

- Затраты на исследования и разработки
- Капитальные затраты на развитие производства

4 Освоение передовых технологических норм производства микросхем

- Компания *TSMC* готова к массовому производству 7-*nm* чипов
- *TSMC* начнет массовое производство 5-*nm* микросхем в 2020 году или раньше
- *TSMC* опробовала фотолитографию в глубоком ультрафиолете

5 Новейшие процессоры и их разработчики

- *ARM*-процессор от *Fujitsu* для прототипа эксафлопсного суперкомпьютера
- Серверный *ARM*-процессор от *Ampere Computing*
- Серверный *ARM*-процессор от *Huawei*

6 Крупнейшие потребители полупроводниковых приборов.

При подготовке обзора мы опираемся на препарированные и дополненные нами данные, регулярно публикуемые следующими компаниями, которые занимаются систематическими исследованиями рынка полупроводниковых изделий:

- **Gartner** (www.gartner.com) со штаб-квартирой в гор. Стамфорд (шт. Коннектикут, США);
- **IC Insights** (www.icinsights.com) со штаб-квартирой в гор. Скоттсдейл (шт. Аризона, США);
- **IHS Markit** (ihsmarkit.com) со штаб-квартирой в Лондоне (Великобритания).

7 Состояние мировой полупроводниковой промышленности

Первым делом, по традиции, рассмотрим состояние дел в мировой полупроводниковой промышленности.

1.1. Объем рынка полупроводников

По оценкам аналитической компании *Gartner*, объем рынка полупроводниковых приборов в 2017 году составил 419.7 млрд. долларов (рис. 1, табл. 1), что означает прирост на +22.2% в сравнении с 2016 годом (343.5 млрд. долларов).

Напомним, что годом раньше, в 2016-м, темпы роста были на порядок меньше и составляли всего +2.6% в сравнении с 2015 годом (334.9 млрд. долларов), когда объем рынка уменьшился на -1.6% в сравнении с показателями 2014 года (340.3 млрд.). До этого тенденция была другой.

Так, в 2014 году увеличение объема составило +8% по сравнению с показателями 2013 года (315 млрд.); в 2013 году рынок вырос на +5% по сравнению с 2012 годом (299.9 млрд.). Уменьшение объема рынка, подобное случившемуся в 2015 году, имело место в теперь уже далеком 2012-м: тогда оно составило -2.3% в сравнении с состоянием на 2011 год (306.9 млрд. долларов).

По оценкам аналитической компании *Gartner*, в 2017 году мировой объем выпуска полупроводниковых приборов в стоимостном выражении впервые преодолел рубеж 400 млрд. и вырос до 419.7 млрд. долларов. Прирост составил +22.2% в сравнении с 343.5 млрд. долларов в 2016 году.

По прогнозу компании *Gartner*, в 2018 году ожидается прирост объема выпуска полупроводниковых приборов в размере +7.5% или, в денежном выражении, до 451 млрд. долларов.

Аналитическая компания *Gartner* прогнозирует, что в 2018 году мировой объем выпуска полупроводниковых приборов вырастет на +7.5% и в стоимостном выражении составит 451 млрд. долларов.

По оценкам другой аналитической компании, *IHS Markit*, объем рынка полупроводниковых устройств в 2017 году вырос на +21.7% и составил 429.1 млрд. долларов (табл. 2).

Табл. 1. Крупнейшие производители полупроводниковых приборов в 2016–2017 гг. по версии Gartner

| Компания | Страна | 2016 г. | | | 2017 г. | | | 2017 г. в сравнении с 2016 г., % |
|---|------------|------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|------------------|----------------------------------|
| | | Доход, млрд. USD | Доля, % | Место в рейтинге | Доход, млрд. USD | Доля, (%) | Место в рейтинге | |
| <i>Samsung Electronics</i> | Корея | 40.104 | 11.7% | 2 | 61.215 | 14.6% | 1 | +52.6% |
| <i>Intel</i> | США | 54.091 | 15.7% | 1 | 57.712 | 13.8% | 2 | +6.7% |
| <i>SK Hynix</i> | Корея | 14.7 | 4.3% | 4 | 26.309 | 6.3% | 3 | +79.0% |
| <i>Micron Technology</i> | США | 12.950 | 3.8% | 6 | 23.062 | 5.5% | 4 | +78.1% |
| <i>Qualcomm*</i> | США | 15.415 | 4.5% | 3 | 17.063 | 4.1% | 5 | +10.7% |
| <i>Broadcom*</i> | США | 13.223 | 3.8% | 5 | 15.490 | 3.7% | 6 | +17.1% |
| <i>Texas Instruments (TI)</i> | США | 11.901 | 3.5% | 7 | 13.806 | 3.3% | 7 | +16.0% |
| <i>Toshiba</i> | Япония | 9.918 | 2.9% | 8 | 12.813 | 3.1% | 8 | +29.2% |
| <i>Western Digital</i> | США | 4.170 | 1.2% | 17 | 9.181 | 2.2% | 9 | +120.2% |
| <i>NXP Semiconductors (NXP)</i> | Нидерланды | 9.306 | 2.7% | 9 | 8.651 | 2.1% | 10 | -7.0% |
| Топ-10 | | 185.778 | 54.1% | | 245.302 | 58.4% | | +32.0% |
| Прочие компании | | 157.736 | 45.9% | | 174.418 | 41.6% | | +10.6% |
| Доход мировой полупроводниковой промышленности | | 343.514 | 100% | | 419.720 | 100.0% | | +22.2% |

Примечание: 1. Таблица составлена на основании данных компании *Gartner* (январь 2018 г.).
2. * компания не располагает собственными производственными мощностями (fabless)

Если сравнить данные обеих компаний, то мы увидим, что для 2017 года оценки объема рынка у аналитиков из *IHS Markit* оказались на 9.4 млрд. долларов (или на 2.2%) выше, чем у аналитиков *Gartner*. Отметим, что публикации данных *Gartner* и *IHS Markit* относятся к январю и марту 2018 года соответственно, что тоже может иметь значение в отношении полноты данных.

Наиболее поздней (ноябрь 2018 года) является публикация еще одной аналитической компании, *IC Insights*, содержащая данные для построения топ-15 крупнейших производителей полупроводниковых изделий в 2017 году и соответствующий прогноз на 2018 год (табл. 3). Однако отсутствие в отчете сведений об объеме рынка полупроводниковой промышленности не позволяет сравнить интегральные данные всех трех компаний.

1.2. Крупнейшие производители полупроводниковых приборов

Топ-10 производителей полупроводниковых приборов мы публикуем сразу в двух, одинаковых по структуре данных, версиях: от аналитических компаний *Gartner* (табл. 1) и *IHS Markit* (табл. 2). Интегральные оценки для 2017 года от обеих групп аналитиков очень близки: производители из первой десятки выпустили полупроводниковой продукции на 245.3 млрд. долларов (58.4% всего объема рынка) или на 251.0 млрд. долларов (58.5%) соответственно. Оценки доходов для каждой компании из первой десятки в этих двух версиях несколько разнятся,

однако порядок, в котором располагаются компании в рейтинге, одинаков.

Порядок компаний-производителей в лидирующем квартете совпадает у всех трех аналитических компаний – и у *Gartner* (табл. 1), и у *IHS Markit* (табл. 2), и у *IC Insights* (табл. 3) – при условии, что в топ-15 от *IC Insights* мы не будем учитывать тайваньскую компанию *TSMC*, которая является контрактным производителем. Выглядит этот порядок так:

- 1 южно-корейская компания *Samsung Electronics*;
- 2 американская компания *Intel*;
- 3 южно-корейская компания *SK Hynix*;
- 4 американская компания *Micron Technology*.

Такое распределение ролей стало результатом значительного прироста доходов трех ведущих производителей микросхем памяти, занявших первое, третье и четвертое места.

Таким образом, сбылся майский, 2017 года, прогноз аналитиков *IC Insights* о первенстве *Samsung*; компания же *Intel* (которая была лидером на протяжении всего периода наших наблюдений, с 2010 года), по результатам 2017 года, в преддверии своего 50-летия (основана 18 июля 1968 года), оказалась отесненной на непривычное для себя второе место.

Если опираться на оценки аналитиков *Gartner* или *IHS Markit*, то компания *Samsung* в 2017 году обеспечила 14.6% или 14.5% соответственно от суммарного мирового объема выпуска полупроводниковых устройств в стоимостном выражении. Доля *Intel* сократилась до 13.8% или 14.3% соответственно. Однако компания *Samsung* не смогла превзойти

Табл. 2. Крупнейшие производители полупроводниковых приборов 2016–2017 гг. по версии *IHS Markit*

| Компания | Страна | 2016 г. | | | 2017 г. | | | 2017 г. в сравнении с 2016 г., % |
|---|------------|------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|------------------|----------------------------------|
| | | Доход, млрд. USD | Доля, % | Место в рейтинге | Доход, млрд. USD | Доля, (%) | Место в рейтинге | |
| <i>Samsung Electronics</i> | Корея | 40.389 | 11.5% | 2 | 62.031 | 14.5% | 1 | +53.6% |
| <i>Intel</i> | США | 54.980 | 15.6% | 1 | 61.406 | 14.3% | 2 | +11.7% |
| <i>SK Hynix</i> | Корея | 14.699 | 4.2% | 5 | 26.638 | 6.2% | 3 | +81.2% |
| <i>Micron Technology</i> | США | 12.710 | 3.6% | 7 | 22.843 | 5.3% | 4 | +79.7% |
| <i>Qualcomm*</i> | США | 14.979 | 4.2% | 4 | 17.375 | 4.0% | 6 | +16.0% |
| <i>Broadcom*</i> | США | 15.405 | 4.4% | 3 | 16.872 | 3.9% | 5 | +9.5% |
| <i>Texas Instruments (TI)</i> | США | 12.836 | 3.6% | 6 | 14.525 | 3.4% | 7 | +13.2% |
| <i>Toshiba</i> | Япония | 9.904 | 2.8% | 8 | 11.864 | 2.8% | 8 | +19.8% |
| <i>Western Digital</i> | США | 9.306 | 2.6% | 9 | 8.864 | 2.1% | 10 | -4.7% |
| <i>NXP Semiconductors (NXP)</i> | Нидерланды | 6.030 | 1.7% | 13 | 8.578 | 2.0% | 9 | +42.3% |
| Топ-10 | | 191.238 | 54.2% | | 250.996 | 58.5% | | +31.2% |
| Прочие компании | | 161.356 | 45.8% | | 178.112 | 41.5% | | +10.4% |
| Доход мировой полупроводниковой промышленности | | 352.594 | 100% | | 429.110 | 100.0% | | +21.7% |

Примечание: 1. Таблица составлена на основании данных компании *IHS Markit* (март 2018 г.)
2. * компания не располагает собственными производственными мощностями (fabsless)

показатель *Intel* в 2016 году – тогда доля этой американской компании составляла 15.7% или 15.6% соответственно.

В соответствии с прогнозом аналитиков *IC Insights* (табл. 3), в 2018 году порядок расстановки компаний-производителей в лидирующем квартете сохранится. При этом лидерство *Samsung* укрепитя, поскольку её доля рынка увеличится, тогда как у *Intel*, напротив, уменьшится.

Согласно данным аналитической компании *Gartner*, по результатам 2017 года у производителей полупроводниковой продукции сменился лидер: на первую позицию выдвинулась компания *Samsung Electronics*. Годовой объем реализации её полупроводниковых приборов составил 61.215 млрд. долларов (это на +52.6% больше, чем в 2016 году), а рыночная доля достигла 14.6%.

Начиная с пятого места (без *TSMC*) и дальше, распределение мест в топе-15 от *IC Insights* существенно отличается от того единодушия, которое демонстрируют таблицы о рангах, подготовленные аналитиками *Gartner* и *IHS Markit*. Стоит отметить, что в первую десятку по версии *IC Insights* впервые вошла компания *NVIDIA* (9-е место, если без *TSMC*).

1.3. Контрактные производители

В табл. 4 приводятся данные аналитической компании *IC Insights* для ведущего октета (топ-8) контрактных производителей полупроводниковой продукции (то есть таких, которые не занимаются самостоятельной разработкой микросхем) и многоотраслевых *IDM*-компаний, у которых имеется подразделение для контрактного производства микросхем (*IDM – Integrated Device Manufacturer*).

Почему в этом рейтинге только восемь позиций? Потому что ровно столько компаний получили в 2017 году доход более миллиарда долларов. Их доля от всего объема контрактного производства полупроводниковой продукции (который выражается цифрой 62.31 млрд. долларов) составила 88.4%.

Несколько слов о позициях в этом рейтинге:

1) Лидером среди контрактных производителей в течение всего периода наших наблюдений с большим отрывом остается тайваньская компания *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)*. В 2017 году доля *TSMC* в общем объеме контрактного производства полупроводниковых приборов составила 51.6% (32.163 млрд. долларов).

2) На второй позиции в 2017 году находится американская компания *GlobalFoundries* с

Табл. 3. Крупнейшие производители полупроводниковых приборов в 2017 г. и прогноз на 2018 г. по версии *IC Insights*

| Компания | Страна | 2017 г. | | 2018 г. | | | 2018 г. в сравнении с 2017 г., % | |
|---------------------------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|----------------|------------------|----------------------------------|----------------|
| | | НИОКР, млрд. USD | Доля, % | НИОКР, млрд. USD | Доля, % | Доход, млрд. USD | | НИОКР/доход, % |
| <i>Samsung Electronics</i> | Корея | 65.882 | 20.4% | 1 | 83.258 | 21.8% | 1 | +26.4% |
| <i>Intel</i> | США | 61.720 | 19.1% | 2 | 70.154 | 18.4% | 2 | +13.7% |
| <i>SK Hynix</i> | Корея | 26.722 | 8.3% | 4 | 37.731 | 9.9% | 3 | +41.2% |
| <i>TSMC**</i> | Тайвань | 32.163 | 9.9% | 3 | 34.209 | 9.0% | 4 | +6.4% |
| <i>Micron Technology</i> | США | 23.920 | 7.4% | 5 | 31.806 | 8.3% | 5 | +33.0% |
| <i>Broadcom***</i> | США | 17.795 | 5.5% | 6 | 18.455 | 4.8% | 6 | +3.7% |
| <i>Qualcomm***</i> | США | 17.029 | 5.3% | 7 | 16.481 | 4.3% | 7 | -3.2% |
| <i>Toshiba</i> | Япония | 13.333 | 4.1% | 9 | 15.407 | 4.0% | 8 | +15.6% |
| <i>Texas Instruments (TI)</i> | США | 13.910 | 4.3% | 6 | 14.962 | 3.9% | 9 | +7.6% |
| <i>NVIDIA***</i> | США | 9.402 | 2.9% | 10 | 12.896 | 3.4% | 10 | +37.2% |
| <i>STMicroelectronics</i> | Франция, Италия | 8.313 | 2.6% | 12 | 9.639 | 2.5% | 11 | +16.0% |
| <i>Western Digital</i> | США | 7.840 | 2.4% | 15 | 9.480 | 2.5% | 12 | +20.9% |
| <i>NXP Semiconductors (NXP)</i> | Нидерланды | 9.256 | 2.9% | 11 | 9.394 | 2.5% | 13 | +1.5% |
| <i>Infineon Technologies</i> | Германия | 8.126 | 2.5% | 13 | 9.246 | 2.4% | 14 | +13.8% |
| <i>Sony</i> | Япония | 7.891 | 2.4% | 14 | 8.042 | 2.1% | 15 | +1.9% |
| Топ-15 | | 323.302 | 100.0% | | 381.160 | 100.0% | | +17.9% |

Примечания: 1. Таблица составлена с использованием данных и прогноза* (ноябрь 2018 г.) компании *IC Insights*.
 2. ** компания является контрактным производителем микросхем (*foundry*)
 3. *** компания не располагает собственными производственными мощностями (*fabless*)

годовым доходом 6.06 млрд. долларов и рыночной долей 9.7%.

3) Третье место занимает тайваньская компания *United Microelectronics Corporation (UMC)* с доходом 4.898 млрд. долларов и долей 7.9%.

4) Четвертое место досталось подразделению южнокорейской *IDM*-компании *Samsung Electronics*, объем контрактного производства которого достиг 4.6 млрд. долларов, а рыночная доля составила 7.4%.

5) Замыкает квинтет китайский производитель *Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)*, заработавший 3.101 млрд. долларов; его доля составляет 5%.

Следующие позиции после уже успевшей закрепиться среди «миллиардеров» тайваньской компании *Powerchip* (1.498 млрд., 2.4%), которой досталось 6-е место, занимают китайская *Huahong Group* (1.395 млрд., 2.2%) и израильская *TowerJazz* (1.388 млрд., 2.2%).

Если же попытаться составить общий топ-10 на базе двух таблиц (табл. 1 или табл. 2 вместе с табл. 4), то по результатам 2017 года в него, как и в табл. 3, попадет лишь один контрактный производитель – компания *TSMC*, годовой доход которой соответствует 3-й позиции в объединенном рейтинге.

2 Инвестиции в приобретение компаний

Остановимся теперь на крупнейших сделках по слиянию-поглощению компаний, которые свидетельствуют о консолидации рынка полупроводниковых устройств.

2.1. Китай не разрешил компании *Qualcomm* купить *NXP Semiconductors*

Напомним, что в октябре 2016 года американская компания *Qualcomm* объявила о приобретении голландской *NXP Semiconductors*. Тем не менее, за почти два года от китайских регулирующих органов так и не было получено одобрение сделки (оно было необходимо ввиду присутствия *NXP* на китайском рынке). Поэтому компания *Qualcomm* пришлось выйти из соглашения, что подтвердила *NXP Semiconductors* 26 июля 2018 года. Таким образом, крупнейшее поглощение на полупроводниковом рынке пало жертвой торговой войны между Китаем и США.

Total semi capex as well as capex for memory production and its share (%) for 2013–2017 and forecast for 2018 (August, November 2018)



В начале декабря 2018 года на саммите G20 в Аргентине президент США Дональд Трамп и председатель КНР Си Цзиньпин договорились, что, в случае повторной подачи заявки *Qualcomm* на приобретение *NXP*, Китай эту сделку одобрит. Однако руководство *Qualcomm* считает, что вопрос уже закрыт, и какие-либо перспективы для возобновления сделки отсутствуют.

2.2. Поглощение компании *Qualcomm* запретил президент США

В период с ноября 2017 года по февраль 2018 года компания *Broadcom* (эта некогда сингапурская компания сменила юрисдикцию на американскую) несколько раз обращалась к американской же компании *Qualcomm* с заманчивым предложением о приобретении. Сумма сделки варьировалась в пределах от 100 до 130 млрд. долларов. Однако Совет директоров *Qualcomm* эти предложения неизменно отклонял.

Точку в этой истории поставил президент США, который в марте 2018 года своим указом блокировал поглощение *Qualcomm* из соображений национальной безопасности.

2.3. Подразделение *Toshiba*, производящее микросхемы, продано американцам

В начале июня 2018 года была закрыта сделка, объявленная в сентябре 2017 года: тогда было

Табл. 4. Крупнейшие контрактные производители микросхем (*foundries*), специализирующиеся только на производстве (*pure-play*), а также *IDM*-компании в 2015–2017 гг.

| Компания | Страна | 2015 г. | | 2016 г. | | 2017 г. | | 2016 г. в сравнении с 2015 г., % | 2017 г. в сравнении с 2016 г., % |
|---|---------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Доход, млрд. USD | Доля, % | Доход, млрд. USD | Доля, % | Доход, млрд. USD | Доля, % | | |
| <i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)</i> | Тайвань | 26.574 | 52.4% | 29.488 | 51.1% | 32.163 | 51.6% | +11.0% | +9.1% |
| <i>GlobalFoundries</i> | США | 5.019 | 9.9% | 5.495 | 9.5% | 6.060 | 9.7% | +9.5% | +10.3% |
| <i>United Microelectronics Corporation (UMC)</i> | Тайвань | 4.464 | 8.8% | 4.582 | 7.9% | 4.898 | 7.9% | +2.6% | +6.9% |
| <i>Samsung Electronics*</i> | Корея | 2.670 | 5.3% | 4.410 | 7.6% | 4.600 | 7.4% | +65.2% | +4.3% |
| <i>Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)</i> | Китай | 2.236 | 4.4% | 2.914 | 5.0% | 3.101 | 5.0% | +30.3% | +6.4% |
| <i>Powerchip</i> | Тайвань | 1.268 | 2.5% | 1.275 | 2.2% | 1.498 | 2.4% | +0.6% | +17.5% |
| <i>Huahong Group</i> | Китай | 0.971 | 1.9% | 1.184 | 2.1% | 1.395 | 2.2% | +21.9% | +17.8% |
| <i>TowerJazz</i> | Израиль | 0.961 | 1.9% | 1.250 | 2.2% | 1.388 | 2.2% | +30.1% | +11.0% |
| Топ-8 | | 44.163 | 87.0% | 50.598 | 87.7% | 55.103 | 88.4% | +14.6% | +8.9% |
| Прочие компании | | 6.597 | 13.0% | 7.112 | 12.3% | 7.207 | 11.6% | +7.8% | +1.3% |
| Всего | | 50.760 | 100.0% | 57.710 | 100.0% | 62.310 | 100.0% | +13.7% | +8.0% |

Примечание: 1. Таблица составлена с использованием данных компании *IC Insights* (апрель 2018 г.)
2. **IDM*-компании (*Integrated Device Manufacturers*) имеют подразделения для контрактного производства микросхем

достигнуто соглашение о продаже компанией *Toshiba* своего подразделения *Toshiba Memory Corporation* американцам. Сумма сделки составила 18 млрд. долларов.

Покупателем японского производителя микросхем памяти выступил консорциум, возглавляемый американской частной инвестиционной компанией *Bain Capital*, куда вошли корейская компания *SK Hynix* и американские *Apple*, *Dell Technologies*, *Seagate Technology* и *Kingston Technology*.

2.4. Компания *Microchip Technology* приобретает *Microsemi Corporation*

В конце февраля 2018 года американский производитель микроконтроллеров и интегральных схем *Microchip Technology* (компания основана в 1989 году, штаб-квартира находится в гор. Чандлер, штат Аризона) приобрел американского же производителя полупроводниковых приборов – *Microsemi Corporation* (компания основана в 1959 году, штаб-квартира расположена в *Aliso Viejo*, штат Калифорния).

Сумма сделки, закрытой в конце мая 2018 года, составила 8.35 млрд. долларов, плюс необходимость погасить убытки *Microsemi* в размере 1.8 млрд. долларов. После этого поглощения капитализация *Microchip Technology* на начало декабря 2018 года достигла 17.7 млрд. долларов.

3 Инвестиции в разработку и освоение новых технологий

О темпах разработки и освоения новых технологий можно судить по размерам инвестиций в

научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (или, как принято в англоязычном мире, исследования и разработки – *Research & Development, R&D*), а также по капитальным затратам компаний, располагающих собственными производственными мощностями.

3.1. Затраты на исследования и разработки

В табл. 5 приводятся соответствующие данные аналитической компании *IC Insights* для производителей полупроводниковой продукции, отранжированных по величине затрат на *R&D*.

Наибольшую сумму на эти цели в 2017 году выделила компания *Intel* – 13.1 млрд. долларов, что составляет чуть больше пятой части (21.2%) её годового дохода. На второй позиции в 2017 году находилась компания *Qualcomm*, которая вложила в перспективные разработки 3.45 млрд. долларов или 17.1% своего годового дохода. Третье место занимает *Broadcom* с показателем 3.423 млрд. долларов или 17.8% годового дохода.

Квартет компаний с двухзначным (*double-digit*) приростом инвестиций в 2017 году по сравнению с 2016 годом выглядит так: *NVIDIA* (+23%), *TSMC* (+20%), *Samsung Electronics* (+19%) и *SK Hynix* (+14%).

По оценкам аналитической компании *IC Insights*, наибольшие инвестиции в исследования и разработки в 2017 году сделала компания *Intel* – 13.1 млрд. долларов или 21.2% своего годового дохода.

Табл. 5. Расходы производителей полупроводниковых приборов на НИОКР в 2016–2017 гг. в сравнении с доходом в 2017 году

| Компания | Страна | 2016 г. | | 2017 г. | | | | 2017 г. в сравнении с 2016 г., % |
|--|----------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|----------------|----------------------------------|
| | | НИОКР, млрд. USD | Доля, % | НИОКР, млрд. USD | Доля, % | Доход, млрд. USD | НИОКР/доход, % | |
| <i>Intel</i> | США | 12.717 | 37.5% | 13.098 | 36.5% | 61.8 | 21.2% | +3.0% |
| <i>Qualcomm</i> | США | 3.594 | 10.6% | 3.450 | 9.6% | 17.1 | 20.2% | -4.0% |
| <i>Broadcom</i> | США + Сингапур | 3.291 | 9.7% | 3.423 | 9.5% | 17.8 | 19.2% | +4.0% |
| <i>Samsung Electronics</i> | Корея | 2.870 | 8.5% | 3.415 | 9.5% | 65.7 | 5.2% | +19.0% |
| <i>Toshiba</i> | Япония | 2.871 | 8.5% | 2.670 | 7.4% | 13.4 | 20.0% | -7.0% |
| <i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)</i> | Тайвань | 2.213 | 6.5% | 2.656 | 7.4% | 32.0 | 8.3% | +20.0% |
| <i>MediaTek</i> | Тайвань | 1.726 | 5.1% | 1.881 | 5.2% | 7.8 | 24.0% | +9.0% |
| <i>Micron Technology</i> | США | 1.669 | 4.9% | 1.802 | 5.0% | 24.0 | 7.5% | +8.0% |
| <i>NVIDIA</i> | США | 1.461 | 4.3% | 1.797 | 5.0% | 9.4 | 19.1% | +23.0% |
| <i>SK Hynix</i> | Корея | 1.517 | 4.5% | 1.729 | 4.8% | 26.6 | 6.5% | +14.0% |
| Топ-10 | | 33.927 | 100.0% | 35.921 | 100.0% | 275.6 | 13.0% | +5.9% |

Примечание: таблица составлена с использованием данных компании IC Insights (февраль 2018 г.)

3.2. Капитальные затраты на развитие производства

В табл. 6 приводятся данные аналитической компании IC Insights для производителей полупроводниковой продукции, обладающих собственной производственной базой.

В 2017 году в тройку лидеров по вложениям в производство вошли компании *Samsung Electronics*, *Intel* и *TSMC* – с размером инвестиций более 10 млрд. долларов каждая: 24.2, 11.8 и 10.9 млрд. долларов соответственно.

По прогнозу на 2018 год, рекордсменом по инвестициям в производственную базу останется *Samsung Electronics* – 22.6 млрд. долларов. Больше 10 млрд. долларов инвестируют еще три компании: на втором месте – компания *Intel* (15.5 млрд.), на третьем – *SK Hynix* (12.8 млрд.), на четвертом – *TSMC* (10.3 млрд.).

Три компаний с двухзначным приростом инвестиций в 2018 году по сравнению с 2017 годом выглядят так: *SK Hynix* (+58.2%), *Micron Technology* (+53.8%) и *Intel* (+31.6%).

В соответствии с прогнозом аналитической компании IC Insights на 2018 год, наибольшие капитальные затраты ожидаются у компании *Samsung Electronics* – 22.6 млрд. долларов.

Прогнозируется, что суммарная величина инвестиций в 2018 году всех производителей полупроводниковой продукции впервые превысит 100-миллиардную отметку и достигнет 107.1 млрд. долларов (рис. 2), при этом доля

инвестиций в производство микросхем памяти превысит половину (53%).

Аналитики из IC Insights прогнозируют, что 2018 году суммарные капитальные затраты производителей микросхем впервые превысят отметку 100 млрд. и достигнут 107.1 млрд. долларов.

Ожидается, что в 2019 году капитальные затраты снизятся на -11.7% и составят 94.6 млрд. долларов (табл. 6).

4 Освоение передовых технологических норм

Кратко остановимся на достижениях в освоении передовых технологий производства полупроводниковых приборов.

4.1. Компания TSMC готова к массовому производству 7-нм чипов

В апреле 2018 года тайваньская компания TSMC объявила о полной готовности к началу массового производства микросхем по технологической норме 7 нанометров.

Агентство Bloomberg отметило, что по установленной традиции официальные представители компании TSMC не комментируют приоритеты в выполнении заказов, а также произведенные продукты до их официального представления.

Как бы то ни было, именно TSMC выпустила следующие новейшие 7-нм чипы:

- шестиядерный 64-битный ARM-процессор *Apple A12 Bionic*, содержащий 6.9 млрд. транзисторов, который применен в анонсированных

в сентябре 2018 года смартфонах *iPhone XS* и *iPhone XS Max*;

- анонсированный в начале ноября 2018 года 64-ядерный и 128-поточный серверный процессор *AMD EPYC Rome*, построенный на базе ядер с микроархитектурой *Zen 2*; процессор будет поставляться с 2019 года.

Очень вероятно появление у *TSMC* еще одного заказчика в лице компании *IBM*, которая осталась без партнера вследствие отказа *GlobalFoundries* от дальнейшей разработки 7-*nm* техпроцесса. Напомним, что по соглашению от 20 октября 2014 года компания *GlobalFoundries* получила от *IBM* производственные мощности, техпроцессы 22 *nm*, 14 *nm* и 10 *nm* и более 10 000 патентов плюс 1.5 млрд. долларов. При этом *GlobalFoundries* обязалась выпускать процессоры *IBM Power*. Теперь *IBM* в поисках партнера для производства своих процессоров для мейнфреймов остановила свой выбор на компании *TSMC*, которая, по всей видимости, получит заказ на производство следующего поколения процессоров *IBM Power10* по техпроцессу 7 *nm*.

4.2. TSMC начнет массовое производство 5-nm микросхем в 2020 году или раньше

В конце июня 2018 года на мероприятии *TSMC* под названием *Taiwan Technology Symposium* её исполнительный директор *C. C. Wei* уточнил планы компании и объем инвестиций для освоения 5-*nm* производственного процесса. По его словам, массовое производство 5-*nm* чипов начнется в конце 2019 года или в

начале 2020 года, а вложения компании достигнут 25 млрд. долларов.

4.3. TSMC опробовала фотолитографию в глубоком ультрафиолете

В начале ноября 2018 года компания *TSMC* сообщила о выпуске заказного 7-*nm* чипа, при производстве которого было опробовано частичное применение (то есть, создавались некоторые отдельные слои микросхемы) нового технологического процесса на базе фотолитографии в глубоком ультрафиолете (*Extreme Ultraviolet Lithography, EUV*) с длиной волны порядка 13.5 нанометров.

Во второй декаде ноября 2018 года об аналогичном достижении сообщила компания *Samsung*.

Одновременно с этим компания *TSMC* обнародовала планы начать рисковое производство 5-*nm* чипов уже в апреле 2019 года с полным переходом на *EUUV*-литографию.

Эти планы подкрепляются результатами выпуска экспериментальных партий 5-*nm* чипов с процессорными ядрами *ARM A72*. Тестирование показало, что переход с технологической нормы 7 *nm* на 5 *nm* дает значительный прирост производительности чипа (порядка 15%), а площадь кристалла сокращается в 1.8 раза.

4.4. TSMC предлагает вести разработку чипов в облаке

В начале ноября 2018 года неутомимая компания *TSMC* объявила о развертывании облачного сервиса *Virtual Design Environment*

Табл. 6. Капитальные затраты производителей полупроводниковых приборов в 2017 г. и прогноз на 2018–2019 гг.

| Компания | Страна | 2017 г. | | 2018 г.** | | 2019 г.** | | 2018 г. в сравнении с 2017 г., % | 2019 г. в сравнении с 2018 г., % |
|---|---------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Объем инвестиций, млрд. USD | Доля, % | Объем инвестиций, млрд. USD | Доля, % | Объем инвестиций, млрд. USD | Доля, % | | |
| <i>Samsung Electronics</i> | Корея | 24.232 | 25.9% | 22.620 | 21.1% | 18.0 | 19.0% | -6.7% | -20.4% |
| <i>Intel</i> | США | 11.778 | 12.6% | 15.500 | 14.5% | 13.5 | 14.3% | +31.6% | -12.9% |
| <i>SK Hynix</i> | Корея | 8.091 | 8.7% | 12.800 | 11.9% | 10.0 | 10.6% | +58.2% | -21.9% |
| <i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)*</i> | Тайвань | 10.846 | 11.6% | 10.250 | 9.6% | 10.0 | 10.6% | -5.5% | -2.4% |
| <i>Micron Technology</i> | США | 6.475 | 6.9% | 9.960 | 9.3% | 9.5 | 10.0% | +53.8% | -4.6% |
| Топ-5 | | 61.422 | 65.7% | 71.130 | 66.4% | 61.0 | 64.5% | +15.8% | -14.2% |
| Прочие компании | | 32.055 | 34.3% | 36.010 | 33.6% | 33.6 | 35.5% | +12.3% | -6.7% |
| Всего | | 93.477 | 100.0% | 107.140 | 100.0% | 94.6 | 100.0% | +14.6% | -11.7% |

Примечание: 1. Таблица составлена с использованием данных компании *IC Insights* (ноябрь 2018 г.)
 2. * контрактные производители микросхем (*foundries*), специализирующиеся только на производстве (*pure-play*)
 3. ** прогноз составлен в ноябре 2018 г.

(“виртуальная среда разработки”) для разработки чипов. Сервис создается на базе двух ведущих облачных платформ – *Amazon Web Services* и *Microsoft Azure* – в сотрудничестве с двумя лидерами в сфере автоматизации проектирования электроники (*Electronic Design Automation, EDA*), компаниями *Cadence* и *Synopsys*.

5 Новейшие процессоры и их разработчики

К сожалению, на момент подготовки обзора ни одна из аналитических компаний не опубликовала развернутые данные об объединенном рынке процессоров.

Опираясь на информацию об объемах реализации продукции в денежном выражении, представленную в предыдущих обзорах, перечислим ведущих разработчиков процессоров:

- *Intel*;
- *Samsung Electronics*;
- *Qualcomm*;
- *NVIDIA*;
- *Apple*;
- *AMD*.

В список поставщиков процессоров теперь входит и *Apple*, которая рассматривается как *fabless*-компания; первыми включили её в рейтинги производителей полупроводниковой продукции аналитики компании *IHS*.

Поскольку в сфере наших интересов находятся и собственно системы высокопроизводительных вычислений (*HPC*), мы наблюдаем и за поставщиками процессоров для тех систем, быстродействие которых соответствует критериям суперкомпьютерного рейтинга *Top500*. Такими поставщиками, по результатам опубликованного в ноябре 2018 года 52-го списка *Top500*, являются:

- *IBM*;
- *NVIDIA*;
- *Intel*;
- *Fujitsu Semiconductor*;
- *AMD*;
- *Cavium*.

Кроме того, в их число попадают и разработчики китайских процессоров, на базе которых построены не только недавний рекордсмен *Top500*, но и прототипы экзафлопсных суперкомпьютеров, в том числе:

- компания *Jiangnan Computing Lab* (гор. Уси), разработавшая процессор *ShenWei SW26010* для суперкомпьютера *Sunway TaihuLight*;

- компания *Phytium Technology*, представившая в 2016 году китайский ARM-процессор *Phytium FT-1500A*, созданный на базе ядер *Xiaomi FTC660*;

- компания *HuGon (Chengdu Haiguang Integrated Circuit Design Corporation)* – совместное предприятие американской компании *AMD*

и китайского инвестиционного фонда *THATIC (Tianjin Haiguang Advanced Technology Investment Corporation)* – в июле 2018 года представила процессоры *HuGon Dhyana* с системой команд *x86*.

Отметим, что в список *Top500* впервые включен петафлопсный суперкомпьютер, созданный на базе ARM-процессоров *Cavium ThunderX2*, архитектуру которых разработала компания *ARM Holdings*.

Теперь кратко остановимся на некоторых интересных с нашей точки зрения разработках, которые не относятся (по крайней мере, пока) к *x86*-мейнстриму от *Intel* (или от вышедшей на тропу успешной конкуренции компании *AMD*) для серверов и персональных компьютеров, а также и к ARM-мейнстриму для планшетов и смартфонов.

5.1. ARM-процессор от Fujitsu для прототипа экзафлопсного суперкомпьютера

В конце августа 2018 года на конференции *Hot Chips 30* в Кремниевой долине (шт. Калифорния) японская компания *Fujitsu* впервые представила спецификации 64-разрядных процессоров *Fujitsu A64FX* (рис. 3), поддерживающих систему команд ARM. Эти процессоры предназначены для экзафлопсного суперкомпьютера *Post-K* с новой архитектурой *Scalable Vector Extensions* (масштабируемые векторные инструкции), построить который планируется к 2021 году.

Новый процессор имеет 48 вычислительных ядер и 4 вспомогательных; ядра разделены на четыре блока по 13 ядер, соединенных внутренней кольцевой шиной. Чип содержит 8.7 млрд. транзисторов. Пиковая производительность составляет 2.7 *Tflops* для операций с двойной точностью.

Производство процессора *Fujitsu A64FX*, рассчитанное на применение технологической

Fujitsu A64FX is 52-core 64-bit processor with 8.7 billion transistors performs up to 2.7 Tflops for double-precision operations



Рис. 3. Fujitsu A64FX – 52-ядерный 64-разрядный ARM-процессор с 8.7 млрд. транзисторов. Производительность операций с двойной точностью достигает 2.7 Tflops

нормы 7 nm, по всей видимости, возложено на компанию TSMC.

5.2. Серверный ARM-процессор от Ampere Computing

В сентябре 2018 года американская компания Ampere Computing начала коммерческие поставки 32-ядерных 64-разрядных серверных процессоров Ampere eMAG 8180 (рис. 4) с системой команд ARMv8.0-A. Тактовая частота процессора – 3 GHz, энергопотребление – более 125W. Сейчас эти микроприборы производятся по технологической норме 16 nm, далее планируется переход на 7 nm.

Серверы на базе платформы Ampere eMAG 8180 готовит к выпуску компания Lenovo и другие ODM-компании. Таким образом, Ampere Computing стала второй компанией после Cavium (процессоры ThunderX2), которая осуществила коммерческое внедрение серверных ARM-процессоров.

Компания Ampere Computing была образована в 2017 году (штаб-квартира находится в гор. Санта-Клара, штат Калифорния) с привлечением финансирования от одного из крупнейших инвестиционных фондов – Carlyle Group. Руководит свежееиспеченной компанией Renée J. James, которая с 1987 года работала в компании Intel, а в 2013–2015 гг. её возглавляла. Ampere Computing приобрела у компании MACOM активы, связанные с разработкой ARM-процессора X-Gene, а также лицензию на применение архитектуры ARMv8, которые, в свою очередь, были

Ampere eMAG 8180 is 32-core 64-bit processor based on architecture ARMv8.0-A, clock frequency up to 3 GHz



Рис. 4. Ampere eMAG 8180 – 32-ядерный 64-разрядный процессор с архитектурой ARMv8.0-A; тактовая частота до 3 GHz

приобретены вместе с компанией Applied Micro Circuits Corporation.

5.3. Серверный ARM-процессор от Huawei

В середине ноября 2018 года на выставке SC18 в Далласе (шт. Техас) китайская компания Huawei представила серверные ARM-процессоры HiSilicon Hi1620 (рис. 5), выпущенные её дочерней компанией HiSilicon Technologies. Процессоры имеют от 24 до 64 ядер с архитектурой ARMv8.2-A (по всей

Табл. 7. Крупнейшие потребители полупроводниковых приборов в 2016–2017 гг.

| Компания | Страна | 2016 г. | | | 2017 г. | | | 2017 г. в сравнении с 2016 г., % |
|---|--------|------------------------------|---------------|------------------|------------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|
| | | Объем потребления, млрд. USD | Доля, % | Место в рейтинге | Объем потребления, млрд. USD | Доля, (%) | Место в рейтинге | |
| Samsung Electronics | Корея | 31.426 | 9.1% | 1 | 43.108 | 10.3% | 1 | +37.2% |
| Apple | США | 30.390 | 8.8% | 2 | 38.754 | 9.2% | 2 | +27.5% |
| Dell Technologies | США | 13.544 | 3.9% | 3 | 15.702 | 3.7% | 3 | +15.9% |
| Lenovo Group | Китай | 13.384 | 3.9% | 4 | 14.671 | 3.5% | 4 | +9.6% |
| Huawei | Китай | 10.792 | 3.1% | 5 | 14.259 | 3.4% | 5 | +32.1% |
| BBK Electronics | Китай | 6.411 | 1.9% | 7 | 12.103 | 2.9% | 6 | +88.8% |
| Hewlett-Packard Inc. | США | 8.906 | 2.6% | 6 | 9.971 | 2.4% | 7 | +12.0% |
| Hewlett-Packard Enterprise | США | 6.124 | 1.8% | 8 | 7.199 | 1.7% | 8 | +17.6% |
| LG Electronics | Корея | 5.162 | 1.5% | 11 | 6.537 | 1.6% | 9 | +26.6% |
| Western Digital | США | 4.470 | 1.3% | 13 | 6.210 | 1.5% | 10 | +38.9% |
| Топ-10 | | 130.609 | 38.0% | | 168.514 | 40.1% | | +29.0% |
| Другие компании | | 212.905 | 62.0% | | 251.206 | 59.9% | | +18.0% |
| Доход мировой полупроводниковой промышленности | | 343.514 | 100.0% | | 419.720 | 100.0% | | +22.2% |

Примечание: таблица составлена с использованием данных компании Gartner (февраль 2018 г.)

HiSilicon Hi1620 is 64-core 64-bit processor based on architecture ARMv8.2-A, clock frequency up to 3 GHz, manufactured using 7 nm process



Рис. 5. HiSilicon Hi1620 – 64-ядерный 64-разрядный процессор с архитектурой ARMv8.2-A и тактовой частотой до 3 GHz. Производится по технологической норме 7 nm

Источник: HiSilicon (Собственная компания Huawei)

видимости, Cortex-A76) с тактовой частотой от 2.4 до 3.0 GHz. Уровень энергопотребления составляет 100÷200W, в зависимости от числа ядер и тактовой частоты.

Выпуск процессора HiSilicon Hi1620 ожидается в феврале 2019 года. Производство планируется вести на базе компании TSMC по технологической норме 7 nm.

6 Крупнейшие потребители полупроводниковых приборов

В табл. 7 сведены десять крупнейших потребителей полупроводниковых приборов.

Лидером регулярно обновляемого компанией Gartner рейтинга Топ-10 в 2010 году и 2012–2017 гг. неизменно был южно-корейский гигант Samsung Electronics. Лишь однажды, в 2011 году, компании Apple удалось оттеснить Samsung на вторые роли.

В 2017 году компании из Топ-10 в сумме потребили 40.1% объема продукции полупроводниковой промышленности в стоимостном выражении. В 2013, 2014, 2015 и 2016 годах этот показатель был несколько ниже: 36.4%, 36.3%, 36.8% и 38% соответственно.

Семь компаний из Топ-10, выделенные жирным шрифтом (Samsung, Apple, Dell Technologies, Lenovo Group, Huawei, Hewlett-Packard Inc., Hewlett-Packard Enterprise) упоминаются в резюме к первой, второй и

пятой частям нашего обзора [1,2,5] как наши поднадзорные компании. По суммарным результатам деятельности этих компаний можно судить о тенденциях развития рассматриваемых нами рыночных сегментов устройств различной вычислительной мощности. ☺

Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, облачная ИТ-инфраструктура, квантовые вычисления // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №3, с. 6–14.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. HPC-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №4, с. 80–87.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №5, с. 19–32.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть IV. Сфера PLM, включая CAE и EDA // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №6, с. 6–18.
5. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть V. Компьютеры, планшеты, смартфоны // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №7, с. 79–87.
6. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть IV. Процессоры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №8, с. 55–66.
7. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры для HPC-систем. EDA-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №6, с. 77–88; №7, с. 85–92.
8. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка. Часть III // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №1, с. 75–86.

Об авторе:

Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, ведущий научный сотрудник Лаборатории математического моделирования окружающей среды и технологических процессов Латвийского университета (Sergejs.Pavlovs@lu.lv), автор аналитического PLM-журнала “CAD/CAM/CAE Observer” (sergey@cadcamcae.lv)