

V. E. Gertzman, A. I. Vaintraub, A. V. Ekalo  
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

K. G. Zinoviev  
The Plesetsk Cosmodrome

## METHOD OF INCREASING THE ACCURACY OF ALIGNMENT OF RADAR STATIONS VIA LOW-ORBITING SPACECRAFTS

*Contains description of the method of constructing a «reference trajectory» required to check the extent of error of coordinate measurements of the radar station (RLS), and determine the need for further conducting the adjustment works. As objects of measurement uses low-orbit space spacecrafts, equipped with navigation equipment consumers (NAP) of Global navigation Satellite Systems (GNSS) GLONASS/GPS, to transmit NAP on to ground receiving stations via telemetric radio channel. Improving the accuracy of construction of the reference orbit, relative to which the alignment of the radar, by a posteriori processing complex aggregate of information transmitted by radio to the receiving point information (PPI) of ground automated control complex (GACC). There are given recommendations for the selection and verification of low-orbit spacecraft which can be used as objects, that can providing a radar reference data with a target level of accuracy.*

**Low-orbit spacecraft, alignment, radar station, reference trajectory, navigation equipment of the consumer, errors of measurement, ephemerides**

УДК 004.75+004.087.2

Е. Ю. Белова  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Обзор систем хранения данных на флеш-накопителях

*Проводится обзор систем хранения данных, полностью построенных на флеш-накопителях. Выполнено сравнение накопителей на жестких магнитных дисках с твердотельными накопителями. С использованием данных аналитической компании DRAMeXchange проведен анализ рынков флеш-накопителей и энергонезависимых микросхем флеш-памяти типа Not AND (NAND). На основе отчетов аналитических компаний Gartner и International Data Corporation представлены рейтинги поставщиков систем хранения данных и, в частности, поставщиков массивов на твердотельных накопителях. В тройку мировых лидеров поставщиков систем хранения входят компании Dell EMC, Hitachi Ltd. и Hewlett Packard Enterprise. В тройку мировых лидеров поставщиков массивов на твердотельных накопителях – компании PureStorage, Dell EMC и Hewlett Packard Enterprise. Приведены конкретные модели систем хранения данных на флеш-накопителях, продемонстрировавшие наилучшие результаты отраслевого теста Storage Performance Council Benchmark-2 по производительности и соотношению цены и производительности.*

**Накопитель на жестких магнитных дисках, твердотельный накопитель, флеш-память, система хранения данных, массивы на твердотельных накопителях, производительность, SPC Benchmark-2**

Набор сведений или фактов, на основе которых могут быть сделаны выводы, называется данными. Примерами служат журналы, фотографии, счета бухгалтерского учета, медицинские карты, железнодорожные билеты и пр. С развитием компьютерных технологий появилась возможность создавать данные посредством компьютера

и хранить их в цифровом виде. Снижение цен на информационные носители, появление доступных высокоскоростных технологий связи, увеличение числа приложений и смарт-устройств способствовали стремительному росту объемов цифровых данных. В настоящее время их хранение представляет собой технологию, в которую вхо-

дят различные решения по управлению, подключению, защите, обеспечению безопасности, совместному использованию и оптимизации. Данные используются для извлечения необходимой информации [1], [2].

Хранилище является одним из главных компонентов центра обработки данных. Оно поддерживает различные устройства хранения: магнитные, оптические и твердотельные носители информации [1], [2]. Накопители на жестких магнитных дисках, иначе Hard (magnetic) Disk Drive (HDD), по-прежнему являются достаточно распространенными, однако их продажи медленно падают на фоне существенного роста рынка флеш-накопителей или твердотельных накопителей, иначе Solid State Drives (SSD). Несмотря на высокую стоимость, флеш-накопители обеспечивают высокую производительность и низкое время отклика. Линейки дисковых массивов, полностью построенных на твердотельных накопителях, имеются у большинства крупных производителей, таких как Dell EMC, Hewlett Packard Enterprise (HPE), NetApp, Inc. и др. [1], [2].

**Преимущества флеш-накопителей.** Накопитель на жестких магнитных дисках обладает большой емкостью и поддерживает быстрый доступ к данным. Однако в связи с активным поиском решений, направленных на повышение производительности для современных приложений, ему на смену приходит накопитель нового поколения – флеш-накопитель. Достоинства флеш-накопителей по сравнению с традиционными дисковыми накопителями [1], [2]:

1. Отсутствие задержек времени поиска и задержек на вращение магнитного диска.

2. Бесшумность работы, высокая ударопрочность и виброустойчивость.

3. Низкое энергопотребление. Затраты энергии на хранение 1 Тбайт данных у флеш-накопителя меньше 38 %. В результате экономия электроэнергии при выполнении операций ввода-вывода составляет около 98 %.

4. Высокая пропускная способность – до 30 раз.

5. Высокая производительность. Например, 80 000 операций ввода-вывода в секунду, иначе Input/Output operations Per Second (IOPS), против 350 операций ввода-вывода в секунду.

6. Низкое время отклика – менее 1 мс против 6...10 мс.

7. Меньшее количество устройств (в 20–30 раз) при обеспечении требований к производительности для приложений.

Два первых достоинства обусловлены тем, что флеш-память, которая используется при изготовлении флеш-накопителей, не содержит движущихся частей, третье достоинство – тем, что она является разновидностью полупроводниковой технологии памяти. Следствиями из шестого пункта являются экономия финансовых средств на приобретение флеш-накопителей и снижение затрат на обслуживание хранилища: электропитание, охлаждение, рабочие площади [1].

Флеш-накопители проигрывают по показателю стоимости хранения 1 Гбайт информации, но имеют более высокий показатель совокупной стоимости владения – Total Cost of Ownership (TCO). Большое количество IOPS в комбинации с низким временем отклика является обоснованием применения флеш-накопителей для приложений, выполняющих обработку больших объемов данных в режиме реального времени [1], [3]. Исходя из аналитического отчета специалистов аналитической компании DRAMeXchange по состоянию на май 2017 г. в первую тройку производителей флеш-накопителей входят компании Intel Corporation, Samsung Group и Western Digital Corporation, что демонстрирует диаграмма на рис. 1 (рынок поставщиков SSD) [4].

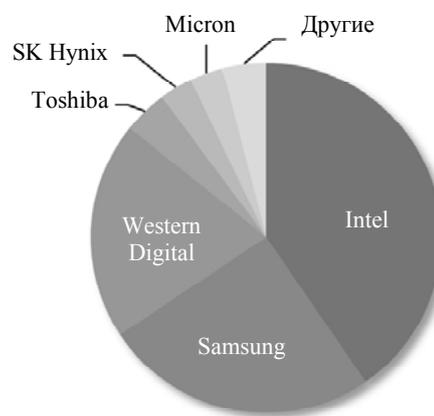


Рис. 1

Флеш-накопитель состоит из следующих компонентов: контроллер, интерфейс ввода-вывода, запоминающее устройство и кэш. Запоминающее устройство представляет собой массив энергонезависимых микросхем флеш-памяти типа Not AND (NAND). Память данного типа демонстрирует высокую скорость записи и стирания, высокую плотность хранения данных и низкую стоимость за бит [1], [3]. Согласно отчету специалистов аналитической компании DRAMeXchange по состоянию на июнь 2017 г. в пятерку лидеров по производству памяти NAND-типа входят Samsung Group –

35.40 %, Western Digital Corporation – 17.90 %, Toshiba Corporation – 16.50 %, Micron Technology – 11.90 %, SK Hynix Inc. – 11.00 % [5]. Флеш-накопитель при необходимости может с легкостью заменить дисковый накопитель за счет того, что использует тот же физический форм-фактор и аналогичные разъемы [1], [3].

**Системы хранения данных.** Постоянно растущие требования к повышению уровней масштабируемости, производительности и энергоэффективности хранилищ, предъявляемые современными приложениями, привели к появлению интеллектуальных систем хранения данных – полнофункциональных массивов дисков, обеспечивающих возможность обработки запросов на ввод-вывод с высокой степенью оптимизации. Операционная среда, имеющаяся у массива дисков, выполняет интеллектуальное и оптимизированное управление ресурсами. В комплектацию системы хранения входят кэш-память и несколько путей ввода-вывода [1]–[3], [6], [7]. Наиболее распространенными протоколами подключения систем хранения являются: Fibre Channel (FC) – 47 %, Network Attached Storage (NAS) – 23 %, Internet Small Computer System Interface (iSCSI) – 15 %. На долю других протоколов, таких как Fibre Channel over Ethernet (FCoE), InfiniBand и пр., приходится около 15 % [8].

Изначально в интеллектуальных системах хранения данных использовались только HDD. Однако сейчас в продаже имеются системы хранения с гибридными твердотельными накопителями, иначе Solid State Hybrid Drive (SSHD), и полностью построенные на базе SSD [7]. Производители совершенствуют системы хранения с целью повышения эффективности использования SSD: увеличивают рабочие циклы, оптимизируют производительность записи и tiering (технология автоматического распределения данных по уровням) [3].

**Анализ мирового и российского рынков систем хранения данных.** В последнем пресс-релизе международной исследовательской и консалтинговой компании International Data Corporation (IDC), занимающейся изучением мирового рынка информационных технологий и телекоммуникаций, отмечено, что общий доход мирового рынка систем хранения данных в первом квартале 2017 г. составил 9.2 млрд долларов США [9].

В тройку мировых лидеров поставщиков систем хранения данных исходя из аналитического отчета американской компании Gartner по состо-

янию на октябрь 2016 г. входят компании Dell EMC, Hitachi Ltd. и HPE, что иллюстрирует магический квадрант на рис. 2 (рынок поставщиков систем хранения данных) [8].

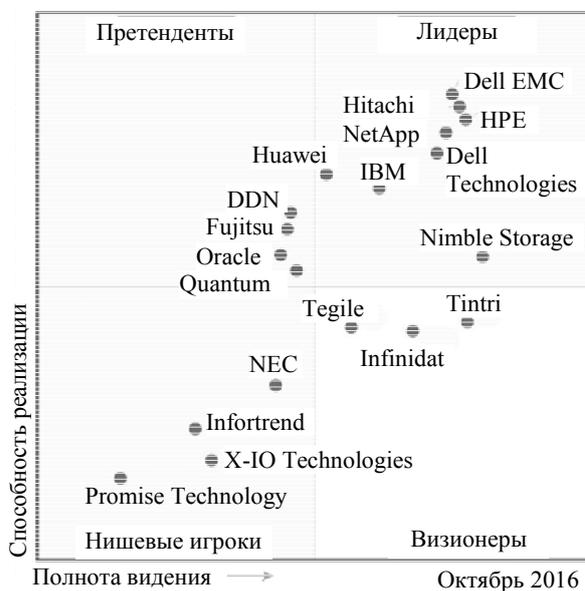


Рис. 2

Всего в исследование включены 20 компаний, которые оценены и упорядочены по двум критериям: способность реализации и полнота видения. Первый критерий отражает качество и эффективность процессов, которые позволяют вендору выстраивать успешный бизнес и благоприятно влияют на финансовые показатели, репутацию компании и лояльность ее клиентов. Второй критерий позволяет оценить, насколько производитель понимает текущую ситуацию на рынке и умеет предвидеть будущее развитие отрасли, как он видит потребности заказчиков и конкурентную среду. Вендоры разделены на четыре категории: «Лидеры» (надлежащая полнота видения и высокая способность реализации), «Претенденты» (хорошая способность реализации, но недостаточная полнота видения), «Визионеры» (хорошее видение, но недостаточная способность реализации) и «Нишевые игроки» (слабая полнота видения и слабая способность реализации) [8].

На рис. 3 представлена динамика доли рынка для пяти поставщиков в период с первого квартала 2016 г. по первый квартал 2017 г. [9].

Аналитики IDC по результатам первого квартала 2017 г. считают крупнейшим мировым поставщиком внешних систем хранения данных корпоративного класса компанию Dell EMC (1) с долей рынка 27.2 % и доходом 1424.6 млн долларов США. Второе место они отдают компании

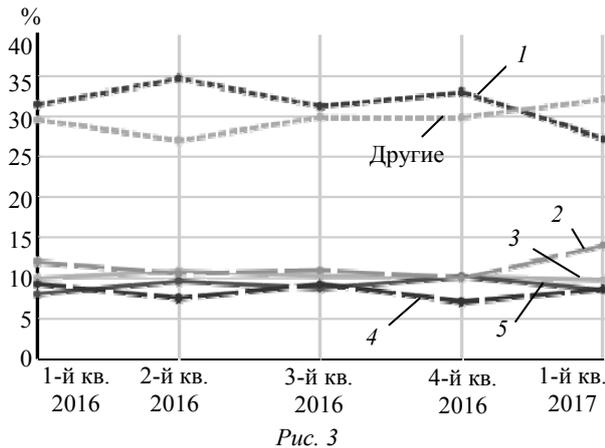


Рис. 3

NetApp, Inc. (2) с долей рынка 14.0 % и доходом 731.6 млн долларов США, третье место – HPE (3) с долей рынка 9.7 % и доходом 511.0 млн долларов США. Четвертое место делят между собой компании Hitachi Ltd. (4) и IBM (5) с долей рынка 8.6 % и 8.4 % соответственно.

Российский рынок внешних систем хранения данных за 2016 г. вырос на 35.7 % в емкостном и на 0.5 % в денежном выражении согласно пресс-релизу IDC. Общая сумма поставок составила 382.77 млн долларов США. В пятерку крупнейших поставщиков российского рынка внешних систем хранения входят компании Dell EMC, HPE, Hitachi Ltd., IBM и NetApp, Inc. При этом годовые финансовые результаты компаний Oracle и Huawei Technologies Co. Ltd. составляют двузначные цифры процентов. Аналитики IDC связывают рост российского рынка систем хранения со снижением средней стоимости терабайта и переориентацией заказчиков на решения среднего ценового сегмента. Несмотря на экономическую ситуацию и некоторое снижение темпов роста количества данных, они предсказывают увеличение спроса на системы хранения в 2017 г. [10].

Компания Gartner выделяет в отдельный магический квадрант поставщиков массивов на твердотельных накопителях. В пятерку лидеров по состоянию на июль 2017 г. входят компании PureStorage (серии FlashArray//M и FlashArray//X), Dell EMC (серии VMAX All Flash и Unity All Flash, продукт XtremIO), HPE (серии 3PAR StoreServ и Nimble Predictive AF), IBM (серии A9000, DS8000 и Storwize) и NetApp, Inc. (серии AFF и SF), что продемонстрировано на рис. 4 (рынок поставщиков систем хранения данных на флеш-накопителях) [11].

Рынок массивов на твердотельных накопителях вырос на 72 %, а общий доход в 2016 г. составил 4.6 млрд долларов США. При этом цена массивов продолжает падать – на 40 % за последние 18 мес. Аналитики Gartner прогнозируют, что в

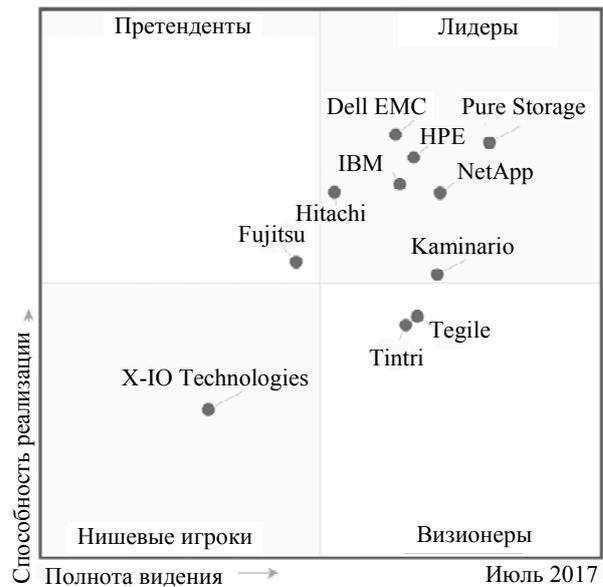


Рис. 4

ближайший год производительность массивов на твердотельных накопителях увеличится в 10 раз, а плотность и экономическая эффективность удвоится. Данные обстоятельства повлекут за собой изменение динамики рынка систем хранения данных. В настоящее время массивы на твердотельных накопителях используются только в 10 % центров обработки данных, но к 2021 г. их будут применять уже в 50 % центров [11].

Аналитики IDC отмечают сохранение тенденции, которая заключается в существенном росте продаж систем хранения данных, полностью построенных на флеш-накопителях, при одновременном снижении заинтересованности в решениях на традиционных магнитных дисках как на международном, так и на российском рынках. За 1-й квартал 2017 г. общий доход от продаж массивов на твердотельных накопителях составил 1.4 млрд долларов США, что означает рост до 75.7 % за год [9], [10].

**Результаты отраслевых тестов Storage Performance Council.** Объективная, актуальная и проверяемая информация о производительности систем хранения содержится в результатах отраслевых тестов Storage Performance Council (SPC). Она представляет ценность на протяжении всего жизненного цикла системы хранения, который включает в себя разработку требований к продукту, его реализацию, настройку производительности и пр. SPC-тесты являются независимыми от производителя и платформы системы хранения и применимы для широкого диапазона конфигураций систем хранения и топологий. Любой производитель может опубликовать результаты теста SPC, если предоставляемая им тестовая конфигу-

рация удовлетворяет требованиям соответствующей спецификации SPC [12]. В группу SPC входят компании Intel Corporation, IBM, Samsung Group, Dell EMC, HPE, Hitachi Ltd., Pure Storage, Huawei Technologies Co. Ltd., NetApp, Inc. и др. [13].

Набор SPC Benchmark-2 (SPC-2) состоит из трех различных рабочих нагрузок, демонстрирующих производительность подсистемы хранения во время выполнения критически важных бизнес-приложений, для которых характерны масштабные операции обмена данными. Рабочими нагрузками являются [14]:

- последовательная обработка одного или нескольких больших файлов, иначе Large File Processing (LFP);

- сложные запросы к базе данных, иначе Large Database Query (LDQ);

- загрузка видео по запросу, иначе Video on Demand Delivery (VOD).

Эти операции связаны с объемными повторяющимися запросами на ввод и вывод данных.

В десятку лучших систем хранения согласно тесту SPC-2 по производительности входят шесть продуктов, полностью построенных на флеш-накопителях, а именно Fujitsu Storage Systems ETERNUS DX8900 S3 Storage Array (1-е место),

HPE 3PAR StoreServ 20850 и HPE 3PAR StoreServ 20840 (2-е место), EMC VMAX 400K (3-е место), Kaminario K2F00000700 (6-е место) и Oracle ZFS Storage ZS5-2 (8-е место). В другую модификацию теста SPC-2 – по соотношению цены и производительности – входят только два продукта, полностью построенных на флеш-накопителях, а именно NetApp EF560 All-Flash Array (2-е место) и Oracle ZFS Storage ZS5-2 (3-е место). Результаты теста SPC-2 для представленных систем хранения приведены в таблице [14]–[19].

Под показателем «Цена-производительность» имеется в виду отношение общей стоимости к общей скорости передачи данных; под показателем «Емкость» – общая емкость системы хранения, которая доступна для чтения и записи в процессе выполнения SPC теста. В показатель «Общая стоимость» дополнительно входит обслуживание аппаратного обеспечения и поддержка программного обеспечения в течение 3 лет [12].

Fujitsu Storage Systems ETERNUS DX8900 S3 Storage Array, HPE 3PAR StoreServ 20850 и EMC VMAX 400K, которые занимают три первых места в тесте SPC-2 по производительности, являются системами хранения класса high-end. Их основной задачей является обеспечение макси-

Показатель	Название модели					
	Fujitsu ETERNUS DX8900 S3	HPE 3PAR StoreServ 20850	EMC VMAX 400K	Kaminario K2F00000700	Oracle ZFS Storage ZS5-2	NetApp EF560 All-Flash Array
Общая скорость передачи данных, Мбит/с	70 120.92	62 844.45	55 643.78	33 477.03	24 397.12	11 352.17
Цена – производительность, \$ / Мбит/с	24.37	19.93	33.58	29.79	8.89	8.12
Емкость, Гбайт	30 923.765	28 862.180	20 132.659	60 129.542	8383.776	12 708.137
Общая стоимость, \$	1 708 835.40	1 252 723.54	1 868 567.85	997 348.00	217 011.94	92 207.01
Уровень защиты данных	Protected 2 (mirroring)	Protected 2 (mirroring)	Protected 2 (mirroring)	Protected 2 (K-RAID)	Protected 2 (mirroring)	Protected 2 (RAID-6)
Общий LFP, скорость передачи данных, Мбит/с	52589.36	38490.17	53093.09	31884.08	19997.48	10020.15
Общий LFP, цена – производительность, \$ / Мбит/с	32.49	32.55	35.19	31.28	10.85	9.20
Общий LDQ, скорость передачи данных, Мбит/с	84 083.42	75 332.47	66 652.61	37 089.66	28 814.51	13 026.34
Общий LDQ, цена – производительность, \$ / Мбит/с	20.32	16.63	28.03	26.89	7.53	7.08
VOD, скорость передачи данных, Мбит/с	73 689.99	74 710.71	47 185.63	31 457.36	24 379.39	11 010.03
VOD, цена – производительность, \$ / Мбит/с	23.19	16.77	39.60	31.70	8.90	8.37

мальных показателей производительности, масштабируемости и доступности данных. Чаще всего они используются для обслуживания критически важных для бизнеса приложений и консолидации хранения в корпоративных центрах обработки данных. Анализ и хранение больших данных, виртуализация серверов, редактирование объемных потоковых мультимедийных данных, рендеринг изображений, научные вычисления, резервное копирование данных и другие задачи выполняются существенно быстрее благодаря высокой скорости передачи данных в системах хранения.

Постоянное развитие рынка систем хранения на твердотельных накопителях характеризуется ростом конкуренции и инвестиций в новые продукты, а значимость данного рынка – увеличени-

ем числа новых игроков. Несмотря на то что системы хранения на твердотельных накопителях являются достаточно дорогостоящими, представители крупного и среднего бизнеса проявляют интерес к покупке подобных систем в связи с их высокой производительностью и отсутствием задержек при доступе к данным. Аналитики отмечают, что в связи с постоянным совершенствованием технологии флеш-памяти производительность систем хранения на твердотельных накопителях стремительно растет и в 2017 г. увеличится в 10 раз. Снижение стоимости SSD увеличит рост спроса на массивы на твердотельных накопителях в ближайшем будущем и приведет к их повсеместному применению в центрах обработки данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. От хранения данных к управлению информацией / пер. Н. Вильчинского. 2-е изд. СПб.: Питер, 2016.
2. Paulsen K. Moving media storage technologies applications & workflows for video end media server platforms. USA, MA, Burlington: Elsevier, 2011.
3. Schulz G. Cloud and virtual data storage networking. USA, NY: CRC Press, 2011.
4. TrendForce Reports Intel Took First Place in Enterprise-Grade SSD Shipments Worldwide for This First Quarter; Samsung Followed Closely in Second Place // DRAMeXchange, a Business Division of TrendForce Corp., 2017. URL: <http://www.dramexchange.com/WeeklyResearch/Post/2/4682.html> (дата обращения: 01.08.2017).
5. 1Q17 NAND Flash Revenue Dipped Only 0.4 % vs. Prior Quarter as Undersupply Continues to Sway the Market, Says TrendForce // DRAMeXchange, a Business Division of TrendForce Corp., 2017. URL: <http://www.dramexchange.com/WeeklyResearch/Post/2/4686.html> (дата обращения: 01.08.2017).
6. Vengurlekar N., Vallath M., Long R. Oracle automatic storage management: Under-the-hood & practical deployment guide. USA, NY: McGraw-Hill, 2007.
7. Morley D., Parker C. S. Understanding computers: Today and tomorrow, comprehensive. USA, Stamford: Cengage Learning, 2014.
8. Magic quadrant for general-purpose disk arrays / S. Zaffos, R. W. Cox, V. Filks, S. Rao // Gartner, Inc. 2016. URL: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=13L6IG6J&ct=161102&st=sb> (дата обращения: 01.08.2017).
9. Worldwide Enterprise Storage Market Stays Flat in First Quarter, According to IDC // IDC. 2017. URL: <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42519117> (дата обращения: 08.08.2017).
10. Рынок систем хранения данных. Итоги 2016 года // IDC. 2017. URL: <http://idcrussia.com/ru/about-idc/press-center/64701-press-release> (дата обращения: 08.08.2017).
11. Magic Quadrant for Solid-State Arrays / V. Filks, J. Unsworth, S. Rao, J. Monroe // Gartner, Inc. 2017. URL: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-46MH12U&ct=170717&st=sb> (дата обращения: 02.08.2017).
12. «Top Ten» SPC-2 Results // Storage Performance Council. 2017. URL: [http://www.storageperformance.org/results/benchmark\\_results\\_spc2\\_top-ten](http://www.storageperformance.org/results/benchmark_results_spc2_top-ten) (дата обращения: 08.08.2017).
13. Member Roster // Storage Performance Council. 2017. URL: <http://www.storageperformance.org/about/roster/> (дата обращения: 08.08.2017).
14. SPC BENCHMARK 2™. Executive Summary. Hewlett Packard Enterprise. HPE 3PAR StoreServ 20850 // Storage Performance Council. 2017. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader DC. URL: [http://www.storageperformance.org/benchmark\\_results\\_files/SPC-2/HPE/B00075\\_HPE\\_3PAR-StoreServ-20850/b00075\\_HPE\\_3PAR-StoreServ-20850\\_SPC-2\\_executive-summary.pdf](http://www.storageperformance.org/benchmark_results_files/SPC-2/HPE/B00075_HPE_3PAR-StoreServ-20850/b00075_HPE_3PAR-StoreServ-20850_SPC-2_executive-summary.pdf) (дата обращения: 14.08.2017).
15. SPC BENCHMARK 2™. Executive Summary. Fujitsu Limited. Fujitsu Storage Systems ETERNUS DX8900 S3 // Storage Performance Council. 2017. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader DC. URL: [http://www.storageperformance.org/benchmark\\_results\\_files/SPC-2/Fujitsu\\_SPC-2/B00079\\_Fujitsu\\_DX8900-S3/b00079\\_Fujitsu\\_DX8900-S3\\_SPC-2\\_executive-summary.pdf](http://www.storageperformance.org/benchmark_results_files/SPC-2/Fujitsu_SPC-2/B00079_Fujitsu_DX8900-S3/b00079_Fujitsu_DX8900-S3_SPC-2_executive-summary.pdf) (дата обращения: 14.08.2017).
16. SPC BENCHMARK 2™. Executive Summary. EMC Corporation. EMC VMAX 400K // Storage Performance Council. 2017. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader DC. URL: [http://www.storageperformance.org/benchmark\\_results\\_files/SPC-2/EMC/B00073 EMC\\_VMAX-400K/b00073 EMC\\_VMAX-400K\\_SPC-2\\_executive-summary.pdf](http://www.storageperformance.org/benchmark_results_files/SPC-2/EMC/B00073 EMC_VMAX-400K/b00073 EMC_VMAX-400K_SPC-2_executive-summary.pdf) (дата обращения: 14.08.2017).
17. SPC BENCHMARK 2™. Executive Summary. Kaminario, Inc. Kaminario K2 (K2F00000700) // Storage Performance Council. 2017. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader DC. URL: [http://www.storageperformance.org/benchmark\\_results\\_files/SPC-2/Kaminario/B00068\\_Kaminario\\_K2-K2F00000700/b00068\\_Kaminario\\_K2-K2F00000700\\_SPC-2\\_executive-summary.pdf](http://www.storageperformance.org/benchmark_results_files/SPC-2/Kaminario/B00068_Kaminario_K2-K2F00000700/b00068_Kaminario_K2-K2F00000700_SPC-2_executive-summary.pdf) (дата обращения: 14.08.2017).
18. SPC BENCHMARK 2™. Executive Summary. Oracle Corporation. Oracle ZFS Storage ZS5-2 // Storage Performance Council. 2017. Систем. требования: Adobe

Acrobat Reader DC. URL: [http://www.storageperformance.org/results/B12001\\_oracle\\_zfs\\_52\\_ssd/B12001\\_ES.pdf](http://www.storageperformance.org/results/B12001_oracle_zfs_52_ssd/B12001_ES.pdf) (дата обращения: 14.08.2017).

19. SPC BENCHMARK 2™. Executive Summary. NetApp, Inc. NetApp EF560 All-Flash Array // Storage Performance Council. 2017. Систем. требования: Adobe

Acrobat Reader DC. URL: [http://www.storageperformance.org/benchmark\\_results\\_files/SPC-2/NetApp/B00078\\_NetApp\\_EF560\\_All-Flash-Array/b00078\\_NetApp\\_EF560\\_All-Flash-Array\\_SPC-1\\_executive-summary.pdf](http://www.storageperformance.org/benchmark_results_files/SPC-2/NetApp/B00078_NetApp_EF560_All-Flash-Array/b00078_NetApp_EF560_All-Flash-Array_SPC-1_executive-summary.pdf) (дата обращения: 14.08.2017).

E. Yu. Belova  
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

## ALL-FLASH STORAGE. A REVIEW

*Contains an overview of data storage systems which built entirely from flash drives. Using data from DRAMeXchange analytical company comparison of hard disk drives with solid state drives is made, analysis of flash drives and non-volatile Not AND (NAND) flash memory chips markets is performed. Based on the reports of Gartner and International Data Corporation analytical companies the ratings of vendors of storage systems and, in particular, vendors of solid state arrays are presented. Dell EMC, Hitachi Ltd. and Hewlett Packard Enterprise companies are among of the three world leaders of vendors of storage systems. PureStorage, Dell EMC and Hewlett Packard Enterprise companies are among of the three world leaders of vendors of solid state arrays. Specific flash storage models which demonstrated the best results Storage Performance Council Benchmark-2 by performance and price-performance are given.*

**Hard disk drive, solid state drive, flash memory, data storage, solid state array, performance, SPC Benchmark-2**

УДК 004.056.55

Ю. О. Чернышев, А. С. Сергеев  
Донской государственный технический университет

## Применение комбинированного биоинспирированного алгоритма (генетический алгоритм и алгоритм муравьиных колоний) для реализации криптоанализа шифров перестановок

*Рассматривается задача криптоанализа с использованием новой модели оптимизационных стратегий – комбинированного биоинспирированного алгоритма. Описано применение комбинированного биоинспирированного алгоритма (генетический алгоритм и алгоритм муравьиных колоний) для реализации криптоанализа шифров перестановок. Приводится описание комбинированного алгоритма, отмечены его отличительные особенности, описан демонстрационный пример реализации криптоанализа строки шифртекста данным алгоритмом. Показано, что вероятность получения оптимального варианта решения при реализации гибридных алгоритмов криптоанализа не может быть меньше вероятности получения оптимального решения при использовании классических биоинспирированных алгоритмов, что подтверждает целесообразность использования комбинированных биоинспирированных алгоритмов для решения оптимизационных задач.*

**Криптоанализ, биоинспирированные алгоритмы, генетический алгоритм, алгоритм муравьиных колоний, кроссинговер, мутация, шифр перестановок**

Научное направление «природные вычисления», объединяющее математические методы, в которых заложен принцип природных механизмов принятия решений, в последние годы получает все более широкое распространение для решения различного круга задач оптимизации, в т. ч. задач криптоанализа. В данных методах и моделях основным определяющим элементом является построение начальной модели и правил, по которым она может изменяться (эволюционировать). В течение последних лет были предложены разнообразные схемы эволюционных вы-

числений: генетический алгоритм (ГА), генетическое программирование, эволюционные стратегии, эволюционное программирование, модели поведения роя пчел, стаи птиц и колонии муравьев, модели отжига и другие конкурирующие эвристические алгоритмы [1]. В [2] авторами рассматривалось решение задач криптоанализа, относящихся к переборным задачам с экспоненциальной временной сложностью: традиционных симметричных криптосистем, использующих шифры перестановки и замены, а также шифров гаммирования с применением генетических алго-