



АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С НЕКЛАССИЧЕСКИМИ ЧАСТОТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В SIMONE CIRCUIT DESIGNER

А.В. Ананьев (ВУНЦ ВВС «ВВА»)

Рассмотрена проблема автоматизированного синтеза устройств обработки сигналов с частотными характеристиками, не имеющими аналитического решения. Представлена реализация решения обозначенной проблемы в плагине SimOne Circuit Designer.

Ключевые слова: схемотехническое моделирование, автоматизированный синтез, частотная характеристика.

Состояние проблемы синтеза устройств обработки сигналов с характеристиками, не имеющими аналитического решения

Одним из актуальных вопросов последовательного или одношагового создания сложных радиотехнических систем является необходимость минимизации времени разработки узлов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Обзор современных технических решений по обработке сигналов свидетельствует о необходимости автоматизированного проектирования устройств с неклассическими моделями частотных характеристик, не поддающихся аналитическим расчетам. Разработка таких устройств доступна только узким специалистам. Примером таких устройств являются корректоры амплитудного и фазового спектра сигналов, широкополосные преобразователи вида модуляции, дисперсионные линии задержки и т. д.

Отметим, что инженеры-разработчики РЭА неохотно берутся за переделку аналоговой части приемопередающих устройств, так как это влечет за собой зачастую кардинальные преобразования РЭА в целом, в то время как, например, цифровая часть перепрограммируется относительно оперативно и без существенных материальных затрат.

Таким образом, наблюдается противоречие в создании сложных радиотехнических систем: с одной стороны, требуется высокая скорость получения готовых решений, с другой — необходимы существенные временные затраты на реализацию эффективных, как правило, неклассических, в том числе аналоговых, схемотехнических решений. Разрешение данного противоречия видится в создании систем автоматизированного проектирования РЭА.

Основным объектом синтеза, рассматриваемым в работе, являются функциональные узлы РЭА, воспроизводящие физически реализуемые функции, например, в части устройств формирования это модуляционные характеристики, а касаясь устройств обработки — это частотные характеристики, например, определенные в виде рациональных аппроксимирующих функций.

Разработка устройств обработки и формирования сигналов может осуществляться с применением ряда

прикладных программ, которые условно можно разделить на три группы. К первой группе таких программ следует отнести пакеты математического моделирования, например, MATLAB, Mathcad, Maple и т. д. Математические пакеты обладают наиболее совершенным и гибким аппаратом приближения физически реализуемых функций к требуемым законам обработки сигналов. Однако при этом требуются знание их специфики, зачастую недоступной разработчикам РЭА, и эти системы не предназначены для непосредственного конструирования схем.

Вторая группа программ, которые могут быть использованы при разработке схем, это пакеты имитационного (поведенческого) моделирования на уровне структурных схем, такие как Simulink (расширение MATLAB), SystemView, Visual System Simulator и т. д., позволяющие быстро проверить функциональные возможности структурной схемы в динамике и исключить заведомо неудачную разработку принципиальной схемы проектируемого электронного устройства. Очевидно, что пакеты имитационного моделирования существенно ближе к схемотехнической реализации (особенно цифровой) и, кроме того, в ряде случаев имеют тесную интеграцию с пакетами математического моделирования. Так, Simulink является частью MATLAB. Однако при этом аналоговая реализация в пакетах имитационного моделирования отработана недостаточно, а аппарат оптимизации характеристик не всегда обеспечивает получение оптимальных решений [2].

Непосредственно схемотехническое моделирование обеспечивается третьей группой программ — программами автоматизации проектирования электронных устройств (EDA — Electronic Design Automation, ECAD — Electronic Computer-Aided Design), история развития которых насчитывает несколько десятков лет и начиналась с разработки Spice моделей. В настоящее время лидерами в этом секторе являются программы Orcad, MultiSim WorkBench, Micro-Cap и др. Следует также отметить и отечественную фирму Eremex, разработавшую и постоянно совершенствующую продукт SimOne [3].

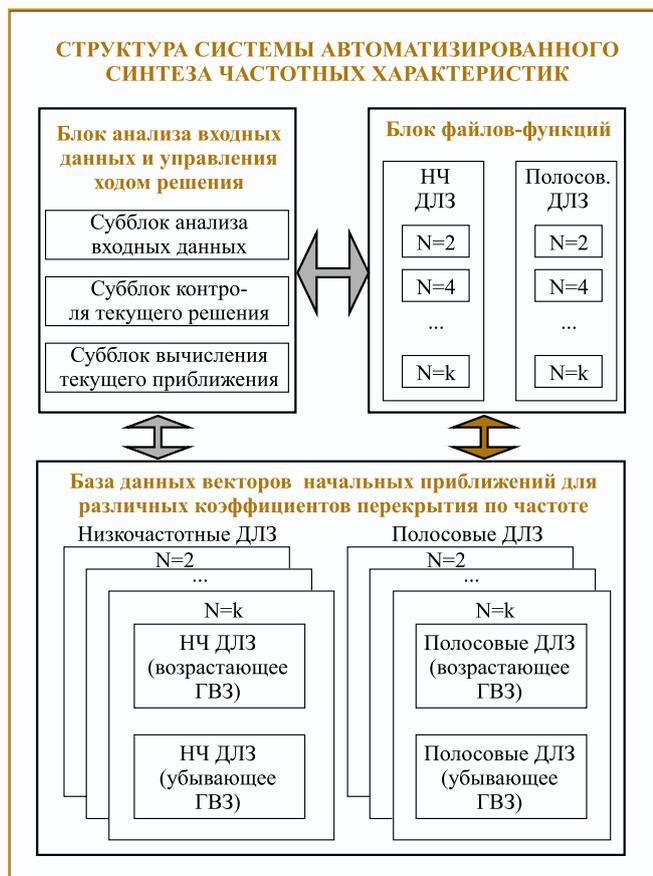


Рис. 1. Структура системы автоматизированного проектирования

В типовой набор методов анализа пакетов схемотехнического моделирования входят статический, динамический и частотный виды анализа, смешанное логико-аналоговое моделирование (mixed-signal simulation), температурный (с индивидуальными значениями температуры по приборам) и шумовой анализы, расчет на наихудший случай и статистический по методу Монте-Карло, спектральный анализ, максимизация быстродействия (оптимизируется до 8 параметров) и т.д. Особенностью пакетов схемотехнического моделирования является высокий уровень проработки автоматизированного синтеза устройств, прежде всего, фильтрового типа с частотными характеристиками, рассчитываемыми аналитически. В них также предусмотрена оптимизация для произвольных законов обработки сигналов, то есть неклассических частотных характеристик, но она обеспечивает получение только подоптимальных решений.

Отдельно в третьей группе программ отстоят САПР, предлагаемые непосредственными разработчиками электронных схем как аналоговых, так и цифровых. Примечательным является тот факт, что САПР, разработанные производителями РЭА, предназначены под конкретные серии собственных микросхем. Лидерами среди разработчиков собственных САПР являются производственные объединения Altera, Xilinx, Anadigm и др. Однако аппарат оптимизации и набор методов анализа в САПР произведе-

лей РЭА существенно меньше по отношению к универсальным EDA и уж тем более не распространяется на неклассические случаи.

Таким образом, несмотря на огромный потенциал существующих программных продуктов, задача разработки устройств формирования и обработки сигналов с характеристиками, не имеющими аналитического решения, в короткие сроки не может быть решена.

Противоречие между постоянно растущими требованиями к разработке в сжатые сроки радиоэлектронных средств и возможностями современного научно-методического аппарата автоматизированного проектирования обуславливают необходимость решения научной проблемы, теоретическая часть которой заключается в разработке методов автоматизированного синтеза устройств с неклассическими частотными характеристиками. Другими словами, требуется разработка основ теории построения САПР устройств формирования и обработки сигналов с неклассическими характеристиками, включающих формирование структуры САПР и принципов взаимодействия ее компонентов.

Прикладная часть проблемы включает решение задач автоматизации синтеза при формировании, анализе, сжатии, фильтрации электрических сигналов и др.

Автоматизированный синтез устройств обработки сигналов с характеристиками, не имеющими аналитического решения

В работах [2, 3] на примере аналоговых и цифровых дисперсионных линий задержки (ДЛЗ) с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) с Чебышевской аппроксимацией группового времени запаздывания предложен алгоритм автоматизированного синтеза, обусловленных сложностью поиска векторов начального приближения и низкой устойчивостью поиска оптимального решения.

Все существующие частотные характеристики фильтровых устройств условно разделены на две группы: имеющие аналитическое решение и не имеющие его. К первой группе следует отнести, например, аппроксимации амплитудно-частотных характеристик фильтров нижних частот с аппроксимацией Баттерворта, Чебышева, инверсные Чебышева, Золотарева. К группе характеристик, не имеющих аналитического решения, следует отнести, например, наклонное групповое время запаздывания [4] и др. Неклассические, в том числе равноволновые приближения, оптимальные по Чебышеву, требуют применения численных алгоритмов решения задачи аппроксимации. К работам, отражающим современное состояние и успехи практической реализации численных методов приближения следует отнести [5, 6]. Анализ приведенных публикаций показал, что одной из нерешенных проблем практической реализации получения равноволновых приближений является поиск начальных значений векторов коэффициентов аппроксимирующих функций.

Таким образом, требуется автоматизировать аппроксимацию неклассических частотных характеристик, не имеющих аналитического решения путем разработки системы автоматизированного синтеза частотных характеристик. Рассмотрим последовательно работу системы синтеза и взаимодействие ее компонентов на примере задачи поиска требуемого группового времени запаздывания (ГВЗ) фазовых устройств (рис. 1). Блок анализа входных данных и управления ходом решения обеспечивает взаимодействие всех элементов системы автоматизированного синтеза и включает три субблока.

Субблок анализа входных данных обеспечивает обработку входных данных, согласно техническому заданию, включая вычисление дополнительных параметров, которые необходимы в качестве промежуточных величин для получения конечной схемы. Кроме того, субблок анализа входных данных определяет качественные параметры: тип характеристики (возрастающая или убывающая, полосовая или низкочастотная), допуск на неточность ее воспроизведения. Таким образом, инженер-разработчик освобождается от ряда дополнительных вычислений на входе реализации проекта, которые нельзя обойти, например, при работе с печатной версией типовых справочников по расчету фазовых устройств.

Субблок контроля текущего решения на основании начальных вычислений выбирает ближайшее решение в базе данных (БД) (например, ошибки воспроизведения требуемого закона обработки сигнала при заданном порядке аппроксимирующей функции). Далее, субблок вычисления текущего приближения для определенного порядка аппроксимирующей функции с использованием блока файлов функций (реализуемого, например, в формате систем уравнений) строит математическую модель разрабатываемого устройства и запускает соответствующий алгоритм аппроксимации, начальным приближением для которого служат значения параметров моделей устройств, записанные в БД.

Переход от ручного расчета параметров устройств по справочнику к использованию САПР призван облегчить труд разработчика, однако нередко наблюдается совсем обратный эффект. Это связано с тем, что внутренние алгоритмы САПР могут приводить к физически нереализуемому или неустойчивому решению. Для исключения подобных ситуаций субблок контроля текущего прибли-

жения контролирует значения параметров математических моделей устройств в пределах физического реализуемого состояния (например, коэффициенты передаточных функций фильтров должны быть неотрицательными и т. д.).

Основной результат функционирования системы [2, 3]: автоматизация нахождения численного решения задачи аппроксимации, которая до настоящего времени была доступна только узким специалистам в области аппроксимации, в то время как предложенная система исключает участие инженера.

Практическая реализация алгоритма автоматизированного проектирования электронных устройств с неклассическими частотными характеристиками в конструкторе аналоговых ДЛЗ плагина SimOne Circuit Designer

Полученные в ряде работ [1, 2, 3, 4] результаты использованы для наполнения БД начальных приближений, алгоритмов контроля и управления решением, систем уравнений. Алгоритм доведен до практической реализации в плагине SimOne Circuit Designer в виде конструктора ДЛЗ. На рис. 2 представлено окно конструктора ДЛЗ. В левой части окна рас-

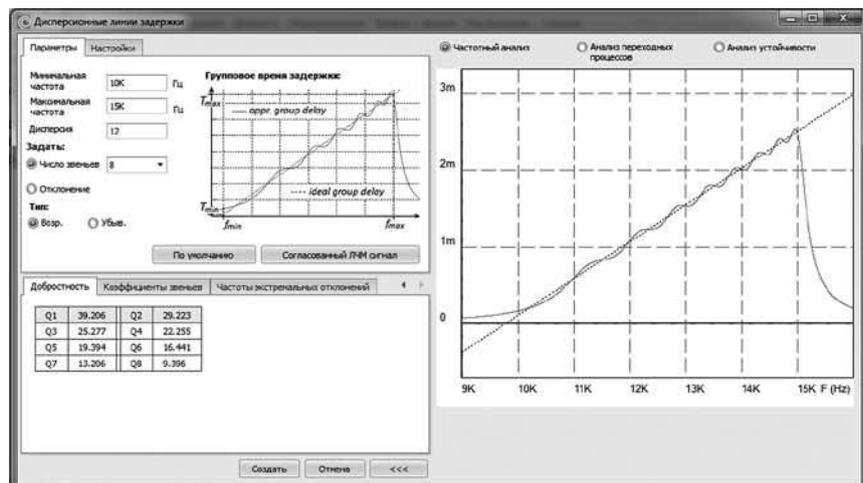


Рис. 2. Тестовое окно частотного анализа конструктора ДЛЗ

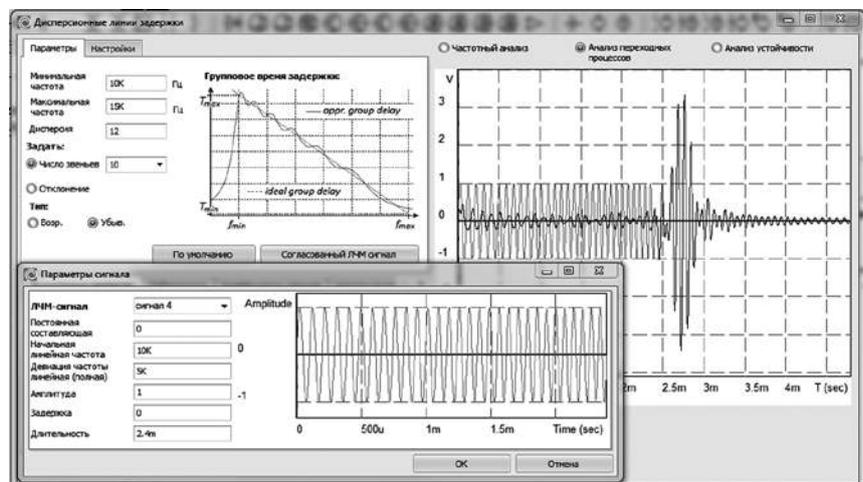


Рис. 3. Прохождение тестового ЛЧМ-сигнала через ДЛЗ

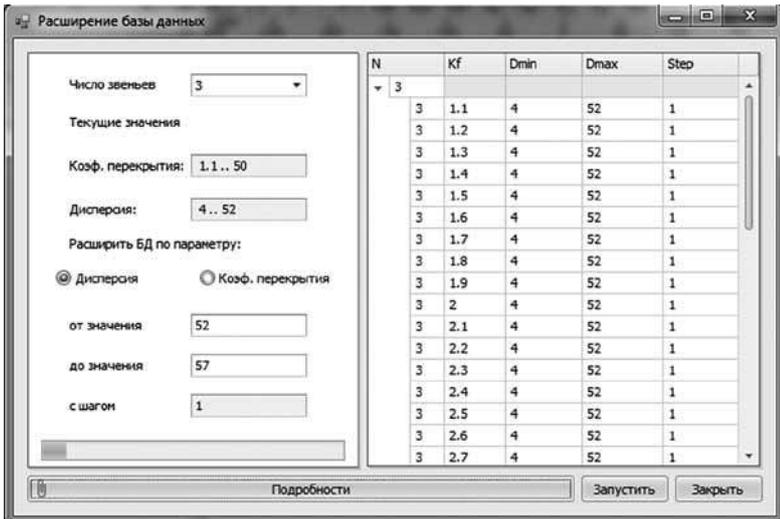


Рис. 4. Окно приложения расширения БД начальных приближений ДЛЗ

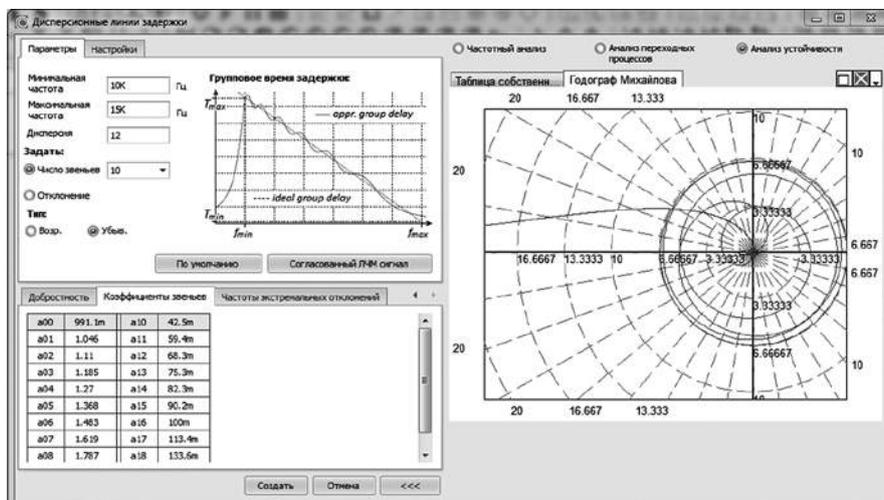


Рис. 5. Настройки параметров синтезируемой схемы и анализ устойчивости

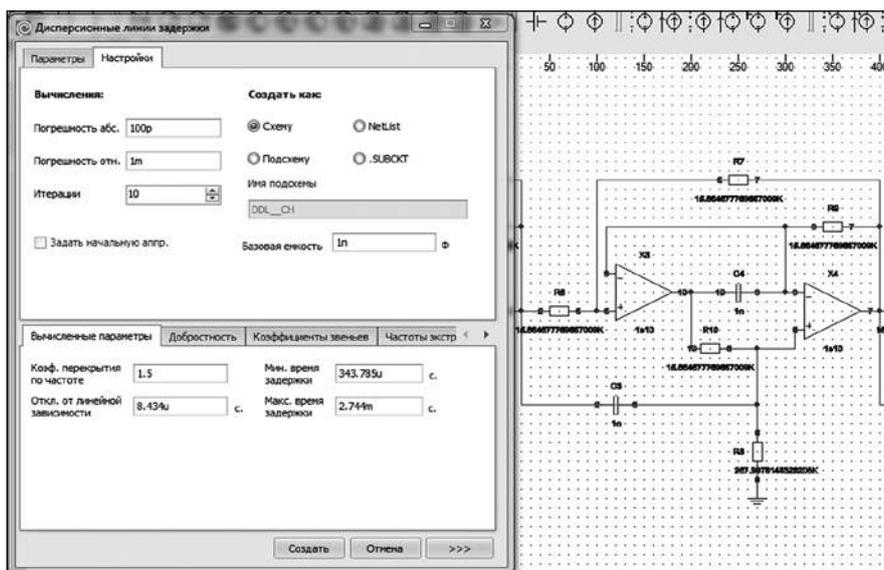


Рис. 6. Результат синтеза (звено 2-го порядка) и дополнительные установки

положены поля задания параметров наклонного группового времени запаздывания ДЛЗ, в том числе граничных частот, коэффициента дисперсии. Пользователю предлагается на выбор два типа характеристики: убывающая или возрастающая. В нижнем левом углу для контроля физической реализуемости могут быть выведены добротности звеньев второго порядка (приемлемые значения добротностей лежат в пределах 40...50). В правой части представлено окно предварительного просмотра, в котором может быть отображено групповое время запаздывания проектируемой ДЛЗ в реальных линейных частотах. Таким образом, имеется возможность визуальной проверки получаемого решения.

Также при автоматизированном синтезе предусмотрена визуализация прохождения тестового ЛЧМ-сигнала (рис. 3). Здесь пользователь может проверить соответствие получаемых предварительных результатов моделирования с теорией обработки сигналов. На рис. 2 видно, что амплитуда выходного сигнала в 3,4 раза больше амплитуды входного, что и является подтверждением правильности расчетов [4].

Особенностью конструкторов линейных устройств обработки сигналов в плагине SimOne Circuit Designer является наличие встроенных алгоритмов обеспечения расширения БД начальных приближений. На рис. 4 представлено окно расширения БД, с использованием которого разработчики плагина осуществляют расширение БД начальных приближений.

Также в конструкторе ДЛЗ пользователь имеет возможность оперативного контроля устойчивости получаемых решений (рис. 5). В левом нижнем углу представлены значения коэффициентов звеньев второго порядка аппроксимирующей функции. Так как все они больше нуля, то расчет с использованием предложенного подхода привел к теоретически устойчивому решению. Кроме того, в конструкторе ДЛЗ пользователь имеет доступ к построителю годографа Михайлова, являющегося штатным инструментом SimOne, который также

Следовать всем правилам – значит любить себя всех удовольствий.

Кэтрин Хепберн

свидетельствует об устойчивости полученного решения при условии асимптотического приближения кривой к оси абсцисс.

На рис. 6 представлено окно установки параметров синтезируемой схемы и непосредственно результат синтеза. В левой части окна задаются параметры для субблока контроля текущего решения: погрешности, число итераций. Особенностью данного конструктора является задание параметров базового элемента рассчитываемой схемы, в случае ДЛЗ — это базовая емкость. Это позволяет контролировать значение емкости конденсаторов электронной схемы на предмет близости к паразитным значениям, что в свою очередь искажает расчетные характеристики.

В правой части (рис. 6) отображен фрагмент синтезируемой схемы.

Выводы

1. Проведен обзор существующих пакетов математического, имитационного и схемотехнического моделирования, в ходе которого установлено, что синтез устройств обработки сигналов с неклассическими частотными характеристиками доступен очень узкому кругу специалистов.

2. Разработан подход к автоматизированному проектированию устройств обработки сигналов с неклассическими частотными характеристиками, включающий создание БД начальных приближений, формирование систем уравнений для каждого типа устройства с уче-

том его специфики, составления управляющих модулей, обеспечивающих взаимодействие всех элементов системы автоматизированного проектирования и управление ходом решения. С использованием предложенного подхода создана САПР, обеспечивающая воспроизведение ряда неклассических частотных характеристик устройств обработки сигналов.

Список литературы

1. *Ананьев А.В.* Синтез цифровых дисперсионных линий задержки с бесконечной импульсной характеристикой с Чебышевской аппроксимацией группового времени запаздывания // Телекоммуникации. 2016. №9. С. 2-8.
2. *Ананьев А.В., Прикота А.В.* Подход к автоматизации аппроксимации нетрадиционных зависимостей фильтровых устройств // Тр междунар. научно-технич. и научно-методической конфер. «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». Санкт-Петербург. 2016. С. 76-80.
3. *Ананьев А.В., Прикота А.В., Филиппова О.В.* Синтез фильтров в пакете схемотехнического моделирования SimOne // Тр. междунар. конф. «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» (CAD/CAM/PDM – 2016). М. ИПУ РАН.
4. *Ananev A.V., Zmii B.F.* Synthesis of transfer functions in phase devices for processing chirp signals with different frequency ratios // Telecommunications and Radio Engineering. DOI: 10.1615 / TelecomRadEng.v72.i12.80. V. 72. 2013. Issue 12. p.p. 1107-1116.
5. *Antoniu A.* Digital Signal Processing. New York: McGraw-Hill. 2006. 965 p.
6. *Ricardo Pach'on, Lloyd N. Trefethen* Barycentric-Remez algorithms for best polynomial approximation in the chebfun system // Journal: Bit Numerical Mathematics – BIT. V. 49. № 4. 2009. pp. 721-741.

Ананьев Александр Владиславович — канд. техн. наук, докторант ВУНЦ ВВС «ВВА». Контактный телефон (473) 226-47-52. E-mail: sasha303_75@mail.ru

Нейросети на Физтехе станут глубже с новым суперкомпьютером

В основе суперкомпьютера DGX-1 от компании NVIDIA лежит новое поколение графических процессоров, которые обеспечивают скорость обработки данных в задачах искусственного интеллекта, сравнимую с 250 серверами x86 архитектуры. Это первый в мире суперкомпьютер, спроектированный специально для обучения искусственных нейронных сетей. NVIDIA DGX-1 оснащен всем необходимым аппаратным и программным обеспечением для задач глубокого обучения, набором инструментов разработки и поддерживает популярные аналитические приложения с поддержкой GPU.

«Вычислительная мощность принципиально важна для глубокого обучения. Чем более мощное железо есть в нашем распоряжении, тем с более сложными нейросетевыми архитектурами мы сможем работать. Сложность модели зачастую позволяет совершить революционный скачок в решении практических задач. Так, например, текущая революция в компьютерном зрении и распознавании речи связана, в том числе с ростом

вычислительных возможностей. Хорошее оборудование позволит решать практические задачи, за которые без него мы бы даже взяться не смогли», — рассказывает заведующий Лабораторией нейронных систем и глубокого обучения МФТИ Михаил Бурцев.

Мощности суперкомпьютера будут в основном использованы в работе над проектом по созданию разговорного искусственного интеллекта iPavlov. Исследователи из МФТИ занимаются разработкой «разговорного» машинного интеллекта, который будет способен вести содержательный диалог с человеком. Алгоритм сможет не только отвечать на вопросы собеседника, но и запрашивать информацию, необходимую для решения поставленной в диалоге цели. Для этого нейронная сеть будет «обучаться» на больших массивах документов и текстовых записей диалогов между людьми.

Проект iPavlov реализуется в рамках дорожной карты Национальной технологической инициативы при поддержке Отраслевого союза «Нейронет».

[Http://www.robogeek.ru](http://www.robogeek.ru)