

*Д. В. Беляков, Ю. А. Бутенко, М. Валя, А. С. Воронцов,
Т. Н. Заикина, М. И. Зуев, М. Х. Киракосян, М. А. Матвеев,
Д. В. Подгайный, О. И. Стрельцова, Ш. Г. Торосян*

Гетерогенная платформа HybriLIT

Естественным развитием гетерогенного кластера HybriLIT, являющегося компонентом Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ, стал введенный в июле 2018 г. в эксплуатацию суперкомпьютер «Говорун», названный в честь Николая Николаевича Говоруна, с именем которого с 1966 г. связано развитие информационных технологий в ОИЯИ. Суперкомпьютер «Говорун» — совместный проект Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова и Лаборатории информационных технологий, поддержанный дирекцией ОИЯИ. Проект нацелен на кардинальное ускорение комплексных теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики и физики конденсированных сред, проводимых в ОИЯИ, в том числе для развития компьютеринга для мегапроекта NICA.

Ввод в эксплуатацию суперкомпьютера привел к существенному увеличению производительности как

CPU-, так и GPU-компонента гетерогенного кластера HybriLIT, и совместно с ним суперкомпьютер образовал гетерогенную платформу. Платформа состоит из двух частей (рис. 1): учебно-тестового полигона и суперкомпьютера «Говорун», объединенных единой программно-информационной средой (рис. 2).

Непосредственно суперкомпьютер «Говорун» предназначен для проведения ресурсоемких и массивно-параллельных расчетов при решении широкого спектра задач, стоящих перед ОИЯИ, что становится возможным благодаря гетерогенности (наличию различных типов ускорителей вычислений) вычислительной архитектуры суперкомпьютера. Учебно-тестовый полигон предназначен для исследования возможностей новых вычислительных архитектур, новых ИТ-решений, а также для проведения учебных курсов по технологиям параллельного программирования, современным инструментам разработки, от-

*D. V. Belyakov, Yu. A. Butenko, M. Vala, A. S. Vorontsov,
T. N. Zaikina, M. I. Zuev, M. H. Kirakosyan, M. A. Matveev,
D. V. Podgainy, O. I. Streltsova, Sh. G. Torosyan*

Heterogeneous Platform HybriLIT

The commissioned Govorun supercomputer named after Nikolai Nikolaevich Govorun, with whom the development of information technologies at JINR has been connected since 1966, became a natural elaboration of the heterogeneous cluster HybriLIT being the MICC component. The Govorun supercomputer is a joint project of the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics and the Laboratory of Information Technologies, supported by the JINR Directorate. The project is aimed at the significant speed-up of complex theoretical and experimental studies in the field of nuclear physics and condensed matter physics underway at JINR, including the development of the NICA megaproject computing.

The supercomputer commissioning led to the significant performance increase of CPU- as well as GPU-

components of the HybriLIT heterogeneous cluster and, along with it, the supercomputer formed a heterogeneous platform.

The platform consists of two elements (Fig. 1), i.e., the education and testing area and the Govorun supercomputer, combined by the unified software and information environment (Fig. 2).

The Govorun supercomputer is designed to carry out resource-intensive and massive parallel calculations for the solution of a wide range of challenges facing JINR, which becomes possible due to the heterogeneity (presence of different types of computing accelerators) of the supercomputer computing architecture. The education and testing area is aimed at exploring the possibilities of novel computing architectures, IT solutions as well as at con-

ладки и профилирования параллельных приложений, пакетам прикладных программ. Пользователи платформы имеют возможность разрабатывать и отлаживать свои приложения на учебно-тестовом полигоне, а далее проводить расчеты на суперкомпьютере, что, в свою очередь, позволяет эффективно использовать ресурсы суперкомпьютера. Эта возможность обеспечивается единой программно-информационной средой, включающей в себя единый системный уровень (операционную систему, планировщик задач, файловые системы и программное обеспечение), а также набор сервисов, позволяющих пользователям оперативно получать ответы на возникающие вопросы, совместно разрабатывать параллельные приложения, получать информацию о конференциях, семинарах и встречах, посвященных технологиям параллельного программирования (см. рис. 2).

Рис. 1. Структура платформы HybriLIT

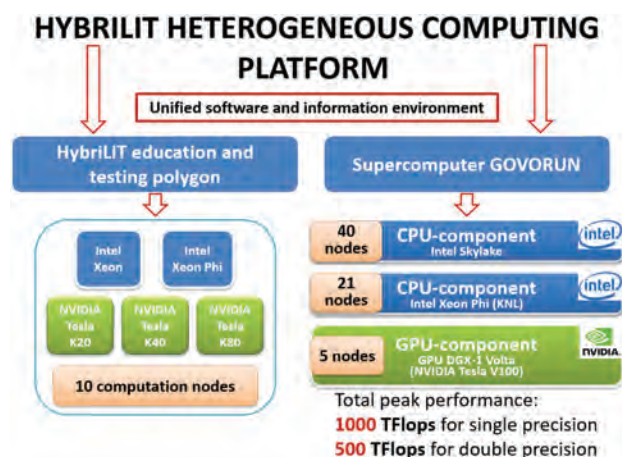


Fig. 1. HybriLIT platform structure

ducting training courses on parallel programming technologies, modern tools of the development, debugging and profiling of parallel applications, application packages. Platform users are able to develop and debug their applications on the education and testing area and then carry out calculations on the supercomputer, which allows them to effectively use the supercomputer resources. This possibility is provided by the unified software and information environment including the unified system level (the operation system, the job scheduler, file systems and software) as well as a set of services allowing users to quickly get the answers to their questions, jointly develop parallel applications, receive information about conferences, seminars and meetings dedicated to parallel programming technologies (Fig. 2).

The Govorun supercomputer is a heterogeneous computing system containing the GPU-component based

Суперкомпьютер «Говорун» является гетерогенной вычислительной системой, содержащей GPU-компонент на базе графических ускорителей от NVIDIA и CPU-компонент на базе двух вычислительных архитектур от Intel. GPU-компонент включает в себя 5 серверов NVIDIA DGX-1. В каждом сервере установлены 8 GPU NVIDIA Tesla V100, основанных на самой современной архитектуре NVIDIA Volta. Кроме того, один сервер NVIDIA DGX-1 имеет 40960 ядер CUDA, которые по своей вычислительной мощности эквивалентны 800 высокопроизводительным центральным процессорам. В DGX-1 используется целый ряд новых технологий, в том числе шина NVLink 2.0 с пропускной способностью до 300 Гбит/с.

CPU-компонент суперкомпьютера реализован на высокоплотной архитектуре «РСК Торнадо» с прямым жидкостным охлаждением, разработанной специа-

Рис. 2. Структура программно-информационной среды

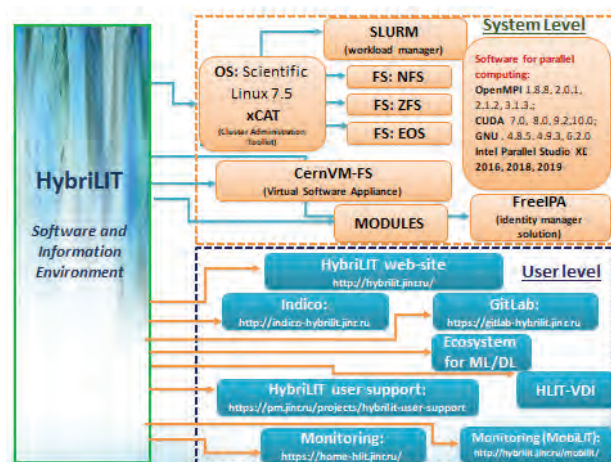


Fig. 2. Structure of the software and information environment

on the NVIDIA graphics accelerator and the CPU-component based on two Intel computing architectures. The GPU-component consists of 5 NVIDIA DGX-1 servers. Each server has 8 GPU NVIDIA Tesla V100 based on the latest architecture NVIDIA Volta. Moreover, one server NVIDIA DGX-1 has 40960 cores CUDA, which are equivalent to 800 high-performance central processors. A number of novel technologies are used in DGX-1, including the NVLink 2.0 wire with the bandwidth up to 300 Gbit/s.

The supercomputer CPU-component is implemented on the high-density architecture “RSK Tornado” with direct liquid cooling developed by specialists of the Russian group of RSK companies and having the record energy efficiency index — less than 1.03; i.e., less than 3% of all consumed electricity is spent on cooling. CPU computing nodes are based on the Intel server products, namely, the most powerful 72-core server processors Intel® Xeon

листами российской группы компаний РСК и обладающей рекордным для НРС-индустрии показателем энергоэффективности системы — менее чем 1,03, т.е. на охлаждение расходуется менее 3% всего потребляемого электричества. Основу вычислительных узлов CPU-компонента составили серверные продукты Intel: самые мощные 72-ядерные серверные процессоры Intel® Xeon Phi™ 7290, процессоры семейства Intel® Xeon® Scalable (модели Intel® Xeon® Gold 6154) и новейшие высокоскоростные твердотельные диски Intel® SSD DC P4511 с интерфейсом NVMe емкостью 1 ТБ. Для высокоскоростной передачи данных между вычислительными узлами в составе суперкомпьютера используется передовая технология коммутации Intel® Omni-Path, обеспечивающая скорость неблокируемой коммутации до 100 Гбит/с, на основе 48-портовых коммутаторов Intel® Omni-Path Edge Switch 100 Series со 100%-м жидкостным охлаждением. Применение Intel® Omni-Path Architecture позволяет не только удовлетворить текущие потребности ресурсоемких приложений пользователей, но и обеспечить необходимый запас пропускной способности сети на будущее. Пиковая производительность суперкомпьютера составляет 1 PFlops для операций с одинарной точностью и 500 TFlops с двойной.

Сегодня ресурсы суперкомпьютера используются группами пользователей из ЛТФ, ЛИТ, ЛФВЭ, ЛЯП (эксперименты JUNO и NOvA). Суперкомпьютер используется для решения задач, требующих массивно-параллельных расчетов в различных областях ядерной физики и физики высоких энергий, в частности в решеточной квантовой хромодинамике для исследования свойств адронной материи при высокой плотности энергии и барионного заряда и в присутствии сверхсильных электромагнитных полей, для математического моделирования взаимодействий антипротонов с протонами и ядрами с использованием генераторов DPM, FTF и UrQMD+SMM, развиваемых в ОИЯИ и представляющих интерес для эксперимента NICA-MPD, для моделирования динамики столкновений релятивистских тяжелых ионов, а также для решения прикладных задач: расчета джозефсоновских переходов, моделирования динамики многочастичных бозонных систем в магнитооптических ловушках, расчета поправок для матричного элемента в первом борновском приближении в случае реакции прямой ионизации атома гелия быстрым протоном с учетом различных моделей конечного состояния и др.

Средняя загрузка по вычислительным компонентам составляет: компонент на базе Skylake — 80,58%

Phi™ 7290, processors Intel® Xeon® Scalable (models Intel® Xeon® Gold 6154) and novel high-speed solid-state disks Intel® SSD DC P4511 with the NVMe interface and a capacity of 1 TB. For high-speed data transfer between computing nodes the supercomputer uses an advanced switching technology Intel® Omni-Path providing the speed of non-blocking switching up to 100 Gbit/s based on 48-port switches Intel® Omni-Path Edge Switch 100 Series with 100% liquid cooling. The use of Intel® Omni-Path Architecture allows not only meeting the current needs of resource-intensive user applications but also providing the necessary network bandwidth for the future. The peak supercomputer performance is 1 PFlops for single-precision operations and 500 TFlops for double-precision operations.

The Govorun supercomputer was put into regular operation in July 2018. At present, the supercomputer resources are used by user groups from BLTP, LIT, VBLHEP, and DLNP (the JUNO and NOvA experiments). The supercomputer is used to solve problems that require massive parallel calculations in various fields of nuclear physics and high energy physics, particularly in lattice quantum chromodynamics to study the properties of hadronic mat-

ter at high energy density and baryon charge and in the presence of supramaximal electromagnetic fields, for mathematical modeling of interactions of antiprotons with protons and nuclei using DPM, FTF and UrQMD+SMM generators developed at JINR and being of interest for the NICA-MPD experiment, for modeling the dynamics of collisions of relativistic heavy ions as well as for solving applied problems such as calculating Josephson junctions, modeling the dynamics of many-particle Boson systems in magnetic optical traps, calculating corrections for the matrix element in the first Born approximation in case of a direct ionization of a helium atom by a fast proton taking into account different models of the final state, etc. In addition, work related to the development of the NICA megaproject computing is carried out on the supercomputer basis.

The average load on computing components is the following: the component based on Skylake is 80.58% (maximum 100%), the component based on KNL is 38.41% (maximum 74%), the component with GPU computing accelerators is 73.58% (maximum 100%).

In total, within the commissioning period, over 130 000 tasks on all computing components were completed by all groups performing calculations on the supercomputer.

вычислительных ядер (максимально — 100%), на базе KNL — 38,41% вычислительных ядер (максимально — 74%), компонент с ускорителями вычислений GPU — 73,58% (максимально — 100%). За весь период эксплуатации всеми группами, проводящими расчеты на суперкомпьютере, было выполнено свыше 130 000 задач на всех вычислительных компонентах.

Учебно-тестовый полигон в настоящее время содержит 10 вычислительных узлов с графическими ускорителями NVIDIA Tesla K20X, K40, K80, сопроцессорами Intel Xeon Phi 5110P, 7120 и процессорами Intel Xeon E5-2695 V2 и V3. Общее количество ядер CUDA — 77184, процессорных ядер — 252, ядер сопроцессора — 182, общий объем памяти — 2,5 ТБ, общая производительность при вычислениях с одинарной точностью — 140 Tflops, с двойной — 50 Tflops.

Единая программно-информационная среда платформы HybriLIT. Сфера информационных технологий — одна из самых динамично развиваемых сфер как с точки зрения развития аппаратного обеспечения (развития вычислительных архитектур, систем хранения данных, сетевых решений), так и с точки зрения развития методов, алгоритмов, программного обеспечения, поддерживающего возможность проведения расчетов на новейших вычислительных архи-

тектурах и разработки программных продуктов с использованием новейших фреймворков и библиотек. Все это выдвигает к программно-информационной среде серьезные требования: *гибкости* — возможности быстрого формирования ИТ-среды для решения конкретных прикладных задач, *масштабируемости* — при необходимости быстрого увеличения/уменьшения вычислительного поля, *user-friendly* — оперативного отклика на запросы пользователей платформы — сообщества, решающего задачи в различных областях, активно развиваемых в Институте. Удовлетворение обозначенным требованиям реализуется через различные механизмы. Гибкость достигается за счет сформированного динамического пула виртуальных машин, предназначенных как для работы в режиме отладки и запуска задач (user-interface VM с поддержкой только SSH-протокола), так и для решения графически насыщенных задач (сервис HLIT-VDI на технологии Citrix). Масштабируемость обеспечивают возможности планировщика задач SLURM, позволяющего при необходимости перераспределять вычислительные ресурсы по очередям. Требование user-friendly программно-информационной среды реализуется благодаря оперативному развертыванию необходимых пользователям ИТ-сред и работе с пользователями группы по гетероген-

At present, **the education and testing area** contains 10 computing nodes with graphics accelerators NVIDIA Tesla K20X, K40, K80, coprocessors Intel Xeon Phi 5110P, 7120 and processors Intel Xeon E5-2695 V2 and V3. The total number of CUDA cores is 77 184, processor cores — 252, coprocessor cores — 182, the total memory volume is 2.5 TB, the total performance for single-precision calculations is 140 Tflops and 50 Tflops for double-precision calculations.

Unified software and information environment of the HybriLIT platform. Information technology is one of the most rapidly developed fields in terms of the hardware development (development of computing architectures, data storage systems, network solutions) as well as in terms of the development of methods, algorithms, software for calculations on novel computing architectures and the software development using novel frameworks and libraries. All of the above creates serious requirements to the software and information environment, namely, *flexibility*, the ability to quickly form an IT environment for solving specific applied tasks; *scalability*, for a fast expansion/reduction of the computing field; *user-friendliness*, a prompt response to user requests from the platform

(community) solving problems in various fields developed at the Institute. The indicated requirements are satisfied through different mechanisms. Flexibility is achieved due to the formed dynamic pool of virtual machines designed for debugging and launching tasks (user interface VM supporting only the SSH protocol) and VM for solving graphical tasks (HLIT-VDI service based on the Citrix technology). Scalability is attained due to the possibilities of the SLURM job scheduler allowing, if necessary, reallocating computing resources in queues. The user-friendliness requirement of the software and information environment is realized by the rapid deployment of necessary IT environments and work with heterogeneous computing group users through services which are actively developed and supported by the team. The structure of the created and supported software and hardware environment is illustrated in Fig. 3.

The platform **software and information environment** aimed at making users' work with computing resources easier and at increasing the efficiency of their use can be divided into two levels (Fig. 2). The first level is considered to be a system one and includes basic software (the operation system, file systems, the workload manager and

ным вычислениям посредством сервисов, активно развиваемых и поддерживаемых коллективом. Структура созданной и поддерживаемой программно-аппаратной среды представлена на рис. 3.

Программно-информационная среда платформы, призванная облегчить пользователям работу с вычислительными ресурсами и повысить эффективность их использования, может быть разделена на два уровня (см. рис. 2). Первый уровень считается системным, включает в себя основное программное обеспечение (операционную систему, файловые системы, планировщик задач) и системы мониторинга, предоставляет возможности для эффективного системного администрирования, такие как динамичное расширение платформы с последующим внедрением новых вычислительных узлов, синхронные обновления, разработка программного обеспечения на всех текущих и будущих вычислительных узлах, оперативная настройка узла, включающая в себя неисправности и перезагрузку. Ко второму уровню относятся инструменты для разработки, отладки и профилирования параллельных приложений, а также для выполнения ресурсоемких

вычислений. Одним из основных компонентов второго уровня является информационная поддержка пользователей. Поскольку платформой пользуются ученые и специалисты из разных стран, то крайне важна двуязычная поддержка (на русском и английском) всех ресурсов.

Программно-информационная среда платформы HybriLIT содержит сервис HLIT-VDI, предназначенный для работы с прикладным программным обеспечением, использующим развитые графические интерфейсы. Сервис позволяет работать с такими пакетами прикладных программ, как Wolfram Mathematica, Maple, Matlab, GEANT4 и др., через удаленный доступ на виртуальные машины, обеспечивает как проведение небольших расчетов внутри виртуальных машин, так и выполнение ресурсоемких расчетов на вычислительных узлах платформы.

Экосистема для задач машинного обучения, глубокого обучения и анализа данных. Активное внедрение нейросетевого подхода, методов и алгоритмов машинного обучения и глубокого обучения (ML/DL) для решения широкого спектра задач обусловлено

Рис. 3. Структура программно-аппаратной среды

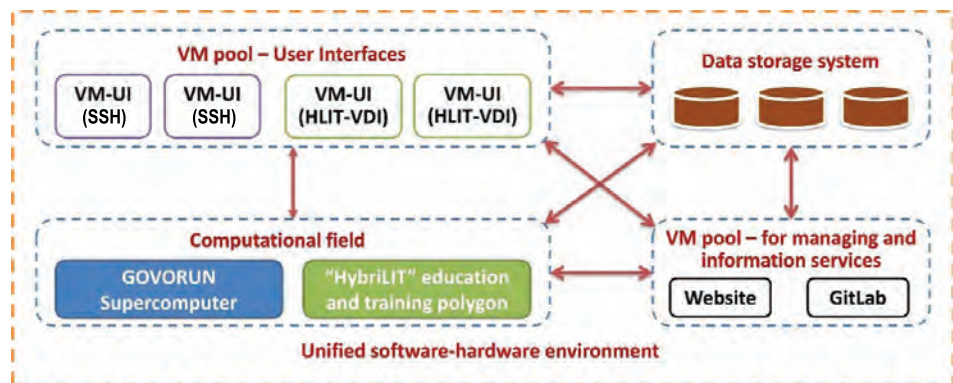


Fig. 3. Structure of the software and hardware environment

the job scheduler) and monitoring systems. The first level of the software and information environment provides the possibility for the efficient system administration such as the dynamic expansion of the platform with further implementation of new computing nodes, the possibility for synchronous updates and software development on all current and future computing nodes, the fast node setting including faults and reloading. The second level includes tools for the development, debugging and profiling of parallel applications and carrying out resource-intensive calculations. One of the main components of the second level is information support provided for users. With regard to the fact that users of the platform are scientists and specialists from different countries, bilingual support (Russian and English) for all resources is crucial.

The software and information environment of the HybriLIT platform includes the HLIT-VDI service designed for the work with applied software using advanced

graphical interfaces. The service allows working with the applied program packages such as Wolfram Mathematica, Maple, Matlab, GEANT4 and others via remote access on virtual machines (VM). This service enables carrying out small calculations inside VM as well as resource-intensive computations on platform computing nodes.

Ecosystem for tasks of machine learning, deep learning and data analysis. The active implementation of the neural network approach, methods and algorithms of machine learning and deep learning (ML/DL) for solving a wide range of problems is defined by many factors. The development of computing architectures, especially while using DL methods for training convolutional neural networks, the development of libraries, in which various algorithms are implemented, and frameworks, which allow building different models of neural networks, can be referred to as the main factors. To provide all the possibilities both for developing mathematical models and algo-

многими факторами, в частности развитием вычислительных архитектур, особенно при использовании методов DL при обучении сверхточных нейронных сетей, и развитием библиотек, в которых реализовано широкое многообразие алгоритмов, и фреймворков, позволяющих быстро строить различные модели нейросетей. Для обеспечения всех этих возможностей как по разработке математических моделей и алгоритмов, так и для проведения ресурсоемких расчетов, в том числе на графических ускорителях, позволяющих существенно сокращать время вычислений, для пользователей платформы HybriLIT создана и активно развивается экосистема для задач ML/DL и анализа данных. Созданная экосистема имеет два компонента (рис. 4):

- компонент, предназначенный для проведения ресурсоемких, массивно-параллельных задач обучения нейронных сетей с использованием графических ускорителей NVIDIA;
- экосистему для разработки моделей и алгоритмов на базе JupyterHub — многопользовательской платформы по работе с Jupyter Notebook (известным как IPython с возможностью работы в веб-браузере).

Образовательная программа. Ресурсы гетерогенной платформы HybriLIT активно используются не только для массивно-параллельных расчетов задач, решаемых в ОИЯИ, но и для подготовки кадров для работы на высокопроизводительных вычислительных системах (HPC). На базе учебно-тестового полигона разрабатываются учебные программы, которые дают возможность студентам, аспирантам и молодым ученым научиться работать на современных вычислительных платформах и овладеть современными ИТ-технологиями. Образовательная программа может быть разделена на три направления.

Основная цель первого направления — познакомить студентов с основами технологий параллельного программирования, а также с ИТ-решениями и инструментами, необходимыми для эффективного использования платформ высокопроизводительных вычислений. В период с 2014 по 2019 г. на базе платформы было проведено более 40 семинаров и лекций, в которых принимали участие более 340 человек из ОИЯИ и 218 человек из стран-участниц ОИЯИ. Семинары были проведены в ходе конференций и школ, организованных ЛИТ ОИЯИ (MPANCS'2014, MMCP'2015 и 2017,

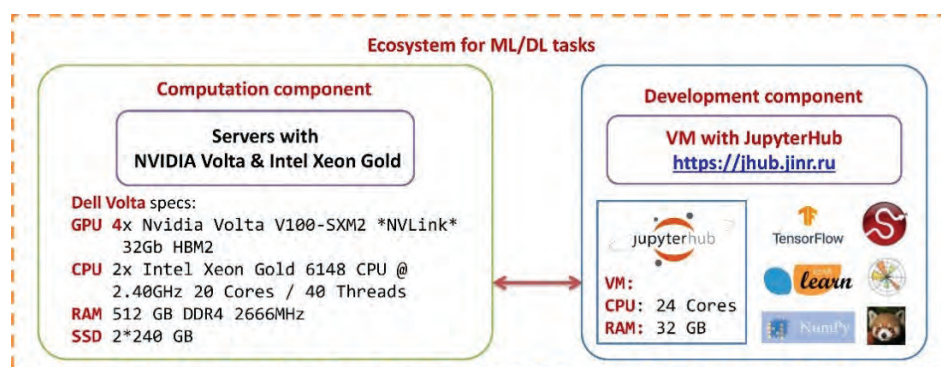


Рис. 4. Двухкомпонентная экосистема для задач ML/DL и анализа данных

Fig. 4. Two-component ecosystem for tasks of ML/DL and data analysis

algorithms and for carrying out resource-intensive calculations including graphics accelerators, which significantly reduce the calculation time, an ecosystem for tasks of ML/DL and data analysis has been created and is actively developing for HybriLIT platform users. The created ecosystem has two components (Fig. 4):

- the first component is aimed at carrying out resource-intensive, massive parallel tasks of neural network training using NVIDIA graphics accelerators;
- the ecosystem for the development of models and algorithms on the JupyterHub basis, i.e., a multi-user platform for working with Jupyter Notebook (known as IPython with the possibility to work in a web browser).

Educational program. The HybriLIT platform is used not only for massive parallel calculations, but also for training JINR human resources in the field of high-per-

formance computing (HPC). On the basis of the education and testing area, training programs are elaborated at the most up-to-date level. The programs give students, post-graduate students and young scientists the opportunity to learn how to work on modern computing platforms as well as to master state-of-the-art IT technologies. The educational program can be divided into three directions.

The main purpose of the first direction is to acquaint students with bases of parallel programming technologies as well as with IT solutions and tools necessary for the effective use of HPC platforms. During the 2014–2019 period, on the basis of the platform, 41 tutorials and lectures were held; more than 340 people from JINR and 218 people from the JINR Member States took part in them. The tutorials were carried out as part the conferences and schools held by JINR LIT (MPANCS'2014, MMCP'2015

NEC'2015 и 2017, GRID'2016 и 2018), входили в программы международного сотрудничества в Софийском университете (Болгария) и Монгольском государственном университете. В рамках организуемых ЛИТ на постоянной основе для сотрудников ОИЯИ, студентов и аспирантов университета «Дубна» учебных курсов по технологиям параллельного программирования командой HybriLIT были проведены семинары на темы: «Языки программирования C/C++», «Пакеты программ ROOT/PROOF», «Технологии параллельного программирования CUDA, OpenMP, OpenCL, MPI», «Веб-интерфейс GitLab для совместной параллельной разработки приложений».

Ко второму направлению относится углубленное изучение технологий параллельного программирования в рамках регулярных учебных курсов, проводимых командой HybriLIT для сотрудников ОИЯИ, студентов и аспирантов университета «Дубна». На базе гетерогенной платформы HybriLIT были проведены учебные курсы по технологии параллельного программирования MPI и инструментам по отладке и профилированию параллельных приложений (от компании Intel), CUDA (компании NVIDIA), прикладных программ COMSOL Multiphysics, Matlab и т. д. Курсы

предназначены для усовершенствования навыков и переподготовки специалистов.

Третье направление включает в себя подготовку ИТ-специалистов на кафедре системного анализа и управления университета «Дубна». Для студентов второго и пятого курсов проводятся курсы по темам: «Архитектуры вычислительных систем», «Архитектуры и технологии вычислительных систем», «Математические модели в физике». Во время курсов студенты учатся работать на платформах высокопроизводительных вычислений и знакомятся с другими ИТ-сервисами. Кроме того, наряду с регулярным обучением студенты дубненского университета участвуют в решении конкретных исследовательских задач на базе платформы HybriLIT, у них есть возможность выбрать тему для своих бакалаврских и магистерских работ на основе задач, решаемых в ОИЯИ с использованием технологий высокопроизводительных вычислений.

Данная адаптивная образовательная программа, основанная на кластере HybriLIT, обеспечивает подготовку студентов и специалистов в быстро развивающемся секторе высокопроизводительных вычислений.

and 2017, NEC'2015 and 2017, GRID'2016 and 2018), within the programs on international cooperation at Sofia University in Bulgaria and Mongolian State University. During regular training courses on parallel programming technologies organized at LIT for JINR staff, students and postgraduate students of Dubna State University, the HybriLIT heterogeneous computing team held tutorials on C/C++ program languages, ROOT/PROOF program packages, parallel programming technologies such as CUDA, OpenMP, OpenCL, MPI as well as on the user-friendly GitLab web interface for the joint parallel development of applications.

The second direction is related to advanced learning of parallel programming technologies as part of regular training courses conducted by the HybriLIT team for JINR staff, students, and postgraduate students of Dubna State University. On the basis of the HybriLIT heterogeneous platform, training courses on MPI parallel programming technologies and tools for debugging and profiling parallel applications (Intel company), CUDA (NVIDIA company), application programs COMSOL Multiphysics, Matlab, etc., were held. These courses are aimed at improving skills and retraining specialists.

The third direction is a regular training of IT specialists at the Department of System Analysis and Management of Dubna State University. In this direction, the courses on “Computing System Architectures”, “Architectures and Computing System Technologies”, “Mathematical Models in Physics” are held for second-year students (bachelor's degree) and fifth-year students (master's degree). During the courses, students learn about tools for working on HPC platforms and related IT services. In addition, along with their regular studies, students of Dubna State University participate in solving specific research tasks based on the HybriLIT platform and have an opportunity to choose themes for undergraduate and master theses on solving problems related to JINR research topics using HPC technologies.

This adaptive educational program based on the HybriLIT cluster allows training students and specialists taking into account the rapidly developing HPC sector in the field of scientific computing.