

Раздел V. Интеграция параллельных и гибридных распределенных вычислений

УДК 519.688

DOI 10.18522/2311-3103-2020-7-172-180

**К.В. Герценбергер, А.И. Чеботов, И.Н. Александров, И.А. Филозова,
Е.И. Александров**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ ОНЛАЙН И ОФЛАЙН ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОМПЛЕКСА NICA

Хранение, обработка и анализ экспериментальных и смоделированных данных являются неотъемлемой частью всех современных экспериментов физики высоких энергий. Эти задачи имеют важное значение в экспериментах комплекса NICA, строящегося в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ), из-за большой частоты взаимодействия и множественности частиц в событиях столкновения ионов, в связи с этим особенно актуальна автоматизация рассматриваемых процессов для комплекса NICA. Для решения поставленной задачи современные физические эксперименты используют информационные системы различной направленности, которые позволяют управлять потоками данных и обслуживать большое количество одновременных запросов на требуемую информацию от различных систем эксперимента и их пользователей. В статье описывается проектирование новой информационной системы на основе базы данных состояний, а также сопутствующие информационные сервисы для автоматизации хранения и обработки данных и информации об экспериментах проекта NICA. Разрабатываемая база данных состояний предназначена для хранения, поиска и использования различных параметров и информации о режимах работы систем эксперимента. База данных, реализуемая при помощи СУБД (системы управления базами данных) PostgreSQL, будет отвечать за предоставление хранимой информации для обработки данных событий и их физического анализа, а также за организацию прозрачного единого доступа и управление данными на протяжении всего жизненного цикла проводимых научных исследований. В статье показаны схема и цели создаваемой базы данных состояний, представлены её атрибуты, а также выделены ключевые аспекты разработки. Показано место базы данных состояний в архитектуре обработки потока данных эксперимента. Также в статье описана интеграция данной информационной системы с используемым программным обеспечением экспериментов. Начата разработка интерфейсов базы данных состояний для использования хранимых параметров и информации об эксперименте в задачах моделирования событий, обработки "сырых" данных, реконструкции и физического анализа.

Комплекс NICA; онлайн и офлайн обработка данных экспериментальных установок; информационные сервисы; информационная система; база данных состояний.

**K.V. Gertsenberger, A.I. Chebotov, I.N. Alexandrov, I.A. Filozova,
E.I. Alexandrov**

DESIGN OF THE CONDITION DATABASE FOR ONLINE AND OFFLINE DATA PROCESSING IN EXPERIMENTAL SETUPS OF THE NICA COMPLEX

Storing, processing and analyzing of experimental and simulated data are an integral part of all modern high-energy physics experiments. These tasks are of particular importance in the experiments of the NICA project at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) due to the high interaction rate and particle multiplicity of ion collision events, therefore the task of automating the consid-

ered processes for the NICA complex has particular relevance. To solve the task, modern physics experiments use various information systems, which control experiment data flows and simultaneously service a large number of requests from various systems and collaboration members. The article describes the design of a new information system based on the Condition Database as well as related information services to automate storing and processing of data and information on the experiments. The Condition Database is aimed at storing, searching and using various parameters and operation modes of experiment systems. The system being implemented on the PostgreSQL DBMS will provide the information for event data processing and physics analysis and organize a transparent, unified access and data management throughout the life cycle of the scientific research. The article shows the scheme and purposes of the Condition Database and its attributes, key aspects of the design are highlighted. A place of the Condition Database in data processing flow is illustrated. The integration of the information system with experiment software systems is also presented. The development of the Condition Database interfaces has been started to use the stored information in event simulation, raw data processing, reconstruction and physics analysis tasks.

NICA complex; online and offline data processing; information system; information services; condition database.

Введение. Согласно реализуемой программе Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, г. Дубна) по изучению столкновений тяжелых ионов в ближайшие годы будет завершено строительство ускорительного комплекса NICA [1] (Nuclotron-based Ion Collider Facility, коллайдерная установка для столкновения ионов на базе Нуклотрона) для столкновения частиц в диапазоне атомных масс $A = 1-197$ при энергиях в системе центра масс до 11 ГэВ для ионов золота Au^{79+} и до 27 ГэВ для протонов. Предусмотрены две точки взаимодействия частиц в накопительных кольцах коллайдера NICA (рис. 1), в каждой из которых будет расположен детектор, ориентированный на свою физическую программу исследований: детекторы MPD (MultiPurpose Detector) [2] и SPD (Spin Physics Detector) [3]. Многоцелевой детектор MPD оптимизирован для всестороннего изучения свойств горячей и плотной ядерной материи, образуемой в столкновениях тяжелых ионов, и поиска критической точки фазового перехода. Детектор спиновой физики SPD комплекса NICA строится для исследования спиновой структуры нуклонов на высокоинтенсивных поляризованных пучках легких ядер.



Рис. 1. Строящийся ускорительно-накопительный комплекс NICA

Кроме того, одним из основных элементов первого этапа проекта NICA является эксперимент на фиксированной мишени VM@N [4] (Baryonic Matter at Nuclotron, барионная материя на Нуклотроне), проводимый на пучках частиц, выводимых с Нуклотрона в экспериментальный зал. Технические сеансы эксперимента VM@N проводятся уже с 2015 года, а в 2018 году эксперимент был запущен с новой физической подпрограммой SRC [5] (Short Range Correlations, измерение двухнуклонных короткодействующих корреляций).

Для современных крупных научных исследований, таких как эксперименты проекта NICA, характерны длительность, сложность, высокая трудоемкость, большие временные затраты, оперирование большими объемами данных, получаемых в ходе эксперимента. Ожидается, что при непрерывной работе в течении 4 – 6 месяцев в году и частоте столкновений 7 кГц только для эксперимента MPD будет набираться около 20 миллиардов событий (порядка 10-20 ПБ данных) в год. На данном этапе уже ведется работа с большим объемом, исчисляемым сотнями терабайт, смоделированных данных всех экспериментов проекта NICA и экспериментальных данных VM@N, только за последний сеанс которого было набрано сотни миллионов событий.

В этой связи особую актуальность приобретает задача автоматизации процессов сбора, хранения, обработки и анализа экспериментальных (а также моделированных) данных комплекса NICA. Автоматизация современного эксперимента невозможна без применения специализированного информационно-вычислительного обеспечения, позволяющего собирать, хранить и обрабатывать большое количество информации, управлять экспериментом в процессе его проведения, обслуживать одновременно большое количество оборудования установки и выполнять другие действия, необходимые для своевременного получения качественного физического результата. Неотъемлемой частью такого обеспечения для онлайн и офлайн обработки данных экспериментов являются базы данных различного назначения [6] и связанные с их использованием и поддержкой соответствующие информационные системы.

Проведенное авторами исследование [7] показало, что информационные системы используются во всех крупных экспериментах по столкновению частиц, и они стали важной частью программного обеспечения этих экспериментов, в частности экспериментов на Большом адронном коллайдере в CERN. Однако существующие решения по автоматизации процессов сбора, обработки и анализа данных физических экспериментов сильно зависят от специфики выполняемого эксперимента и являются их неотъемлемой частью.

Таким образом, в настоящее время практически ни один крупный эксперимент физики высоких энергий не обходится без создания и использования автоматизированных информационных систем, в связи с чем в рамках гранта РФФИ №18-02-40125 ведется разработка комплекса новых информационных систем для онлайн и офлайн обработки данных экспериментов проекта NICA, включающего, в том числе, базу данных состояний и условий работы систем эксперимента (далее – база данных состояний). Целью реализации таких систем комплекса и баз данных является повышение эффективности сбора, хранения, обработки и анализа данных и обеспечение членов коллаборации требуемыми информационными сервисами.

Текущая архитектура обработки данных экспериментов. Для понимания роли разрабатываемой базы данных состояний необходимо определить ее место в архитектуре онлайн и офлайн обработки данных эксперимента. Поток обработки получаемых с эксперимента данных организован следующим образом [8]. Система триггеров эксперимента выполняет онлайн отбор событий столкновения частиц согласно текущей физической программе. В соответствии с триггерными сигналами детекторы установки формируют фрагменты “сырых” (необработанных) данных, которые собираются Сборщиком Событий системы сбора данных (Data Acquisition System, DAQ) в события и затем поступают на временное хранилище – распределенную кластерную систему хранения, где полученные события используются в системах оператора, работающих в режиме онлайн, таких как: проверка качества необработанных данных, системе онлайн гистограммирования и графиче-

ческом мониторе событий. С временного хранилища данные передаются в систему постоянного хранения. Здесь необработанные данные преобразуются в режиме офлайн в ROOT [9] формат и передаются на реконструкцию событий, после чего реконструированные данные используются в различных задачах физического анализа. Обработка экспериментальных (а также моделированных) данных выполняется на распределенных вычислительных системах проекта NICA. В рамках гранта разрабатывается комплекс информационных систем и соответствующий набор сервисов, которые обеспечат качественное управление, хранение и передачу информации различным подсистемам для дальнейшей обработки данных событий столкновения частиц.

Информация о сеансах эксперимента, о полученных экспериментальных и смоделированных файлах, а также различные параметры работы систем записываются в базу данных состояний как в онлайн, так и офлайн режиме. В дальнейшем эта сохраненная информация используется в различных алгоритмах обработки данных эксперимента, в том числе при моделировании работы установки, реконструкции полученных событий и их физическом анализе. Текущая схема обработки данных на примере действующего эксперимента VM@N проекта NICA показана на рис. 2.

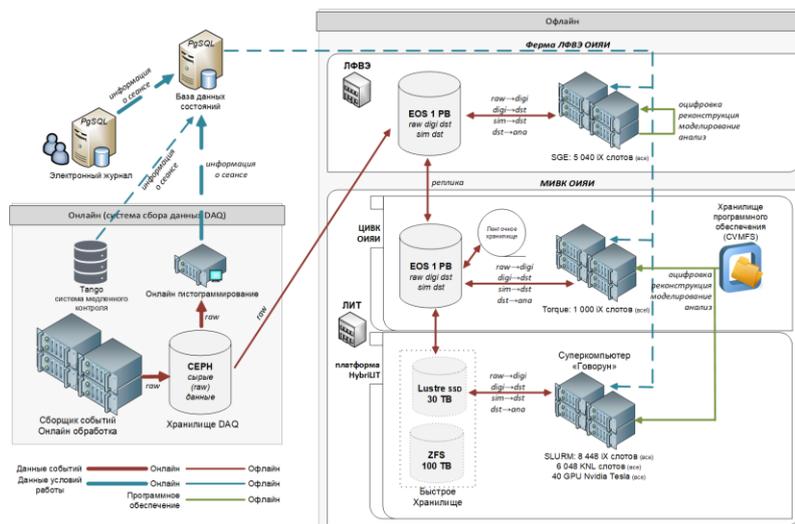


Рис. 2. Схема распределенной обработки экспериментальных данных

На рисунке представлено место разрабатываемой базы данных состояний в архитектуре онлайн и офлайн обработки данных событий. Часть информации, содержащая параметры проводимых сеансов, будет автоматически поступать в базу данных состояний из электронного журнала эксперимента [10]. Кроме того, система медленного контроля на базе программной среды Tango [11] также является источником параметров аппаратных подсистем, необходимых для дальнейшей обработки данных событий столкновения частиц. Как показано на рисунке, хранящая в базе данных состояний информация в дальнейшем используется при оцифровке необработанных данных событий, их реконструкции и физическом анализе, а также при моделировании работы установки на территориально-распределенных вычислительных системах Лаборатории физики высоких энергий и Лаборатории информационных технологий ОИЯИ (в настоящее время подключаются и ресурсы стран-участниц), включая современный суперкомпьютер «Говорун» [12].

Разработка базы данных состояний и режимов работы систем. Важной частью не только систем, работающих в режиме онлайн, но и задач, выполняемых офлайн, включая обработку и анализ полученных физических данных, являются информационные системы, построенные на современных базах данных и предлагающие различные пользовательские сервисы для прозрачного доступа и управления хранимыми данными и информацией о проводимом эксперименте.

База данных состояний (англ. condition database) направлена на хранение, обработку и использование параметров и режимов работы различных устройств и детекторов установки в офлайн (а возможно и онлайн) системах обработки данных эксперимента, в том числе в алгоритмах реконструкции и физического анализа событий столкновения частиц. Соответствующая информационная система решает также задачу удобного доступа и управления требуемыми параметрами подсистем установки для их учета на всех этапах обработки данных эксперимента.

В ходе проектирования была сформирована по методологии IDEF1x [13] следующая диаграмма базы данных состояний, представленная на рис. 3. В процессе разработки дизайна структура базы данных была максимально упрощена и приведена к общей схеме, которая может быть использована в разных физических экспериментах по столкновению частиц.

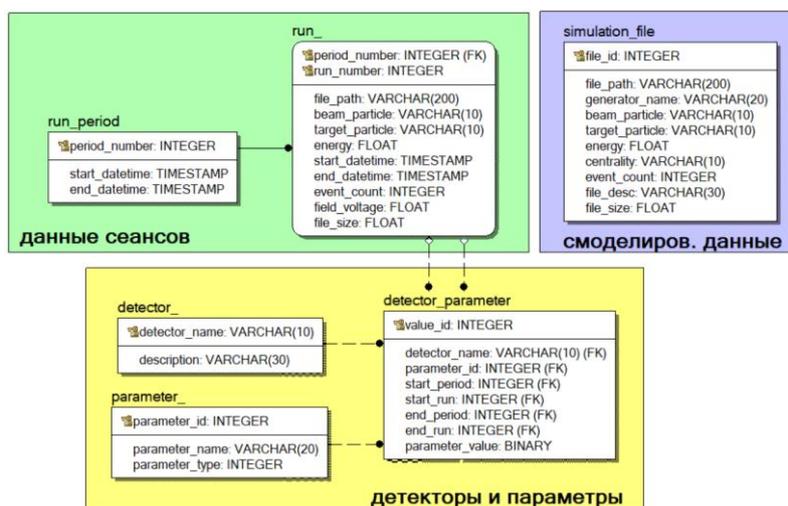


Рис. 3. Физическая модель разрабатываемой базы данных состояний

База данных состояний разрабатывается как центральное хранилище информации об условиях и режимах работы различных подсистем, а также параметров проводимого эксперимента. Эти данные необходимы для реконструирования и анализа записанных данных событий, моделирование работы детекторов, а также являются ключевым элементом на этапе обработки полученных экспериментальных данных. Соответствующая информационная система обеспечивает управление хранимыми данными и унифицированный доступ к ним для онлайн и офлайн систем обработки данных, гарантируя корректную многопользовательскую обработку, актуальность информации, к которой предоставляется доступ, согласованность и целостность данных, исключает многократное дублирование и использование устаревших данных. Кроме того, автоматическое регулярное резервное копирование хранимой информации гарантирует ее сохранность в случае программных ошибок или аппаратных сбоев.

Проведенный анализ показал, что база данных состояний для экспериментов проекта NICA будет иметь относительно небольшой размер, поэтому ее разработка ведется на реляционной СУБД (системе управления базами данных) PostgreSQL [14]. В архитектуре создаваемой базы данных можно выделить 3 компонентные части (рисунок 3): хранение информации о смоделированных данных, информации о проведенных сеансах эксперимента, включая данные по магнитному полю, типе частицы пучка и энергии, времени, количеству событий столкновений частиц и файлах экспериментальных данных, а также хранение параметров различного типа для аппаратных подсистем эксперимента. Выделены 4 группы хранимых параметров:

- ◆ конфигурационные данные, связанные с режимом работы детекторов, включая программируемые параметры внешней электроники;
- ◆ калибровочные данные, описывающие калибровку и выравнивание в соответствии с заданным расположением детекторов, которые обычно вычисляются с помощью специальных алгоритмов после сеансов;
- ◆ параметрические данные, описывающие состояние детекторных и аппаратных подсистем эксперимента;
- ◆ алгоритмические данные, задающие как сами алгоритмы обработки данных событий столкновения частиц, так и условия их работы.

Важным свойством параметров, хранимых в базах данных состояний и режимов работы систем в экспериментах физики высоких энергий, является то, что они меняются с течением времени [15]. Значение или набор значений параметра описывают состояние системы в течение ограниченного промежутка времени и используются только для анализа событий, полученных в этом интервале действия. В связи с этим хранимые параметры характеризуются привязкой к интервалу времени во время сеанса, в течение которого они действительны. Обычно в качестве соответствующего атрибута параметра используется временной период действия [16] или последовательный набор измерений – “ранов” (относительно небольших отрезков работы эксперимента, данные которых зачастую сохраняются в отдельном файле), а для выборки параметра передается соответствующий момент времени или номер “рана”. В спроектированной базе данных состояний для экспериментов проекта NICA период валидности параметра определяется набором “ранов”, для которых он действителен.

В настоящее время рассматривается реализация информационной системы на базе клиент-серверной модели, состоящей из центральной базы данных состояний и локальных пользовательских реплик (копий) [17]. В этом случае будет осуществляться онлайн и офлайн запись данных в централизованную базу данных, а для быстрого доступа к хранимой информации будут использоваться обновляемые реплики центральной базы данных состояний. Также это обеспечит возможность обрабатывать данные в программной среде эксперимента членами коллаборации при отсутствии связи с сервером базы данных, например, при отсутствии интернета.

Еще одной важной особенностью разрабатываемой базы данных состояний является то, что ее архитектура обеспечивает хранение параметров любого, заранее определенного типа в виде двоичных объектов, сохраняемых в одно поле базы данных (“*parameter_value*” на рис. 3) и сериализуемых через специализированный программный интерфейс.

Интеграция базы данных состояний с системами обработки данных эксперимента. Для обработки смоделированных и экспериментальных данных экспериментов проекта NICA разрабатываются соответствующие программные пакеты [18] на языке программирования C++, базирующиеся на программном обеспечении FairRoot [19] коллаборации FAIR (института GSI Германии). FairRoot предоставляет общие классы и механизмы, используемые при решении задач в физиче-

ских экспериментах по столкновению частиц, программным пакетам экспериментов BM@N, MPD и SPD: BmnRoot, MPDRoot и SPDRoot соответственно. Основные задачи обработки данных в этих пакетах решаются при помощи реализованных макросов среды ROOT.

Программное обеспечение экспериментов должно иметь доступ к информации, хранимой в базе данных состояний, для использования ее в задачах оцифровки сигналов, моделирования, реконструкции и физического анализа событий столкновения частиц. Для интеграции базы данных состояний с программными пакетами экспериментов BmnRoot [20], MPDRoot и SPDRoot, базирующихся на среде CERN ROOT, в настоящее время ведется разработка специализированного программного интерфейса на языке C++, позволяющего использовать хранимую информацию при онлайн и офлайн обработке данных.

Кроме того, начата разработка пользовательского интерфейса в виде веб-сервиса для упрощения просмотра и управления информацией об эксперименте членами коллаборации через интернет. Также необходима реализация удобного инструмента поиска, который обеспечит формирование критериев выбора и эффективный поиск в базе данных состояний информации, необходимой для обработки данных или физического анализа событий столкновения частиц.

Заключение. Разрабатываемая база данных состояний является важным компонентом реализуемого комплекса информационных систем и представляет собой централизованное хранилище, обеспечивающее единый доступ онлайн и офлайн системам эксперимента к хранимым параметрам для обработки и анализа данных экспериментальных установок комплекса NICA, а также управление членами коллаборации актуальной информацией об эксперименте. Такие системы вносят существенный вклад в решение задачи автоматизации сбора, хранения, обработки и анализа данных, а также являются необходимым элементом для успешной работы современных экспериментов физики высоких энергий и своевременного получения качественного физического результата.

Поддержка. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-02-40125. Авторы выражают благодарность команде гетерогенной вычислительной платформы NubriLIT (ЛИТ, ОИЯИ) за предоставление программно-аппаратных ресурсов для работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *NICA Collaboration.* NICA White paper. Searching for a QCD mixed phase at the Nuclotron-based ion collider facility. – JINR, Dubna, 2014. – 334 p.
2. *MPD Collaboration.* The MultiPurpose Detector – MPD. Conceptual Design Report. – JINR, Dubna, 2012. – 259 p.
3. *Kouznetsov O., Savin I.* Spin Physics Experiments at NICA-SPD // Nuclear and Particle Physics Proceedings. – 2017. – Vol. 282–284. – P. 20-26.
4. *Baranov D., Kapishin M., Mamontova T., et al.* The BM@N experiment at JINR: status and physics program // KnE Energy & Physics. – 2018. – Vol. 3. – P. 291-296.
5. *Galavanov A., Khabarov S., Kirushin, et al.* Studies of Short Range Correlations in inverse kinematics at BM@N at the NICA facility // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1390. – 012025.
6. *Shiers J.* Databases in High Energy Physics: A Critical Review // In: R. Brun, F. Carminati, G. Galli Carminati. From the Web to the Grid and Beyond. – Springer, 2011. – P. 225-266.
7. *Александров Е.И., Александров И.Н., Герценбергер К.В. и др.* Информационные системы для онлайн и офлайн обработки данных в современных экспериментах физики высоких энергий // Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование», – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 645-650.
8. *Baskakov A., Bazylev S., Fedunin A., Filippov I.* MPD Data Acquisition System: Technical Design Report. – JINR, Dubna, 2018. – 74 p.

9. Brun R., Rademakers F. ROOT – An Object Oriented Data Analysis Framework // Proceedings AIHENP'96 Workshop. – Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. A. – 1997. – Vol. 389. – P. 81-86.
10. Gertsenberger K., Moshkin A., Chebotov A. Development of the Electronic Logbook for the BM@N Experiment at NICA // CEUR Workshop Proceedings of the 27th International Symposium Nuclear Electronics and Computing. – 2019. – Vol. 2507. – P. 175-179.
11. Andreev V., Volkov V., Gorbachev E., et al. TANGO standard software to control the Nuclotron beam slow extraction // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2016. – Vol. 13. – P. 605-608.
12. Adam Gh., Bashashin M., Belyakov D., et al. IT-ecosystem of the HybriLIT heterogeneous platform for high-performance computing and training of IT-specialists // CEUR Workshop Proceedings of the VIII International Conference «Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education». – 2018. –Vol. 2267. – P. 638–644.
13. Serifi V., Dasic P., Jecmenica R., Labovic D. Functional and information modeling of production using IDEF methods // Journal of Mechanical Engineering. – 2009. – Vol. 55. – P. 131-140.
14. Obe R., Hsu L. PostgreSQL: up and running. – O'Reilly Media, 2015. – 234 p.
15. Laycock P., Dykstra D., Formica A., et al. A Conditions Data Management System for HEP Experiments // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1085. – 032040.
16. Rinaldi L., Formica A., Gallas E., et al. Conditions evolution of an experiment in mid-life, without the crisis (in ATLAS) // EPJ Web of Conferences. – 2019. – Vol. 214. – 04052.
17. Akishina E., Alexandrov E., Alexandrov I., et al. Conceptual considerations for CBM databases // Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. – 2014. – E10-2014-103.
18. Gertsenberger K., Merts S., Rogachevsky O., Zinchenko A. Simulation and analysis software for the NICA experiments // European Physical Journal A. – 2016. – Vol. 52 (8). – 214.
19. Al-Turany M., Bertini D., Karabowicz R., et al. The FairRoot framework // Journal of Physics: Conference Series. – 2012. – Vol. 396. – 022001.
20. Batyuk P., Gertsenberger K., Merts S., Rogachevsky O. The BmnRoot framework for experimental data processing in the BM@N experiment at NICA // EPJ Web of Conferences. – 2019. – Vol. 214. – 05027.

REFERENCES

1. NICA Collaboration. NICA White paper. Searching for a QCD mixed phase at the Nuclotron-based ion collider facility. JINR, Dubna, 2014, 334 p.
2. MPD Collaboration. The MultiPurpose Detector – MPD. Conceptual Design Report. JINR, Dubna, 2012, 259 p.
3. Kouznetsov O., Savin I. Spin Physics Experiments at NICA-SPD, *Nuclear and Particle Physics Proceedings*, 2017, Vol. 282–284, pp. 20-26.
4. Baranov D., Kapishin M., Mamontova T., et al. The BM@N experiment at JINR: status and physics program, *KnE Energy & Physics*, 2018, Vol. 3, pp. 291 -296.
5. Galavanov A., Khabarov S., Kirushin, et al. Studies of Short Range Correlations in inverse kinematics at BM@N at the NICA facility, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, Vol. 1390, 012025.
6. Shiers J. Databases in High Energy Physics: A Critical Review, In: R. Brun, F. Carminati, G. Galli Carminati. *From the Web to the Grid and Beyond*. Springer, 2011, pp. 225-266.
7. Aleksandrov E.I., Aleksandrov I.N., Gertsenberger K.V. i dr. Informatsionnye sistemy dlya onlayn i oflayn obrabotki dannykh v sovremennykh eksperimentakh fiziki vyokikh energiy [Information systems for online and offline data processing in modern high-energy physics experiments], *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie»* [International scientific journal «Modern Information Technologies and IT-Education»], 2019, Vol. 15, No. 3, pp. 645-650.
8. Baskakov A., Bazylev S., Fediunin A., Filippov I. MPD Data Acquisition System: Technical Design Report. JINR, Dubna, 2018, 74 p.
9. Brun R., Rademakers F. ROOT – An Object Oriented Data Analysis Framework, *Proceedings AIHENP'96 Workshop. Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. A.*, 1997, Vol. 389, pp. 81-86.
10. Gertsenberger K., Moshkin A., Chebotov A. Development of the Electronic Logbook for the BM@N Experiment at NICA, *CEUR Workshop Proceedings of the 27th International Symposium Nuclear Electronics and Computing*, 2019, Vol. 2507, pp. 175-179.

11. Andreev V., Volkov V., Gorbachev E., et al. TANGO standard software to control the Nuclotron beam slow extraction, *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 2016, Vol. 13, pp. 605-608.
12. Adam Gh., Bashashin M., Belyakov D., et al. IT-ecosystem of the HybriLIT heterogeneous platform for high-performance computing and training of IT-specialists, *CEUR Workshop Proceedings of the VIII International Conference «Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education»*, 2018, Vol. 2267, pp. 638-644.
13. Serifi V., Dasic P., Jecmenica R., Labovic D. Functional and information modeling of production using IDEF methods, *Journal of Mechanical Engineering*, 2009, Vol. 55, pp. 131-140.
14. Obe R., Hsu L. PostgreSQL: up and running. – O'Reilly Media, 2015. – 234 p.
15. Laycock P., Dykstra D., Formica A., et al. A Conditions Data Management System for HEP Experiments, *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, Vol. 1085, 032040.
16. Rinaldi L., Formica A., Gallas E., et al. Conditions evolution of an experiment in mid-life, without the crisis (in ATLAS), *EPJ Web of Conferences*, 2019, Vol. 214, 04052.
17. Akishina E., Alexandrov E., Alexandrov I., et al. Conceptual considerations for CBM databases, *Communication of the Joint Institute for Nuclear Research*, 2014, E10-2014-103.
18. Gertsenberger K., Merts S., Rogachevsky O., Zinchenko A. Simulation and analysis software for the NICA experiments, *European Physical Journal A*, 2016, Vol. 52 (8), 214.
19. Al-Turany M., Bertini D., Karabowicz R., et al. The FairRoot framework, *Journal of Physics: Conference Series*, 2012, Vol. 396, 022001.
20. Batyuk P., Gertsenberger K., Merts S., Rogachevsky O. The BmnRoot framework for experimental data processing in the BM@N experiment at NICA, *EPJ Web of Conferences*, 2019, Vol. 214, 05027.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. В.С. Пантуев.

Герценбергер Константин Викторович – Объединенный институт ядерных исследований; e-mail: gertsen@jinr.ru; 141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6; тел.: +74962165343; Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина; к.т.н.; начальник группы.

Чеботов Александр Игоревич – e-mail: chebotov@jinr.ru; тел.: +74962165343; Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина; инженер-программист.

Александров Игорь Николаевич – e-mail: Aleksand@jinr.ru; Лаборатория информационных технологий; к.ф.-м.н.; начальник сектора.

Филозова Ирина Анатольевна – e-mail: fia@jinr.ru; Лаборатория информационных технологий; начальник группы.

Александров Евгений Игоревич – e-mail: Aleksand@jinr.ru; Лаборатория информационных технологий; научный сотрудник.

Gertsenberger Konstantin Viktorovich – Joint Institute for Nuclear Research; e-mail: gertsen@jinr.ru; 6, Joliot-Curie St, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia; phone: +74962165343; Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics; cand. of eng. sc.; head of group.

Chebotov Alexander Igorevich – e-mail: chebotov@jinr.ru; phone: +74962165343; Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics; software engineer.

Alexandrov Igor Nikolaevich – e-mail: Aleksand@jinr.ru; Laboratory of Information Technologies; cand. of phys.-math. sc.; head of sector.

Filozova Irina Anatolyevna – e-mail: fia@jinr.ru; Laboratory of Information Technologies; head of group.

Alexandrov Evgeny Igorevich – e-mail: alexand@jinr.ru; Laboratory of Information Technologies; researcher.