

УДК 004.057.7, 004.62, 004.63, 004.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

**Пряхина Дарья Игоревна¹, Кореньков Владимир Васильевич²,
Нечаевский Андрей Васильевич³, Ососков Геннадий Алексеевич⁴,
Трофимов Владимир Валентинович⁵**

¹Инженер-программист;

Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория информационных технологий;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6;

Ассистент;

ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,

Институт системного анализа и управления;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19;

e-mail: pryahinad@jinr.ru.

²Директор лаборатории;

Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория информационных технологий;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6;

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой РИВС;

ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,

Институт системного анализа и управления;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19;

e-mail: korenkov@jinr.ru.

³Ведущий программист;

Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория информационных технологий;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6;

e-mail: nechav@jinr.ru.

⁴Главный научный сотрудник;

Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория информационных технологий;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6;

Доктор физико-математических наук, профессор;

ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,

Институт системного анализа и управления;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19;

e-mail: ososkov@jinr.ru.

⁵Ведущий программист;

Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория информационных технологий;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6;

e-mail: tvv@jinr.ru.

В статье представлен обзор существующих и разрабатываемых в настоящее время методов моделирования центров хранения и обработки данных с учетом затрат на оборудование, электроснабжение, телекоммуникации и многое другое. Главной целью рассматриваемых методов и соответствующих программных средств является поиск оптимальной конфигурации необходимого оборудования для масштабирования центров с учетом экономических факторов. На основании результатов моделирования станет возможным оптимизировать расходы на организацию массовой обработки данных, которая стала необходима в связи с ростом вычислительных потребностей для обработки и хранения данных экспериментов во всех областях науки, в частности, физики высоких энергий. Рассмотрены средства стоимостного моделирования, разрабатываемые в ОИЯИ и CERN.

Ключевые слова: стоимостное моделирование, центр хранения и обработки данных, конфигурация оборудования.

SIMULATION OF DATA STORAGE AND PROCESSING CENTERS TAKING INTO ACCOUNT ECONOMIC COMPONENTS

Priakhina Daria¹, Korenkov Vladimir², Nechaevskiy Andrey³,
Ososkov Gennady⁴, Trofimov Vladimir⁵

¹Software engineer;

Joint institute for nuclear researches,

Laboratory of Information Technologies;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 6 Joliot-Curie st.;

Assistant;

Dubna State University,

Institute of system analysis and management;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;

e-mail: pryahinad@jinr.ru.

²Laboratory Director;

Joint institute for nuclear researches,

Laboratory of Information Technologies;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 6 Joliot-Curie st.;

Doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department;

Dubna State University,

Institute of system analysis and management;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;

e-mail: korenkov@jinr.ru.

³Lead programmer;

Joint institute for nuclear researches,

Laboratory of Information Technologies;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 6 Joliot-Curie st.;

e-mail: nechav@jinr.ru.

⁴Chief researcher;

Joint institute for nuclear researches,

Laboratory of Information Technologies;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 6 Joliot-Curie st.;

Doctor of physical and mathematical Sciences, Professor;

Dubna State University,

Institute of system analysis and management;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 19 Universitetskaya st.;

e-mail: ososkov@jinr.ru.

⁵Lead programmer;

Joint institute for nuclear researches,

Laboratory of Information Technologies;

Russia, 141980, Moscow reg., Dubna, 6 Joliot-Curie st.;

e-mail: tvv@jinr.ru.

The article presents an overview of existing and developing methods for simulation of storage and processing data centers, taking into account the cost of equipment, electricity, telecommunications and much more. The main purpose of these methods is to find the optimal configuration of the necessary equipment for the centers scale-up, taking into account economic factors. Based on simulation results, it will be possible to optimize the data processing costs. Such optimization is necessary due to the growing computational needs for processing and storage of experimental data in all fields of science, in particular, high energy physics. The cost models, which developed at JINR and CERN, are considered.

Keywords: cost modeling, storage and processing data center, equipment configuration.

Введение

В настоящее время очень активно обсуждается тематика создания центров хранения и обработки данных (ЦОД) в различных сферах деятельности человека.

Широкое применение ЦОД прослеживается в разных областях науки для хранения и обработки данных, проводимых экспериментов; в бизнесе для предоставления услуг ИТ-аутсорсинга; в государственных организациях для автоматизации внутренних процессов, например, документооборота; в системах безопасности городской среды, транспорта и промышленных предприятий для обеспечения сбора, хранения и анализа систем контроля доступа, видеонаблюдения и т.п.

ЦОД – это сложный комплекс, включающий в себя мощные вычислительные ресурсы; системы хранения данных; сетевое оборудование, отвечающее за обмен данными внутри ЦОД, а также за связь с внешними потребителями; инженерные системы; системы безопасности; системы мониторинга и прочее. Следовательно, появляется актуальная задача создания инструментов для предварительной оценки затрат на реализацию таких дорогостоящих и ресурсоемких проектов.

Попытки решить эту задачу начались достаточно давно и продолжаются по сегодняшний день. Данная статья включает в себя обзор существующих и разрабатываемых в настоящее время способов моделирования ЦОД с учетом затрат на оборудование, электроснабжение, телекоммуникации и многое другое.

1. Стоимостные модели отдельных компонент ЦОД

Прежде, чем приступить к разработке стоимостной модели для всего ЦОД, необходимо научиться рассчитывать стоимость отдельных входящих в него компонент. Так, например, одним из главных ресурсов ЦОД являются системы хранения данных.

В связи с постоянным ростом объемов данных существует проблема прогнозирования затрат на системы их хранения. Помимо, непосредственно, затрат на оборудование при подсчете общих вложений в систему хранения данных необходимо учитывать затраты на поддержку серверов и соответствующей инфраструктуры, обслуживание оборудования, лицензии на программное обеспечение, площадь помещений, коммунальные услуги и затраты на рабочую силу. В статье [1] описываются текущие оценки дискового и ленточного хранилищ, основанные на опыте работы суперкомпьютерного центра Сан-Диего, который управляет крупномасштабной инфраструктурой хранения. Эти оценки включают в себя все вышеперечисленные затраты. Например, по данным статьи о годовых затратах на ленточное хранилище, 20% от общих затрат составляет стоимость необходимого количества лент, 33% – прочие капитальные затраты, 22% – расходы на обслуживание и лицензию, 5% – стоимость помещений (коммунальные услуги) и 20% – оплата труда обслуживающего персонала. Также в статье приводится краткое описание прогнозирования стоимости дискового и ленточного хранилищ. Еще в качестве примера расчета стоимости проектирования и развития систем хранения данных можно привести статью [2], в которой описывается модель затрат для небольших автоматизированных цифровых архивов. В статье представлены подробные формулы для расчета затрат. Помимо этого, модель поддерживает детальный расчет расходов на ближайшее будущее и помогает выявить тенденцию затрат в среднесрочной и долгосрочной перспективе (например, 5, 10 или 20 лет). Первое апробирование модели показало возможность ее применения для задач малого бизнеса. Была рассмотрена задача построения архива для хранения общих офисных документов и изображений, а также не только сделана оценка стоимости создания такого архива, но и представлено прогнозирование расходов на долгосрочную перспективу.

Не менее важную роль в ЦОД играет сетевая инфраструктура. В статье [3] описана модель затрат, которая позволяет объективно оценить экономическую составляющую нескольких альтернативных технологий передачи данных.

Безусловно, можно приводить примеры моделей для расчета стоимости и других отдельных компонент ЦОД, но для оценки совокупной стоимости создания и владения ЦОД этого будет недостаточно. Поэтому далее представлен обзор существующих и разрабатываемых в настоящее время способов моделирования ЦОД с учетом затрат на оборудование, электроснабжение, телекоммуникации и многое другое.

2. Стоимостная модель компании Hewlett-Packard

Компания *Hewlett-Packard (HP)* в 2005 году опубликовала технический документ, где описана модель затрат, которая может быть использована при планировании, разработке и управлении центром обработки данных [4].

Основными строительными блоками, необходимыми для обеспечения работы ЦОД, по мнению компании *HP* являются физическое пространство, электроснабжение, включая питание оборудования и сетевую инфраструктуру, ресурсы охлаждения, а также дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с персоналом, лицензиями на программное обеспечение, амортизацией вычислительного оборудования и т.д. (1):

$$Cost_{total} = Cost_{space} + Cost_{power\ hardware} + Cost_{cooling} + Cost_{operation}. \quad (1)$$

В документе [4] подробно описан вывод всех формул для аналитического моделирования затрат и разобраны примеры. Здесь же приведены общие формулы (2)-(4) для подсчета затрат на физическое пространство, электроснабжение и ресурсы охлаждения, соответственно.

$$Cost_{space} = \frac{(NOI)(A_{data\ center})(\%Occupancy)}{Cap\ Rate}, \quad (2)$$

где NOI – чистый операционный доход в месяц, $A_{data\ center}$ – арендуемая площадь, $\%Occupancy$ – предположительный процент территории, где будет располагаться оборудование, $Cap\ Rate$ – ставка капитализации.

$$Cost_{power} = U_{grid}P_{consumed\ hardware} + K_1U_{grid}P_{consumed\ hardware}, \quad (3)$$

где U_{grid} – затраты на электроэнергию (МВт.ч) в течение одного месяца, $P_{consumed\ hardware}$ – МВт мощности, потребляемой оборудованием, K_1 – мера увеличения эффективной стоимости энергоснабжения за счет амортизации и расходов на техническое обслуживание, связанных с системой энергоснабжения.

$$Cost_{cooling} = (1 + K_2)L_1U_{grid}P_{consumed\ hardware}, \quad (4)$$

где U_{grid} – затраты на электроэнергию (МВт/ч) в течение одного месяца, $P_{consumed\ hardware}$ – МВт мощности, потребляемой оборудованием, K_2 – расходы на техническое обслуживание, связанных с охлаждающим оборудованием на единицу стоимости энергии, потребляемой охлаждающим оборудованием.

3. Регрессионная модель капитальных затрат

Не так давно, в 2016 году, в российском национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» было проведено исследование по оценке совокупной стоимости владения ЦОД [5], в процессе которого была разработана модель, позволяющая проводить предварительную оценку проекта создания ЦОД по двум показателям: площадь ЦОД и количество размещенных там стоек для хранения и обработки данных.

Ученые проследили динамику развития рынка ЦОД с 2011 по 2016 год (см. рис. 1), собрали данные о проектах строительства ЦОД в России, привели их к единой валюте и ценам одного года (с использованием индекса цен на оборудование, применяемого в строительстве).

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Стойки, тыс. ед.	15.9	18.7	23.1	28.7	34.5	42.2
Площадь, тыс. кв.м.	52.8	62.6	84.6	103.7	121.8	146.8
Кв. м. / стойка	3.3	3.3	3.7	3.6	3.5	3.5

Рис. 1. Динамика развития рынка ЦОД 2011-2016 гг.

Затем были построены регрессионные модели с разбивкой по проектам строительства ЦОД в Москве и в регионах (см. рис 2).

Расположение ЦОД	Москва	Регионы	Россия
Средняя стоимость строительства 1 кв. м. (совокупный CAPEX выборки / совокупное S)	19 686	22 890	22 291
Средняя стоимость строительства 1 стойки (совокупный CAPEX выборки / совокупное N)	62 080	85 400	80 407
Удельная стоимость строительства 1 кв. м. (регрессия)	22 612	26 586	22 136
Удельная стоимость строительства 1 стойки (регрессия)	73 616	95 935	78 751
Доверительный интервал – стоимость строительства 1 кв. м. (регрессия)	17 388 – 27 836	24 153 – 29 019	19 797 – 24 475
Доверительный интервал – стоимость строительства 1 стойки (регрессия)	59 201 – 88 031	93 366 – 98 502	71 994 – 85 508
Средняя площадь ЦОД	1 583	1041	1258
Среднее количество стоек ЦОД	509	242	349
Отклонение стоимости строительства 1 кв. м.	13%	14%	-1%
Отклонение стоимости строительства 1 стойки	16%	11%	-2%

Рис. 2. Географическая сегментация стоимости строительства ЦОД

После сравнения расчетов по модели с реальными данными, ученые сделали вывод о том, что модель достаточно адекватно описывает реальные данные, а также может использоваться как при оценке затрат на первоначальном этапе строительства, так и при оценке затрат на дальнейшее развитие ЦОД.

Например, оценить затраты на оплату потребляемой электроэнергии предлагается тоже с использованием регрессионной модели, в которой учитывается мощность ЦОД (мВт) и стоимость электроэнергии (\$/кВт.ч), учитывая, что по результатам исследований плата за электричество составляет примерно 30% от всех затрат.

4. Модель компании Uptime Institute

Ученые из *Uptime Institute* – всемирно известного центра сертификации дата-центров, представили аналогичную модель [6] для определения истинной общей стоимости строительства, владения и обслуживания дата-центров, фокусируясь на высокопроизводительных вычислениях (HPC), а также проанализировали, какой процент от общей стоимости занимают те или иные затраты (см. рис. 3).

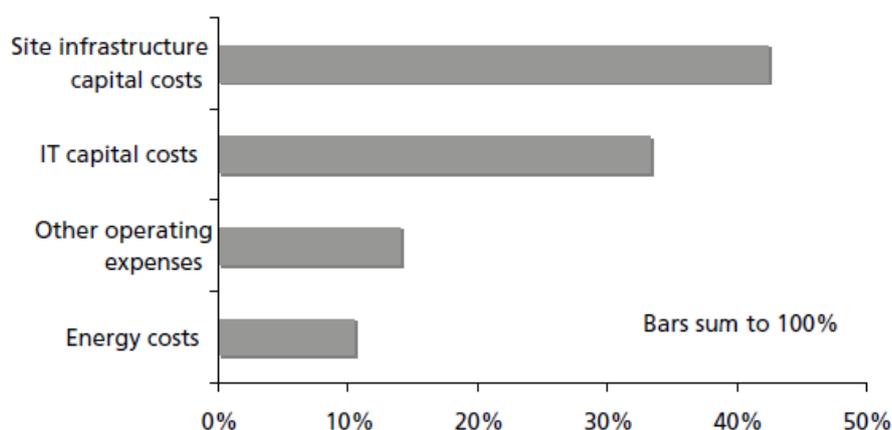


Рис. 3. Доли затрат от общей суммы на различные компоненты ЦОД

Рассматривая результаты российских и зарубежных исследований, можно отметить существенные различия в структуре затрат. Кроме того, все ЦОД отличаются друг от друга, поэтому еще не существует универсального инструмента, который точно рассчитывал бы денежные потоки, в том числе не существует какого-либо программного пакета, который бы моделировал отечественные ЦОД с учетом затрат на оборудование, электроснабжение, телекоммуникации и прочие.

5. Стоимостьная модель CERN

Ученые из Европейской организации по ядерным исследованиям *CERN* [7] активно работают над созданием программного продукта стоимостного моделирования ЦОД Большого адронного коллайдера (БАК) *WLCG* [8]. *WLCG* имеет распределенную структуру, что является его отличительной чертой от ЦОД, рассматриваемых в предыдущих главах.

Главной целью разработчиков программы моделирования является исследование различных возможностей оптимизации использования ИТ-ресурсов и затрат на них с учетом очень больших вычислительных потребностей сайтов *WLCG* на время предстоящих третьего и четвертого запусков БАК. Для успешной разработки такого продукта необходимо:

- иметь точную информацию о текущих нагрузках на оборудование и выявить критерии, которые лучше всего характеризуют нагрузку;
- получить информацию о степени использования ресурсов ЦОД;
- изучить эволюцию затрат на содержание сайтов;
- изучить будущие сценарии использования ресурсов, требования к вычислительным ресурсам и хранилищам данных, оценить возможности улучшения их эффективности.

В настоящее время идет процесс сбора необходимой информации от сайтов, участвующих в хранении и обработки данных экспериментов БАК. К такой информации относятся:

- вычислительные характеристики оборудования: общее количество вычислительных мощностей ($HS06^1$) и общий объем дисковых серверов и ленточных библиотек (ТБ), а также их эволюция за последние 5 лет;
- стоимость 1 $HS06$, 1 ТБ диска, 1 ТБ ленты;
- продолжительность жизни оборудования и время гарантии;
- дополнительные затраты на стойки, подключение оборудования, лицензии и прочее;
- сетевые затраты;
- затраты на электропитание.

Общая схема разрабатываемой программы моделирования *CERN* представлена на рисунке 4. [9] На первом этапе программа рассчитывает необходимое количество оборудования для хранения и обработки данных, основываясь на официальных оценках по характеристикам потоков данных, которые передаются от каждого из четырех экспериментов на БАК. Затем строится модель, предсказывающая, в каком количестве будут использоваться те или иные ресурсы. Для каждого сайта, участвующего в хранении и обработки данных экспериментов БАК, на основе переданной ими описанной выше информации, будет сделано предсказание о том, какое оборудование необходимо добавить и какой ожидается объем затрат.

¹ Единица производительности процессора

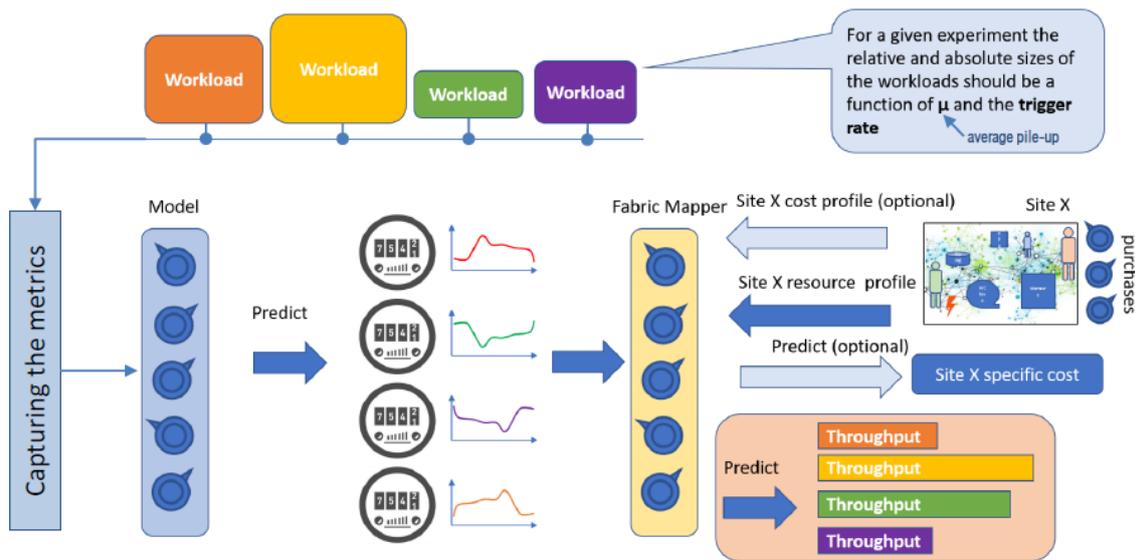


Рис. 4. Общая схема программы стоимостного моделирования CERN

6. Вероятностно-стоимостной подход к оптимизации распределенных систем хранения данных

В Лаборатории информационных технологий (ЛИТ) Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) реализована схема моделирования, рассматривающая процесс перемещения данных, как поток байтов, имеющий статистическую природу, без анализа отдельных частей этого потока. Для оценки различных конфигураций оборудования используется вероятностно-статистический подход, при котором определяются вероятности потерь информации, поступающей с детекторов для каждой из этих конфигураций, и выбирается та, для которой вероятность не превышает заданный предел, а цена минимальна.

Таким образом в ЛИТ ОИЯИ разработана, реализована и протестирована новая схема макро-моделирования, основанная на вероятностно-ценовом подходе, для оценки различных конфигураций оборудования. Первые результаты моделирования показали, как оптимизировать систему приема и хранения данных установки *VM@N* ускорительного комплекса *NICA* [10] путем добавления дополнительных потоков чтения. В настоящее время программа ориентирована только на анализ потерь при работе установок *B@MN* и *MPD* комплекса *NICA*, но в дальнейшем она будет доработана путем создания классов, которые позволят гибко менять топологию системы хранения данных. Также планируется апробирование параллельного расчета различных вариантов конфигураций оборудования, что позволит анализировать значительное количество вариантов.

Подробнее об описанном подходе к моделированию, структуре программы и проведенных экспериментов можно ознакомиться в статье [11].

Заключение

В статье представлен обзор некоторых существующих в настоящее время российских и зарубежных моделей, позволяющих проводить предварительную оценку как проекта создания всего ЦОД, так и отдельных его компонентов. Рассмотренные модели не позволяют точно рассчитывать денежные потоки при создании и развитии ЦОД, которые учитывали бы затраты на оборудование, электроснабжение, телекоммуникации и прочие. Также описаны средства стоимостного моделирования, разрабатываемые в настоящее время в ОИЯИ и CERN, главной целью которых является поиск оптимальной конфигурации необходимого оборудования для масштабирования центров с учетом экономических факторов. На основании результатов моделирования станет возможным оптимизировать расходы на организацию массовой обработки данных, которая стала необходима в связи с ростом вычислительных потребностей для обработки и хранения данных экспериментов во всех областях науки, в частности, физики высоких энергий.

Список литературы

1. Moore R.L., D'Aoust J., McDonald R.H., La Jolla D.M. Disk and tape storage cost models // Chronopolis. UC San Diego. – [Электронный ресурс]. URL: https://libraries.ucsd.edu/chronopolis/_files/publications/dt_cost.pdf.
2. Strodl S., Rauber A. A cost model for small scale automated digital preservation archives // Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPres 2011), 2011. – Pp. 97-106. – ISBN 978-981-07-0441-4. – [Электронный ресурс]. URL: https://www.sba-research.org/wp-content/uploads/publications/PubDat_202967.pdf.
3. Maina A.M., Kamau G.M. A Model for Estimating Network Infrastructure Costs: A Case for All-Fibre Networks // Network and Complex Systems, 2015. – Vol. 5. – No. 5. – ISSN 2225-0603. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/NCS/article/view/22822>.
4. Patel C.D., Shah A.J. Cost model for planning, development and operation of a data center // Internet Systems and Storage Laboratory – HP Laboratories Palo Alto. – 2005. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hpl.hp.com/techreports/2005/HPL-2005-107R1.pdf>.
5. Pirogova L.A., Grekoul V.I., Poklonov B.E. Estimated aggregate cost of ownership of a data processing center // Business Informatics, 2016. – №2 (36). – Pp. 32-40.
6. Koomey J., Brill K., Turner P., Taylor B. A simple model for determining true total cost of ownership for data centers. White paper. // Uptime Institute. – [Электронный ресурс]. URL: [https://www.missioncriticalmagazine.com/ext/resources/MC/Home/Files/PDFs/\(TUI3011B\)SimpleModelDeterminingTrueTCO.pdf](https://www.missioncriticalmagazine.com/ext/resources/MC/Home/Files/PDFs/(TUI3011B)SimpleModelDeterminingTrueTCO.pdf).
7. CERN. – [Электронный ресурс]. URL: <https://home.cern/>.
8. Welcome to the Worldwide LHC Computing Grid. – [Электронный ресурс]. URL: <http://wlcg.web.cern.ch/>.
9. Sciabà A., Molina J.F., Schulz M. Cost and system performance modelling in WLCG and HSF: an update. – [Электронный ресурс]. URL: <https://indico.cern.ch/event/730908/contributions/3148853/>.
10. NICA – Nuclotron-based Ion Collider fAcility. – [Электронный ресурс]. URL: <http://nica.jinr.ru/complex.php>.
11. Трофимов В.В., Нечаевский А.В., Ососков Г.А., Пряхина Д.И. Вероятностно-стоимостной подход к оптимизации распределенных систем хранения данных физических экспериментов // CEUR Workshop Proceedings, 2018. – Vol. 2267. – ISSN 1613-0073.