

УДК 004.38

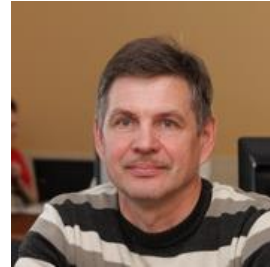
## КОНЦЕПЦИЯ ПРОРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СУПЕРКОМПЬЮТЕРА В РАМКАХ СТРАТЕГИИ «НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ 2018–2040»



**М.П. Батура**  
Ректор БГУИР, доктор технических наук, профессор



**С.К. Дик**  
Первый проректор БГУИР, кандидат физико-математических наук, доцент



**М.М. Татур**  
Профессор кафедры электронных вычислительных машин БГУИР, доктор технических наук, профессор



**В.А. Пархименко**  
Заведующий кафедрой экономики БГУИР, кандидат экономических наук, доцент



**К.Д. Яшин**  
Заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики БГУИР, кандидат технических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь  
E-mail: rector@bsuir.by, sdick@bsuir.by, tatur@bsuir.by, parkhimenko@bsuir.by, yashin@bsuir.by

**Аннотация.** В статье рассматривается концепция интеллектуального суперкомпьютера как одного из способов реализации «прорывных» технологий, заявленных в проекте Стратегии «Наука и технологии 2018-2040». В частности, раскрывается сущность понятия «интеллектуальный суперкомпьютер», анализируются возможные области его применения, формируется представление об архитектуре и математическом обеспечении, а также анализируются основные технико-экономические характеристики и ограничения.

**Ключевые слова:** суперкомпьютер, интеллектуальный анализ данных, искусственный интеллект, Big Data, всеобъемлющий Интернет, распознавание образов, машинное обучение.

**Введение.** На II съезде ученых Беларуси обсуждалась и была одобрена стратегия «Наука и технологии 2018–2040», в которой изложен стратегический подход к научно-технологическому развитию национальной экономики с целью ее максимальной интеграции в мировое инновационное пространство [1].

Одной из ключевых задач стратегии является «определение прорывных областей и возможных точек роста для научно-технической сферы исходя из сформированной специализации, накопленных компетенций и заделов белорусских ученых, а также глобальных трендов технологического развития» [1].

В стратегии декларирована модель развития экономики в перспективе до 2040 г. («Беларусь Интеллектуальная»), которая включает в себя три ключевых элемента [1].

1 «Беларусь–IT-страна». Полноформатное внедрение цифровых технологий, включая мощные централизованные и распределенные вычислительные ресурсы; программное обеспечение, основанное на системах искусственного интеллекта (машинное обучение); сетевые ресурсы нового поколения, объединяющие большие данные (Big Data). Создание общенационального кластера IT-компаний, формирование общегосударственной сети, объединяющей органы государственного управления, субъекты хозяйствования и конкретных потребителей.

2 «Новая Индустрия 2040». Развитый неоиндустриальный комплекс, характеризующийся широким применением систем искусственного интеллекта, роботизации, промышленным Интернетом и Интернетом вещей; суперкомпьютерной обработкой больших данных в целях оптимизации процесса производства и рыночного оборота.

3 «Общество Интеллекта 2040». Высокоинтеллектуальное общество, в котором потребности каждого человека гармонизированы с потребностями всего социума для максимизации общественных благ.

Цифровые технологии (согласно сущности и направленности элемента «Беларусь–IT-страна») призваны объединить массивы и потоки информации в единую систему получения, обработки, хранения, анализа и применения. Здесь приоритетными «прорывными» направлениями являются [1]: системы искусственного интеллекта; суперкомпьютеры и квантовые компьютеры, которые обеспечат работу с массивами больших данных; реализация концепции всеобъемлющего Интернета на основе Интернета вещей и индустриального Интернета.

Одними из числа важнейших направлений научных исследований IT-сфере являются [1] анализ больших массивов данных и извлечение знаний, включая новые методы и алгоритмы для сбора, хранения и интеллектуального анализа больших данных; разработка новых высокопроизводительных систем вычислений и хранения данных, включая новые алгоритмы для высокопараллельных вычислений, новые суперкомпьютерные технологии и приложения и т.п. Особое место занимают межотраслевые исследования и разработки, связанные с информационными технологиями (например, предсказательное и виртуальное имитационное моделирование) [1].

Согласно Стратегии, до 2040 г. в Беларуси должно быть обеспечено «повсеместное применение компьютерных технологий и интеллектуальных систем в производстве и социокультурной сфере, государственном управлении, обороне» [1], а «инициативы по интеллектуализации и цифровой индустриализации должны стать частью национальной идеи по развитию Беларуси ... доминирующим принципом интеллектуальной экономики Беларуси должно стать правило «Обгонять, не догоняя» [1].

Одной из таких инициатив является разработка интеллектуального суперкомпьютера, концептуальное видение которого рассмотрим по следующим ключевым элементам:

- рабочее определение понятия «интеллектуальный суперкомпьютер»;
- области применения;
- представление об архитектуре и математическом обеспечении;
- основные технико-экономические характеристики и ограничения.

*Основные положения концепции.* Рабочее определение. Интеллектуальный суперкомпьютер – это самостоятельная завершенная вычислительная система, предназначенная для сбора, хранения и интеллектуальной обработки больших массивов данных. «Завершенность» здесь означает, что система имеет собственную архитектуру и программно-аппаратную платформу, включая базовое математическое (алгоритмическое) обеспечение.

Концепция интеллектуального суперкомпьютера основывается на технологиях 1) суперкомпьютеров и параллельных вычислений; 2) искусственного интеллекта, распознавания образов, интеллектуального анализа данных и машинного обучения (Data Mining / Machine

Learning), 3) глобального сбора, хранения и обработки больших данных (Big Data) и всеобъемлющего Интернета (рисунок 1).

Области применения. Интеллектуальный суперкомпьютер – это унифицированная программно-аппаратная платформа, которая может быть применена в различных областях общественной жизни, в управлении экономикой, производством, образованием, силовыми ведомствами, в научных исследованиях, на различных уровнях: от предприятия (организации) до отрасли.

Специализация применения интеллектуального суперкомпьютера осуществляется прикладным программным обеспечением, реализующим модель решения конкретной прикладной задачи из конкретной прикладной области. Например, в сфере чрезвычайных ситуаций решаются такие прикладные задачи, как анализ данных о возникновении и распространении лесных пожаров для прогнозирования их возникновения, определение зависимостей от пространственно-временных, климатических и метеорологических факторов, поиск шаблонов для подозрительных или неизвестных причин пожаров в районе [2]. Свои специфические задачи для решения на базе интеллектуального суперкомпьютера сформулированы в медицинской диагностике [3], оценке психофизиологических характеристик водителей и операторов [4], криминалистике и судебной экспертизе [5], банковской сфере [6], области маркетинга, менеджмента и логистики [7], оценке реакции человека в условиях риска [8] и т.п.



Рисунок 1. Совокупность технологий, лежащих в основе концепции интеллектуального суперкомпьютера

Главное преимущество интеллектуального суперкомпьютера перед названными, образующими его, технологиями (см. рисунок 1) состоит в сокращении сроков и ресурсов по разработке, внедрению и сопровождению прикладных интеллектуальных систем.

Представление об архитектуре и математическом обеспечении. Интеллектуальный суперкомпьютер – это проблемно-ориентированная вычислительная машина, с соответствующей архитектурой [9, 10]. Высокоуровневая система команд интеллектуального суперкомпьютера обеспечивает эффективное решение задач интеллектуального анализа данных и семантической обработки знаний. Скоростные интерфейсы, хранилища данных и параллельные вычисления обеспечивают высокую производительность и работу с большими данными.

Базовое математическое (и соответственно, программное) обеспечение состоит из библиотек Data Mining & Knowledge Discovery и семантической обработки знаний и унифицировано для решения широкого круга прикладных задач. Вспомогательными функциями базового программного обеспечения являются прием, хранение и конвертация больших объемов данных, а также широкие возможности интеллектуального интерфейса и отображения информации. Обобщенная схема архитектуры интеллектуального суперкомпьютера представлена на рисунке 2.

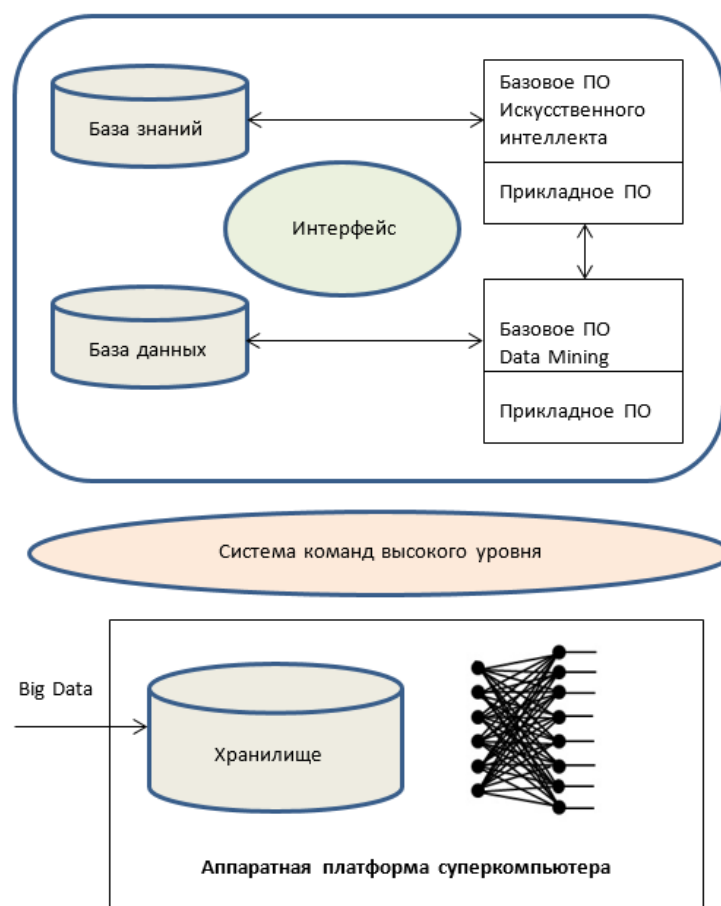


Рисунок 2. Обобщенная архитектура интеллектуального суперкомпьютера

Основные технико-экономические характеристики и ограничения. Из опыта оценки эффективности нейрокомпьютеров известно, что оценивать производительность в таких единицах, как флопс, оказалось некорректным и поэтому были предложены другие меры, например, такие, как число моделируемых синапсов (умножений со сложением), нейронов (то же плюс пороговая функция) в единицу времени. С учетом таких метрик уже простейшие эксперименты по моделированию нейронных сетей на параллельных компьютерах показывают, что закономерности Амдаля–Густафсона распространяются и на параллельную реализацию нейросетей, т. е. увеличение числа процессорных элементов не приводит к линейному росту производительности вычислений в целом.

Какую эффективность следует ожидать от интеллектуального суперкомпьютера? Чтобы ответить на этот вопрос, сначала укажем и прокомментируем параметры, которые определяют его эффективность: объем входных данных тестовой задачи, точность вычисления тестовой задачи, число процессорных элементов и время вычисления тестовой задачи. (Стоимость, естественно, является интегральным параметром, характеризующим эффективность вычислительных машин, однако в настоящей работе стоимость как параметр не рассматривается) [11].

Объем входных (обрабатываемых) данных для интеллектуального суперкомпьютера – это параметр, напрямую связанный с объемом семантической сети и/или числом образов в базе, числом классов, кластеров, размерностью пространства признаков. При концептуальном рассуждении абстрагируемся от влияния разрядности и форм представления данных в вычислительной машине на объем вычислений.

Точность вычислений (в нашем случае качество, достоверность принятия решений) – это величина, которая определяется содержимым базы знаний, математическим методом и ал-

горитмом вычислений, репрезентативностью обучающей выборки, критерием принятия решений и т. п. Для упрощения рассуждений абстрагируемся от влияния разрядности и форм представления данных в вычислительной машине на точность вычислений.

Число процессорных элементов характеризует напрямую потенциальную возможность распараллеливания вычислительного процесса, а косвенно, как было отмечено выше, – стоимость вычислительной системы.

Время вычисления тестовой задачи. В качестве тестовых задач рассматриваются задачи высокого уровня: ассоциативная выборка блока информации, поиск изоморфного графа в семантической сети и т.п. – для задач уровня искусственного интеллекта; кластеризация, классификация и т.п. – для задач интеллектуального анализа (Data Mining). Время вычисления определяется с момента подачи входных данных до получения результата. Этот параметр измеряется как в абсолютных величинах, так и в условных – модельных тактах. В первом случае на оценку влияют технические характеристики аппаратной платформы (тактовая частота процессора, время доступа к данным в оперативной памяти и др.), во втором случае – способ определения модельного времени.

Заметим, что производительность представлена не в гига- или терафлопс и не в кило-, мега-нейронах, а в типовых задачах интеллектуальной обработки данных в единицу времени. Влияние указанных параметров друг на друга характеризует эффективность интеллектуальных вычислений. Графики качественных зависимостей такого влияния для различных аппаратных платформ показаны на рисунке 3.

На рисунке 3А) изображен ожидаемый вид экспоненциальной зависимости, поскольку задачи интеллектуального анализа данных носят переборный характер. Однако характер наклона существенно изменяется в зависимости от того, насколько качественно выполнено распараллеливание алгоритмов применительно к конкретной аппаратной платформе или насколько удачно спроектирована архитектура проблемно-ориентированной машины. На рисунке 3Б) показано проявление закона Амдаля–Густафсона, согласно которому производительность параллельной машины не может возрасти линейно с увеличением числа процессорных элементов. Однако предлагаемая концепция к построению интеллектуальных суперкомпьютеров позволит значительно изменить наклон этой кривой (снизить в первом случае и повысить во втором). Для обоих графиков полагается, что другие существенные параметры (точность, объем данных или число процессорных элементов) принимаются постоянными. На рисунке 3 одноименные кривые образуют некоторый диапазон пространства, отмеченный пунктиром, в котором может проходить конкретная кривая, а ее реальное положение будет определено техническими характеристиками программно-аппаратной платформы.

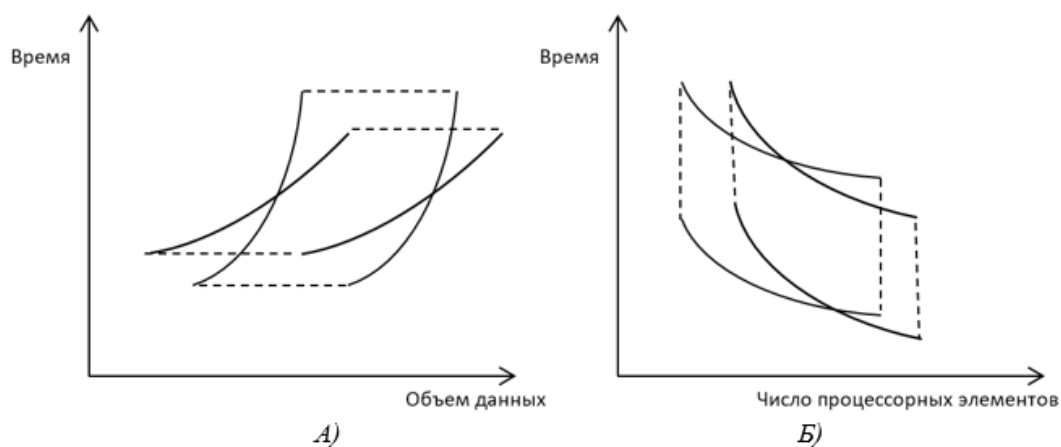


Рисунок 3. Зависимость времени решения прикладных задач на интеллектуальном суперкомпьютере в зависимости от объема данных и числа процессорных элементов

Важно отметить, что при реализации концепции интеллектуального суперкомпьютера в конкретные образцы технических решений в современных отечественных реалиях могут возникнуть следующие проблемы и ограничения: ограничения на элементную базу (аппаратную платформу); организационные проблемы, связанные с менеджментом масштабных наукоемких проектов.

*Заключение.* Технологии подобного уровня относятся к прорывным и по требованиям к организационным ресурсам выходят за рамки возможностей коллектива отдельно взятой кафедры, научной лаборатории или даже одной организации (НИИ, университета). Однако создание и опытная эксплуатация экспериментального образца возможна в рамках отдельной организации, обладающей необходимым потенциалом. Сроки создания экспериментального образца составят два года, стоимость разработки сопоставима с аналогичными проектами (например, «СКИФ»).

Одной из таких организаций в Республике Беларусь является БГУИР, в котором за последние десять лет накоплен научный задел, имеется кадровый и материально-технический ресурсы [12], необходимые для создания экспериментального образца интеллектуального суперкомпьютера. Не претендуя на глубину текущего анализа, отметим лишь некоторые факты такого положения дел.

Так, в БГУИР активно работает научная школа в области искусственного интеллекта. Результаты внедряются в реальный сектор экономики, защищаются научные диссертации. Область компетенций: создание и управление базами знаний, решение интеллектуальных задач с применением баз знаний. Ярким свидетельством признания достижений школы научной общественностью является регулярная международная научная конференция OSTIS (Открытые семантические технологии и системы).

В БГУИР создана и функционирует лаборатория высокопроизводительных вычислений, имеется реальная аппаратная платформа в виде вычислительного кластера NVIDIA. Область компетенций: распознавание образов, интеллектуальные системы технического зрения, обработка и распознавание звуков, создание высокопроизводительных проблемно-ориентированных процессоров. В рамках Государственной программы научных исследований «Информатика, космос» с 2016 выполняется НИР «Разработка интеллектуальной вычислительной системы обработки больших объемов данных». Международный уровень научных работ подтверждается регулярной организацией конференций серии PRIP (Pattern Recognition and Information Processing).

Для БГУИР важным достижением последних лет является ежегодное проведение Международной научно-практической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics».

В научно-исследовательской части БГУИР в виде отдельных исследовательских проектов накоплен массив информации и данных, а также научно-исследовательских решений отдельных проблем. Таким образом, указанные структурные подразделения могли бы решать свои прикладные задачи, выступая как заказчики на вычислительные мощности интеллектуального суперкомпьютера.

Следует отметить и отношения БГУИР с другими организациями и научными коллективами. В частности, тесную связь с БГУИР поддерживают известные в данной области ученые из других научных и образовательных учреждений Республики Беларусь: Брестский государственный технический университет, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Белорусский государственный университет, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси и др.

Схема анализа научного задела БГУИР и сотрудничества в рамках концепции интеллектуального суперкомпьютера представлена на рисунке 4.

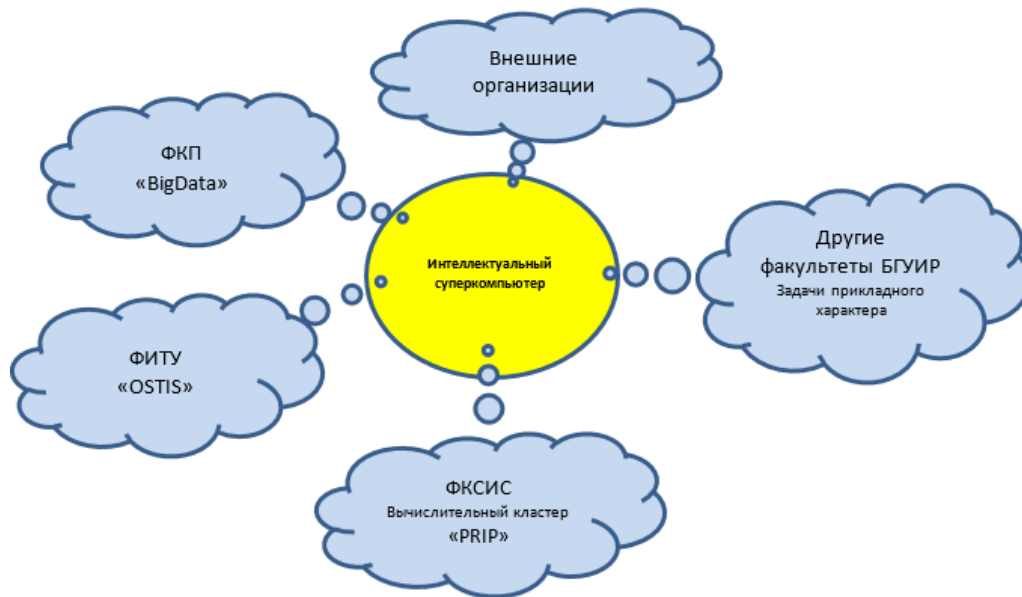


Рисунок 4. Схематическая визуализация предварительного анализа научного задела БГУИР и возможной схемы сотрудничества в рамках концепции интеллектуального суперкомпьютера

Концепция интеллектуального суперкомпьютера и целесообразность ее опытной реализации предлагается для всестороннего обсуждения. Концепция интеллектуального суперкомпьютера в полной мере соответствует содержанию и духу Стратегии «Наука и технологии 2018–2040» и ее реализация будет способствовать цифровой трансформации и интеллектуализации национальной экономики.

#### Список литературы

- [1]. Проект Стратегии «Наука и технологии 2018–2040» [Электронный ресурс]. – НАН РБ. – Минск, 2017. – Режим доступа: [http://nasb.gov.by/congress2/strategy\\_2018-2040.pdf](http://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf)
- [2]. Татур М.М., Проровский В.М. Перспективы применения технологий Data Mining и Knowledge Discovery в деятельности МЧС Республики Беларусь // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – №1. – С. 64–69.
- [3]. Осипович В.С., Быков А.А., Лихачевский Д.В., Яшин К.Д. Визуализация клеточного материала в селективной медицинской диагностике с обработкой изображений по технологии Big Data // BIG DATA and Predictive Analytics. Использование BIG DATA для оптимизации бизнеса и информационных технологий : сборник материалов международной научно-практической конференции / редкол. : М. П. Батура [и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 171-180
- [4]. Камкичёва Н.В., Розум Г.А., Савченко В.В., Щербина Н.В., Яшин К.Д. Технологии больших данных в работе с психофизиологическими характеристиками персонала железных дорог и водителей автомобильного транспорта // BIG DATA and Advanced Analytics: collection of materials of the third international scientific and practical conference. (Minsk, Belarus, May 3 – 4, 2017) / editorial board : M. Batura [etc.]. – Minsk : BSUIR, 2017. – С. 207 – 215.
- [5]. Нефёдов С.Н., Пархименко В.А., Татур М.М. Применение методов интеллектуального анализа данных в криминалистике и судебной экспертизе // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. – 2017. – №2. – С. 59–68.
- [6]. Dzik S., Mohammed, F.; Baltunou, D. Big data in banking // BIG DATA and Predictive Analytics. Использование BIG DATA для оптимизации бизнеса и информационных технологий : сборник материалов международной научно-практической конференции / редкол. : М. П. Батура [и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 144-149.
- [7]. Пархименко В.А., Татур М.М., Живицкая Е.Н. Технологии Data Mining & Knowledge Discovery в принятии решений в области маркетинга, менеджмента и логистики // Сучасні проблеми і



досягнення в галузі радіотехніки, теле- комунікацій та інформаційних технологій : тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції (21–23 вересня 2016 р., м. Запоріжжя). – Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. – С. 326–329.

[8]. Раднёнко, А. Л.; Осипович, В. С.; Шупейко, И. Г.; Яшин, К. Д. Предобработка больших экспериментальных данных метода оценки человека в условиях риска / А. Л. Раднёнко и другие // BIG DATA and Advanced Analytics: collection of materials of the third international scientific and practical conference. (Minsk, Belarus, May 3 – 4, 2017) / editorial board : М. Batura [etc.]. – Minsk : BSUIR, 2017. – С. 268–271.

[9]. Вереник Н.Л., Татур М.М., Сейткулов Е.Н. Реализация графодинамической машины на вычислительном кластере и ее интеграция в интеллектуальную систему // Штучний інтелект. – 2015. – № 3–4. – С. 71–82.

[10]. Татур М.М. Моделирование архитектуры графодинамической машины на базе вычислительного кластера // Доклады БГУИР. – 2015. – № 4 (90). – С. 93–97.

[11]. Татур М.М. Особенности построения вычислителей интеллектуальной обработки данных // Информатика. – 2015. – №1. – С. 39–44.

[12]. Батура М. П., Дик, С. К.; Живицкая, Е. Н.; Цырельчук, И. Н.; Комличенко, В. Н.; Унучек, Е. Н.; Унучек, Т. М. Big Data и Predictive Analytics в процессах интеграции ВУЗа и предприятий реального сектора экономики // BIG DATA and Advanced Analytics. Использование BIG DATA для оптимизации бизнеса и информационных технологий : сборник материалов II международной научно-практической конференции; Минск, 15-17 июня 2016 г. / редкол. : М. П. Батура [и др.]. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 160 – 166.

## THE CONCEPT OF INTELLECTUAL SUPERCOMPUTER AS THE IMPLEMENTATION OF ONE OF «BREAKTHROUGH» TECHNOLOGIES WITHIN THE FRAMEWORK OF STRATEGY «SCIENCE AND TECHNOLOGY 2018-2040»

**M. BATURA,**

*Doctor of Engineering Sciences  
Rector BSUIR, Full Professor, Member  
of the International Higher Education  
Academy of Sciences, Honored Worker  
of Education of the Republic of Belarus*

**S. DZIK, PhD**

*First BSUIR vice-rector, as-  
sociate professor*

**M. TATUR,**

*Doctor of Engineering Sciences  
BSUIR Computer Machines  
Department Professor, full  
professor*

**V. PARHIMENKO PhD**

*Head Economics Department  
BSUIR, Associate professor*

**K. YASHIN, PhD**

*Head Engineering Psychology and  
Ergonomics Department BSUIR,  
Associate professor*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus*

*E-mail: rector@bsuir.by, sdick@bsuir.by, tatur@bsuir.by, parkhimenko@bsuir.by, yashin@bsuir.by*

**Abstract.** The article proposes the concept of an intellectual supercomputer as one of the ways to implement «breakthrough» technologies announced in the draft Strategy «Science and Technology 2018-2040». In particular, the essence of the concept of «intellectual supercomputer» is disclosed, possible areas of its application are analyzed, an idea about architecture and software package is formed, basic technical and economic characteristics and constraints are analyzed.

**Key words:** supercomputer, data mining, artificial intelligence, Big Data, Internet of Everything, pattern recognition, machine learning.