

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Морозов В.П., д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО ВГТУ

Белоусов В.Е., канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВО ВГТУ

Моисеев С.И., канд. ф-м. наук, доц., ФГБОУ ВО ВГТУ

В статье предложено расширенное определение понятия «компьютерное зрение», в рамках которого основополагающую роль играет не отдельно взятый персональный компьютер, как это сформулировано в классическом определении, а информационная система, включающая его и другие компоненты (специальное математическое обеспечение, программное обеспечение, техническое обеспечение, персонал и др.). Приведены основные перспективные направления исследований в области компьютерного зрения в России. Представлена обобщенная модульная структура технологии компьютерного зрения, представляющая собой выполнение определенной последовательности действий (этапов) с визуальной информацией, для достижения поставленных целей. Показано, что центральное место в данной технологии занимает этап, в рамках которого решается задача распознавания образов. В ряде случаев решение данной задачи без интеллектуальной обработки данных, инструментами которой являются сверточные нейронные сети, глубокое машинное обучение, эволюционные алгоритмы и др., не представляется возможным. Приведены основные сферы применения компьютерного зрения. Отмечена значительная роль компьютерного зрения в промышленности, в которой, в силу исторических причин, его название трансформировалось в машинное (техническое) зрение. Сформулированы требования, предъявляемые к комплексам технических средств для систем компьютерного зрения. На примере систем машинного зрения приведено обоснование состава комплексов технических средств, различающихся различными уровнями быстродействия (невысоким, средним, высоким, высшим), используемых для решения разнородных практических задач. Показано, что для систем с невысоким и средним быстродействием целесообразно использовать профессиональные персональные компьютеры. В системах с высоким быстродействием необходимо использовать более мощные промышленные компьютеры, а в системах с высшим быстродействием следует использовать кластерные суперкомпьютеры.

Ключевые слова: информационная система, компьютерное зрение, техническое обеспечение, технология.

ВВЕДЕНИЕ

Для функционирования информационной системы (ИС), наряду с программным, информационным и другими видами обеспечения, требуется определенный комплекс технических средств (КТС), представляющий собой ее (ИС) техническое обеспечение (ТО). В состав КТС, который зависит от целевого назначения ИС, могут входить: персональные компьютеры (ПК), средства ввода-вывода информации, периферийные устройства и др. [1]. Целевое назначение ИС, которые рассматриваются в данной статье, заключается в обеспечении функционирования систем компьютерного зрения (СКЗ). Разработка и исследование СКЗ проводится в рамках искусственного интеллекта (ИИ) – одного из перспективных высокотех-

нологических направлений развития в России [2]. Проведение разработок в области СКЗ предполагает наличие определенного КТС, выбор которого является важной и нетривиальной задачей, как для начинающих ученых и организаций (в интересах оценки стоимости первичных стартапов), так и для более продвинутых исследователей (в интересах оценки стоимости оборудования при постановке новых задач в этой предметной области). Поэтому выбор ТО для ИС, обеспечивающих проведение разработок в области СКЗ, которому посвящена данная статья, является актуальным. Важным фактором, усиливающим актуальность данной проблематики, является беспрецедентное санкционное давление на нашу страну. Последнее привело к резкому сокращению импорта ПК, комплектующих и периферийного оборудования (виде-

окамер, датчиков движения и др.) из зарубежных стран (США, Японии, Южной Кореи и др.), являющихся передовыми мировыми производителями этих технических средств. Кроме того, в силу ряда причин (пандемии, санкций и др.) существенно сократились поставки подобных технических средств из КНР. В этих условиях необходимо рассчитывать на свои силы – производственные мощности и возможности отечественных производителей (российских, белорусских и стран СНГ). Поэтому выбор ТО для ИС, обеспечивающих проведение разработок в области СКЗ, должен проводиться весьма тщательно и обосновано.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

В научной литературе приводится множество определений понятия «компьютерного зрения» (КЗ), в которых в роли средства реализации КЗ выступает отдельно взятый ПК [2–4]. На практике технология КЗ реализуется ИС, которая включает в свой состав: специальное-математическое обеспечение, программное обеспечение, ТО и персонал, объединенных в интересах работы с изображениями. Поэтому понятие КЗ целесообразно рассматривать в расширенном понимании, как набор специальных моделей, методов, алгоритмов, программных решений и КТС, позволяющих ИС воспринимать, обрабатывать и интерпретировать отдельные изображения и их множество (видеопоток).

В функциональном отношении ИС должна уметь работать с изображениями так, как работает с ними человек. В первом приближении можно считать, что ИС обладает (выполняет функции) КЗ в том случае, если результат ее действий эквивалентен функциям глаз человека. Однако более глубокое изучение зрительного процесса человека показывает, что его глаза, несмотря на их чрезвычайно сложное устройство, выступают лишь в качестве умных датчиков. Полный зрительный процесс реализуется путем взаимодействия глаз человека, его головного мозга и других структур центральной нервной системы [5]. Данный процесс для человека является одним из наиболее сложных и ресурсоемких (около 25% нейронов головного мозга задействованы в данном процессе). Тем не менее результаты данного процесса обеспечивают человеку наибольшую информативность об окружающей обстановке без какого-либо непосредственного взаимодействия с ней [6].

Природная физиологическая сложность зрительного процесса человека приводит к значительным трудностям его моделирования и технологической реализации на практике. Поэтому в настоящее время полноценной СКЗ эквивалентной полному функционалу человеческого зрения не создано. В процессе многолетних и многочисленных наработок в данной области сформировались общие отдельные перспективные направления исследований, представленные на рис. 1 [2].



Рис. 1. Перспективные направления исследований в области КЗ

Данные направления различаются целевым назначением, объектами и субъектами исследований, используемыми моделями, методами, алгоритмами и др.

Общим у этих направлений являются: некоторые элементы КТС (например, ПК, видеокамеры, датчики и др.), единая цифровая платформа исходных данных (изображений, видеопотоков), технологии хранения данных (облачные технологии, хранилища данных) и др.

Однако в наибольшей степени объединяет данные направления общая технология компьютерного зрения (ТКЗ), представляющая собой выполнение определенной последовательности (этапов) действий с визуальной информацией, для достижения поставленных целей.

Модульная структура ТКЗ приведена на рис. 2.

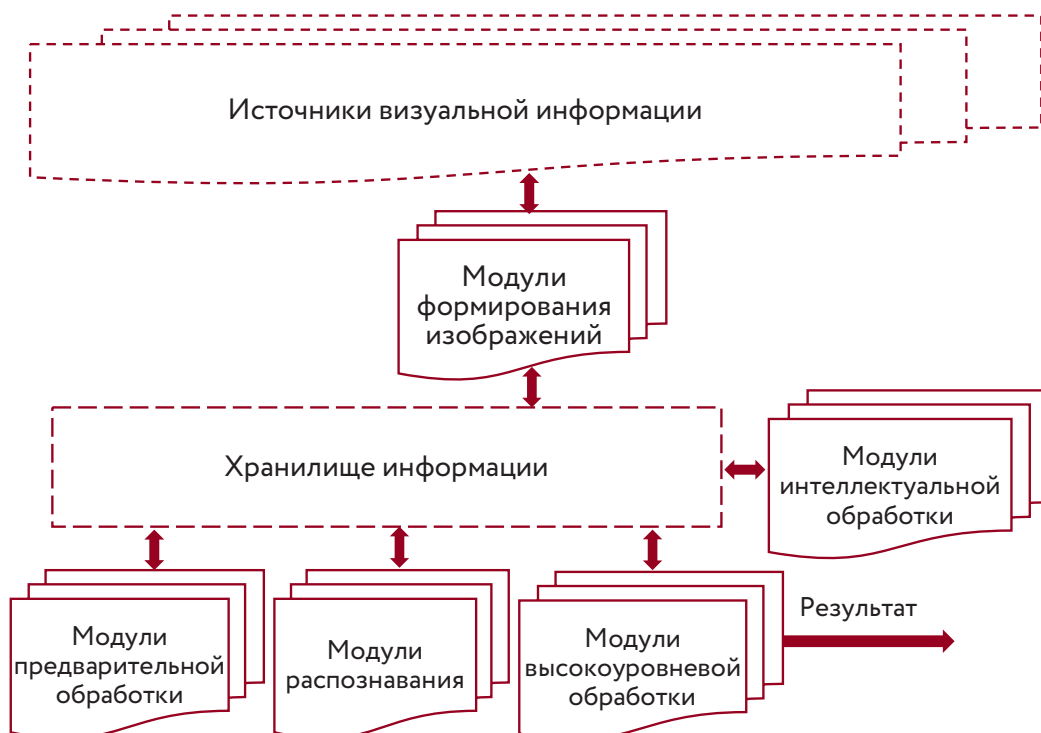


Рис. 2. Модульная структура ТКЗ

На первом этапе ТКЗ осуществляется прием визуальной информации от источников (различных датчиков), ее преобразование в цифровой вид с помощью модулей формирования изображений и запись в хранилище информации (ХИ). В качестве информационных датчиков могут использоваться видеокамеры, радары и др. В ХИ содержатся исходные изображения в цифровой форме, результаты промежуточных вычислений (преобразованные изображения) и др.

Содержанием второго этапа данной технологии является предварительная обработка информации, реализуемая соответствующими модулями. Она необходима для того, чтобы подготовить данные до состояния, которое удовлетворяет условиям их дальнейшей обработки (например, снижение уровня шума, повышение контрастности и др.) на следующем этапе ТКЗ.

Задача распознавания образов занимает центральное место в ТКЗ (является ядром) и решается на третьем этапе в приведенной структуре ее (ТКЗ) реализации. Суть данной задачи заключается в определении на ис-

ходном изображении различных объектов, деталей, областей и др., для последующей их высокоуровневой обработки в соответствии с заданной целью. В интересах совершенствования процесса распознавания образов могут использоваться различные методы обработки изображений (например, детектирование, сегментация и др.) [3].

На четвертом (завершающем) этапе ТКЗ осуществляется высокоуровневая обработка изображений в соответствии с заданной целью. На этом этапе могут решаться такие задачи, как: измерение параметров выделенных объектов, выбор объектов в соответствии с заданными критериями, определение местоположения объектов и др.

Особое место в ТКЗ занимает интеллектуальная обработка данных, реализуемая соответствующими модулями. Она может проводиться на всех этапах ТКЗ. В качестве инструментов ее реализации могут выступать: сверточные нейронные сети, глубокие остаточные сети, эволюционные алгоритмы и др. [7].



Рис. 3. Основные сферы применения КЗ

Представленная модульная структура ТКЗ носит условный характер. На практике, в зависимости от поставленных целей и сферы применения КЗ, некоторые ее этапы могут быть объединены или отсутствовать.

На рис. 3 представлены основные сферы применения КЗ.

В приведенных сферах применения КЗ решаются задачи, которые различаются по степени сложности, по условиям, предъявляемым к процессам их решения и получаемым результатам. Это безусловно накладывает отпечаток на требования, предъявляемые к КТС, используемому для их решения. В рамках решения каждой задачи должен использоваться оптимальный КТС, обеспечивающий соблюдение требований, предъявляемых к процессу ее решения и полученным результатам (по быстродействию, по точности, по объему хранимых данных и др.).

Ограничительным фактором в выборе КТС выступает его стоимость. В большинстве случаев сумма, выделяемая на покупку КТС, ограничена. Один из вариантов поиска компромиссного решения заключается в жертвовании определенных (второстепенных) функциональных опций разрабатываемой системы КЗ в угоду покупке более дешевого комплекта КТС. Суть второго заключается в выделении суммы на покупку КТС, превышающую на 10-15 % номинальную. Номинальной считается такая сумма КТС, конфигурация которого позволяет в полном объеме реализовать требуемые функциональные возможности разрабатываемой СКЗ. Второй вариант является более предпочтительным поскольку в случае возникшей необходимости увеличения функционала СКЗ, он позволяет его реализовать, в отличие от первого, в соответствии с которым потребуются закупка нового оборудования с более высокими техническими характеристиками.

В итоге затраты на закупку оборудования в данном случае могут быть гораздо меньшими (почти в 2 раза).

Практика применения КТС для любой СКЗ показывает, что он должен быть высокопроизводительным (обеспечивать требуемую оперативность решаемых задач), надежным (среднее время наработки на отказ должно быть более 100 тыс. часов [8]) и гибким (должна быть обеспечена возможность реконfigurирования оборудования за заданное время для решения новых задач).

Рассмотрим структуру КТС, удовлетворяющего данным требованиям.

Применительно к системам машинного зрения (СМЗ), представляющим собой основу реализации СКЗ в промышленности, для решения задач с невысоким уровнем быстродействия, могут применяться профессиональные персональные компьютеры (ППК).

В табл. 1 в качестве примера приведены технические характеристики ППК, требуемые для реализации СМЗ проверки и калибровки измерительных индикаторных приборов, у которых отсутствуют цифровые интерфейсные шины, что обуславливает необходимость непосредственного считывания данных с их экранов. Для автоматизации данного процесса (считывания данных) и используется СМЗ. При работе системы значительная доля нагрузки обработки визуальной информации возлагается на графический процессор. Последний может быть интегрирован в материнскую плату ППК, либо быть автономным – в виде отдельной видеокарты (графического ускорителя). В данной системе может использоваться интегрированный графический процессор, что удешевляет общую стоимость ППК, величина которой составляет около 80 000 руб.

Таблица 1

Технические характеристики ППК, требуемые для реализации СМЗ поверки и калибровки измерительных индикаторных приборов

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	ЗНАЧЕНИЕ
1. Тип процессора	Core i5 и выше
2. Объем оперативной памяти	8 Гбайт
3. Тип оперативной памяти	DDR4
4. Объем жесткого диска (HDD)	2 Тбайт
5. Тип операционной системы	Windows 7 и выше; Linux
6. Поддержка USB 3.0	(не менее 3 портов)
7. Тип графического процессора	Интегрированный
8. Ориентировочная стоимость	80 000 руб.

Для решения задач СМЗ среднего уровня быстродействия (например, контроль товарных этикеток, контроль диаметра гайки и др.), могут применяться промышленные компьютеры (ПРК), функционирующие на стандартных шинах PCI и PCIe [9, 10]. Они способны обеспечить быстродействие до 5–10 Гфлопс. Технические характеристики ПРК, для решения задач СМЗ данного уровня приведены в табл. 2.

В интересах решения задач СМЗ в режиме реального времени (например, отслеживание местоположения объектов, беспилотная навигация и др.) используют ПРК, функционирующие на шинах стандартов CompaqPC и PXI, способных достичь быстродействия превышающего 50 Гфлопс. Технические характеристики ПРК, для решения задач СМЗ высокого уровня быстродействия приведены в табл. 3.

В интересах решения задач СМЗ в режиме реального времени (например, отслеживание местоположения объектов, беспилотная навигация и др.) используют ПРК, функционирующие на шинах стандартов CompaqPC и PXI, способных достичь быстродействия превышающего 50 Гфлопс. Технические характеристики ПРК, для решения задач СМЗ высокого уровня быстродействия приведены в табл. 3.

В интересах построения СКЗ предназначенных для решения научных и инженерных задач, связанных с высокопроизводительными вычислениями (например, исследо-

Таблица 2

Технические характеристики ПРК, используемого для СМЗ среднего уровня быстродействия

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	ЗНАЧЕНИЕ
1. Тип процессора	Core i7 и выше
2. Объем оперативной памяти	16 Гбайт
3. Тип оперативной памяти	DDR4
4. Объем жесткого диска (HDD)	2 Тбайт
5. Тип операционной системы	Windows 10 и выше; Linux
6. Поддержка USB 3.0	(не менее 5 портов)
7. Тип графического процессора	Интегрированный
8. Ориентировочная стоимость	110 000 руб.

вание нейросетевых структур в задачах распознавания образов, реализация роевых и эволюционных алгоритмов для анализа сцен и др.), применяются мейнфреймы и суперкомпьютеры [11, 12]. Системы, построенные на таком оборудовании, способны обеспечить быстродействие, превышающее несколько Пфлопс. На практике предпочтение отдают суперкомпьютерам в силу их достоинств, таких как: более низкая стоимость, поскольку для построения кластера могут использоваться стандартные (массовые) серверные ПК; возможность организации распределенных систем; гибкость; масштабируемость; возможность проведения нецелочисленных операций и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на выбор ТО для СКЗ существенное влияние оказывают: целевое назначение и сферы применения разрабатываемых систем, виды решаемых задач, объемы обрабатываемых данных, технологии хранения данных, используемое специальное математическое и программное обеспечение (методы, модели, алгоритмы и программы), финансовые возможности.

Для решения задач с невысоким уровнем быстродействия (до 1 Гфлопс), могут применяться массовые ППК с интегрированными графическими процессорами, стоимость которых (ППК) находится в пределах 80 000 руб.

Технические характеристики ПК,
используемого для СМЗ
высокого уровня быстродействия

Таблица 3

Для систем со средним уровнем быстродействия (5–10 Гфлопс) потребуются ПК с процессорами с более высокой тактовой частотой и удвоенным объемом оперативной памяти. Стоимость таких ПК составит более 110 000 руб.

Системы реального времени с уровнем быстродействия более 50 Гфлопс базируются на ПК с мощными процессорами серий Core i9 и выше, оперативной памятью 64 Гбайт и автономными графическими ускорителями типа GeForce GTX 1660 Ti EVO. Их стоимость превышает 220 000 руб.

Наиболее высокопроизводительные системы с уровнем быстродействия в несколько Пфлопс используются для решения научных и инженерных задач, связанных с высокопроизводительными вычислениями. Для их реализации используются мейнфреймы и суперкомпьютеры. Причем в силу своих характеристик последние предпочтительны. Стоимость таких систем исчисляется миллионами рублей.

Проведенный анализ технического обеспечения информационных систем компьютерного зрения ориентирует конструктора таких систем в их видах, требуемой технической оснащенности и первичной стоимости, что является полезным в его практической деятельности.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	ЗНАЧЕНИЕ
1. Тип процессора	Core i9 и выше
2. Объем оперативной памяти	64 Гбайт
3. Тип оперативной памяти	DDR4
4. Объем жесткого диска (HDD)	2x4 Тбайт RAID-массив
5. Тип операционной системы	Windows 10 и выше; Linux
6. Поддержка USB 3.0	(не менее 10 портов)
7. Тип графического процессора	Автономный ASUS TUF Gaming GeForce GTX 1660 Ti EVO
8. Ориентировочная стоимость	220 000 руб.

Список использованных источников и литературы

- ГОСТ 34.003–90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. – Введ. 01.01.1992. – М.: Стандартинформ, 2009.
- Развитие отдельных высокотехнологичных направлений. Белая книга. – М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2022. 188 с.
- Потапов А.С. Системы компьютерного зрения. – СПб: Университет ИТМО, 2016. 161 с.
- Крейман Г. Биологическое и компьютерное зрение. – М.: ДМК Пресс, 2022. 314 с.
- Кубарко А.И., Кубарко Н.П. Зрение (нейрофизиологические и нейроофтальмологические аспекты). – Минск: БГМУ, 2007. 210 с.
- Клетте Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы. – М.: ДМК Пресс, 2019. 506 с.
- Гафаров Ф.М., Галимянов А.Ф. Искусственные нейронные сети и приложения. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. 121 с.
- Гиясов Б.И., Серегин Н.Г., Серегин Д.Н., Беляков В.А. Стендовые ускоренные испытания технических систем на надежность. – М.: Издательство АСВ, 2017. 74 с.
- Гук М.Ю. Шины PCI, USB и FireWire. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2005. 540 с.
- Эд Доуринг. Основы машинного зрения NI myRIO. National Technology and Science Press, 2015. 166 с.
- Эбберс М., Бирн Ф., Гонзалес Адрадор П. Основы современных мейнфреймов. Организация крупномасштабных коммерческих вычислений. – М.: Международная организация технической поддержки, 2007. 212 с.
- Малаякко А.А., Менжулин С.А. Суперкомпьютеры и системы. Построение вычислительных кластеров. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2018. 96 с.

TECHNICAL SUPPORT OF INFORMATION SYSTEMS

COMPUTER VISION

Morozov V.P., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Voronezh State Technical University

Belousov V.E., Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Voronezh State Technical University

Moiseev S.I., Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Voronezh State Technical University

This article is devoted to justifying the choice of personal computers for computer vision information systems. Scientists and organizations face a solution to such a problem at the initial stage of research in this direction or when changing the tasks being solved in it. At the initial stage of solving this problem, it is necessary to clarify the definition of the concept of computer vision. In its classical wording, there is only one personal computer that must be taught to see in the way that a person does. In practice, a whole information system is involved in this process, which consists of a personal computer, other technical means (sensors), various types of support (mathematical, software, etc.) and personnel. After clarifying the classical definition of computer vision, identifying promising areas of research in this field in Russia and presenting it in the form of a modular structure of computer vision technology, the main requirements for the computers used in it are formulated. These include performance, reliability, flexibility and cost. It has been established that in the practice of computer vision there are tasks that require computers of four levels of performance: low, medium, high and high. A low level of performance (up to 1 Gflops) can be provided by a professional personal computer worth 80,000 rubles. with a Core i5 processor and 8 GB of RAM. The average level of performance (5-10 Gflops) can be provided by an industrial computer worth 110,000 rubles. with a Core i7 processor and 8 GB of RAM. A high level of performance (more than 50 Gflops) can be provided by an industrial computer worth 220,000 rubles. with a Core i9 processor and 64 GB of RAM. with an external graphics processor such as the GeForce GTX 1660 Ti EVO. To provide the highest level of performance (several Pflops), a cluster-type supercomputer worth several million rubles is required. Computer vision systems based on supercomputers are designed to solve scientific and engineering problems related to high-performance computing. The analysis of the technical support of computer vision information systems orients the designer of such systems in their types, the required technical equipment and primary cost, which is useful in his practical activities.

Keywords: information system, computer vision, technical support, technology.

References

1. GOST 34.003-90 Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and definitions. – M.: Standartinform, 2009.
2. Razvitie otchel'nykh vysokotekhnologichnykh napravlenii. Belaya kniga. – M.: Natsional'nyi issledovatel'skii universitet «Vysshaya shkola ehkonomiki», 2022. – 188 p.
3. Potapov A.S. Sistemy komp'yuternogo zreniya. – SPb: Universitet ITMO, 2016. – 161 p.
4. Kreiman G. Biologicheskoe i komp'yuternoe zrenie. – M.: DMK Press, 2022. – 314 p.
5. Kubarko A.I., Kubarko N.P. Zrenie (neirofiziologicheskie i neirooftal'mologicheskie aspekty). – Minsk: BGMU, 2007. – 210 p.
6. Klette R. Komp'yuternoe zrenie. Teoriya i algoritmy. – M.: DMK Press, 2019. – 506 p.
7. Gafarov F.M., Galimyanov A.F. Iskusstvennye neironnye seti i prilozheniya. – Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 2018. – 121 p.
8. Giyasov B.I., Seregin N.G., Seregin D.N., Belyakov V.A. Stendovye uskorennyye ispytaniya tekhnicheskikh sistem na nadezhnost'. – M.: Izdatel'stvo ASV, 2017. – 74 p.
9. Guk M.YU. Shiny PCI, USB i FireWire. Ehntsiklopediya. – SPb.: Piter, 2005. – 540 p.
10. Ehd Douring. Osnovy mashinnogo zreniya NI myRIO. National Technology and Science Press, 2015. – 166 p.
11. Ehbbers M., Birn F., Gonzales Adrador P. Osnovy sovremennykh mehinfreimov. Organizatsiya krupnomasshtabnykh kommercheskikh vychislenii. – M.: Mezhdunarodnaya organizatsiya tekhnicheskoi podderzhki, 2007. – 212 p.
12. Malyavko A.A., Menzhulin S.A. Superkomp'yutery i sistemy. Postroenie vychislitel'nykh klasterov. – Novosibirsk: Izdatel'stvo NGTU, 2018. – 96 p.