

ИЗ ИСТОРИИ БЕЛОРУССКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ 4.1



Ирина Богданова,
старший научный
сотрудник Белорусской
сельскохозяйственной
библиотеки им. И. С. Лупиновича
НАН Беларуси, кандидат
социологических наук,
доцент



Нина Богданова,
старший научный
сотрудник Белорусской
сельскохозяйственной
библиотеки им.
И. С. Лупиновича
НАН Беларуси

Создание электронной вычислительной машины (ЭВМ), которому предшествовали открытия в области физики, математики и техники, стало одним из наиболее значительных изобретений XX в., изменивших человеческую жизнь в большинстве ее сфер. Выдающиеся ученые и инженеры многих стран мира работали над этим величайшим прорывом.

К 1941 г. четыре страны вплотную подошли к реализации данной идеи: СССР, Англия, США и Германия.

В Советском Союзе в 1931 г. была открыта первая кафедра, готовившая специалистов по вычислительным устройствам: «Приборы управления стрельбой» (с 1956 г. – вычислительной техники) Ленинградского электротехнического института. С ее помощью из стен вуза выходили инженеры-электромеханики по данному профилю. Всего до 1941 г. здесь было подготовлено свыше 200 специалистов, которые внесли существенный вклад в укрепление обороноспособности страны [1, 2].

В 1938–1939 гг. в Ленинграде и Москве создаются еще две аналогичные кафедры. В 1941 г. организуется первая в СССР вычислительная лаборатория – прообраз будущих вычислительных центров [1, 2]. В 1930-х гг. СССР в области ЭВМ ни в чем не уступал другим странам.

С началом Великой Отечественной войны дальнейшие работы по созданию электронной вычислительной техники в Советском Союзе были приостановлены. В остальных трех странах они продолжались по-прежнему.

Первой в мире электронной вычислительной машиной стала программируемая английская

ЭВМ на электровакуумных лампах (вместо механических реле) «Колосс» (англ. Colossus). Она была сконструирована в конце декабря 1943 г. в обстановке строжайшей секретности в Главном шифровальном подразделении Великобритании с целью дешифровки перехваченных немецких радиосообщений в коммуникациях высшего командования вермахта, зашифрованных с помощью шифровальной машины «Lorenz SZ40/42».

Главными разработчиками «Колосса» стали Аллан Тьюринг, который в 1942 г. предложил построить дешифратор на основе электронных ламп, Макс Ньюман и Томми Флауэрс.

«Колосс» начал работать в январе 1944 г. Первым дешифрованным им сообщением была телеграмма фашистского командования, подтверждающая, что Гитлер действительно поверил дезинформации союзников о наличии несуществующей армии, концентрируемой в Южной Англии, и ложной подготовке высадки союзников

в Па-де-Кале. Благодаря работе этой ЭВМ союзниками было принято окончательное решение об открытии Второго фронта (6 июня 1944 г.) и высадке англо-американских экспедиционных сил в Нормандии. Высадка союзных войск стала полной неожиданностью для немцев.

До конца войны было построено 10 таких ЭВМ. Включенные однажды, они не выключались до Дня Победы, вскрывая шифрпереписку высшего эшелона Третьего Рейха. Благодаря их надежной работе время дешифрования перехваченных сообщений было сокращено с нескольких недель до 2–3 часов (рис. 1).

Результаты работы «Колосов» оказали значительное влияние на ход Второй мировой войны. После ее окончания по приказу У. Черчилля эти ЭВМ были уничтожены, а сам проект засекречен. Факт его существования до середины 1970-х гг. оставался тайной [3, 4].

Первые советские ЭВМ

К возобновлению работ по созданию ЭВМ СССР смог приступить только в конце 1947 г. Руководил ими основоположник советской вычислительной техники (ВТ) Сергей Алексеевич Лебедев (рис. 2). Весомый вклад в дело становления советской ВТ внес также Михаил Алексеевич Лаврентьев. В 1948 г. в СССР проблемы развития данной области науки и на ее основе – новой отрасли промышленности становятся общегосударственной задачей.

В октябре – декабре 1948 г. С.А. Лебедевым, независимо от Дж. Фон Неймана и на полгода раньше, было подготовлено обоснование принципов построе-

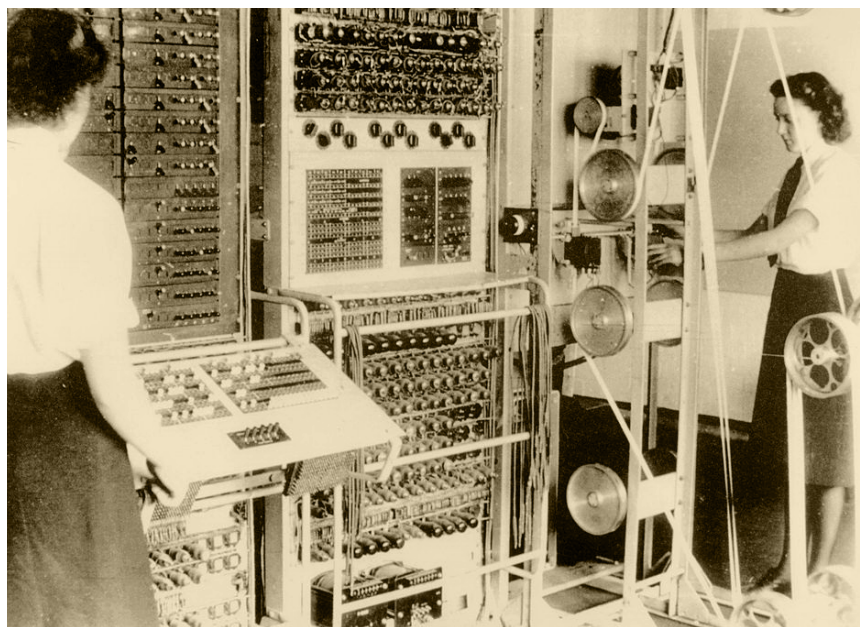


Рис. 1. Работа операторов на ЭВМ «Колосс»

ния ЭВМ с хранимой в памяти программой.

В ноябре 1949 г. было закончено проектирование первой советской ЭВМ – Малой электронной счетной машины (МЭСМ), принципиально отличавшейся от зарубежных подобного рода – она была первой в мире ЭВМ с арифметическим устройством параллельного действия.

25 декабря 1951 г. МЭСМ была принята Комиссией Академии наук СССР и передана в эксплуатацию. На ней решались важные научно-технические задачи из области термоядерных процессов, космических полетов, ракетной техники, дальних линий передач.

Это была первая не только в Советском Союзе, но и в континентальной Европе цифровая электронная вычислительная машина. В это время в нашей части света, кроме МЭСМ, работала только одна ЭВМ – английская ЭДСАК, запущенная в Кембриджском университете на год раньше. Но процессор МЭСМ был намного мощнее за счет распарал-

леливания вычислительного процесса (рис. 3).

Разработанный С.А. Лебедевым принцип конвейерной обработки, когда потоки команд и операндов обрабатываются параллельно, сейчас применяется во всех компьютерах в мире.

Параллельно с завершающим этапом создания МЭСМ в 1950 г. была начата разработка Большой электронной счетной машины (БЭСМ, позднее БЭСМ-1) – первой советской быстродействующей ЭВМ (8–10 тыс. операций в секунду). Летом 1952 г. было завершено ее изготовление, и в апреле 1953 г. Государственная комиссия приняла БЭСМ к работе (рис. 4).

Представленный С.А. Лебедевым в октябре 1955 г. в Дармштадте (ФРГ) на Международной конференции по электронным счетным машинам доклад о БЭСМ произвел сенсацию. Она была признана самой быстродействующей в Европе.

Долгое время БЭСМ оставалась наиболее производительной

на континенте и одной из лучших в мире. Так, созданный в Швейцарии Международный центр ядерных исследований пользовался для расчетов машинами данной серии. Ее значение для отечественной и мировой вычислительной техники невозможно переоценить: многое из того, что стало обыденным в современных информационных технологиях, впервые было опробовано при разработке именно этой ЭВМ [6, 7].

Первые советские ЭВМ применялись в основном для выполнения сложных математических расчетов, связанных с обороной страны, в космической и ядерной программах. Отдавая должное специалистам зарубежных стран – пионерам вычислительной техники, таких как Великобритания и США, мы не должны забывать, что в СССР, несмотря на его огромные потери в период Великой Отечественной войны, в послевоенное время в кратчайшие сроки были созданы (причем без значительного отставания от мировых лидеров компьютеростроения) не только ЭВМ, но и школы их проектирования, производства и применения. Все это стало фундаментом для развития ВТ в СССР [8].



Рис. 2. С.А. Лебедев

Минский завод электронных вычислительных машин им. Орджоникидзе

К середине 1950-х гг. БССР, восстановившая разрушенный войной промышленно-технологический и научный потенциал, приобрела устойчивый имидж машиностроительно-аграрной республики СССР. Здесь велась подготовка кадров по большинству необходимых

республике традиционных инженерных специальностей.

Во второй половине 1950-х гг. в Советском Союзе началось создание индустрии ЭВМ. Уже действовали Московский завод счетно-аналитических машин, Пензенский завод вычислительных электронных машин и другие предприятия.

Белорусская школа проектировщиков и разработчиков в этой области берет свое начало с постановления Совета Министров СССР о мерах по существенному увеличению производства ЭВМ, вышедшего в августе 1956 г. В соответствии с данным документом в Минске было организовано строительство первого предприятия отечественной ВТ – Минского завода математических машин (позднее – Минского завода счетных машин им. Орджоникидзе, с 1967 г. – Минского завода электронных вычислительных машин им. Орджоникидзе). Его возведение началось в том же 1956 г. на 8 гектарах земли в центре Минска рядом со столичной Комаровкой (рис. 5) [8].

Завод Орджоникидзе, расположенный в комплексе производственных строений по ул. Я. Коласа, 1, возводился до

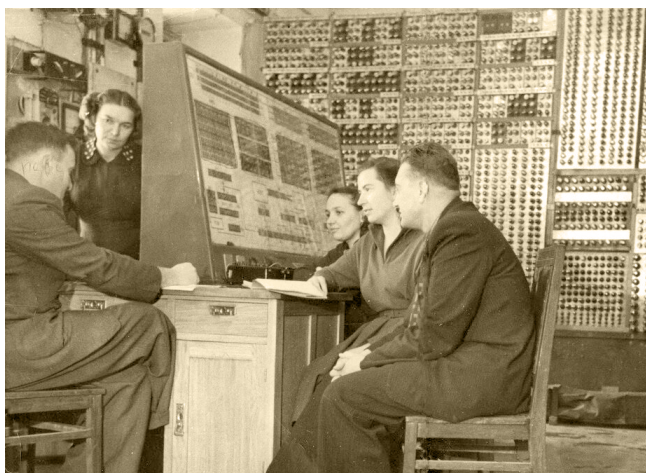


Рис. 3. Малая электронная счетная машина (МЭСМ). 1951 г.



Рис. 4. С.А. Лебедев и В.А. Мельников у БЭСМ-1

1961 г., составив симметричную композицию с корпусом Полиграфического комбината (ул. В. Хоружей, 23). В 2007 г. этот комплекс был признан памятником архитектуры и внесен в Государственный список историко-культурных ценностей Беларуси [9].

Параллельно со строительством завода и технологической подготовкой производства решались вопросы подбора и обучения кадров, чтобы сразу же после введения в эксплуатацию предприятия начало выпускать ЭВМ.

В республике в то время отсутствовали инженеры с опытом работы в области ВТ. Руководители завода частично решили кадровую проблему, пригласив более 20 разработчиков ЭВМ из Москвы, Загорска, Ногинска, Еревана, Пензы и других городов СССР [8]. Им предстояло с нуля разработать технологию производства и проектирования ЭВМ, так как организация таких заводов в СССР только начиналась [10]. Однако приезжие специалисты не могли полностью решить кадровую проблему, поэтому заводом были развернуты широкомасштабные работы по подготовке необходимых отечественных кадров. На заводе действовали курсы обучения и повышения квалификации в области ВТ для гражданских и военных инженеров и техников. Студенты техникумов и ученики 9–11 классов минских школ проходили на его базе производственную практику. Позже их отправляли на ознакомление с опытом предприятий, на которых выпускались ЭВМ, в Москву и Пензу [10].

В 1958 г. при заводе, еще до окончания строительства его первого производственного корпуса, было создано Специальное конструкторское бюро (СКБ), первоначальной задачей которого



Рис. 5. Строительство Минского завода математических машин (металлический каркас справа от Полиграфкомбината, возведение которого близится к завершению). 14 сентября 1956 г.

были модернизация и технологическое сопровождение выпускаемых здесь электронных вычислительных машин [8].

В январе 1959 г. был сдан в эксплуатацию первый производственный корпус предприятия, а в конце апреля уже выпущена первая ЭВМ в БССР – М-3 с оперативной памятью на магнитном барабане объемом 1024 слова и быстродействием всего 30 операций в секунду. Разработанная Московским энергетическим институтом АН СССР, она была одной из первых серийных отечественных машин первого поколения [11]. В сентябре того же года ЭВМ М-3 была запущена в серийное производство, в процессе которого специалистами Минского завода ее быстродействие было увеличено в 50 раз (с 30 до 1500 оп/с). Данная модель получила новый шифр – М-3М [8, 10].

Для Минского завода ЭВМ М-3 ценна как стартовая, поскольку на ней были отлажены основные технологические процессы, обучены кадры разработчиков и наладчиков, но она практически не оказала никакого влияния на кон-

струкцию появившихся в дальнейшем белорусских электронных вычислительных машин [8, 12].

Электронные вычислительные машины серии «Минск»

Первыми ЭВМ белорусской разработки стали машины серии «Минск» и их модификации. Выпуск их первого поколения был начат на заводе в 1960 г.

ЭВМ «Минск-1»

В 1959 г. в СКБ Минского завода счетных машин небольшим коллективом конструкторов под руководством Г.П. Лопато началось проектирование базовой ЭВМ первого поколения «Минск-1» – первой ЭВМ собственной разработки (и всей серии «Минск», рис. 6). Эта ЭВМ общего назначения была разработана всего за 18 месяцев (по американским стандартам того времени на такую работу требовалось от 5 до 10 лет). Проектирование шло параллельно с подготовкой производства. Оно было закон-

чено в августе 1960 г. Испытания ЭВМ «Минск-1» прошли в сентябре 1960 г., и в этом же году стартовал ее серийный выпуск.

Быстродействие «Минск-1» составляло 3 тыс. оп/с. Программирование для нее велось в машинных кодах, однако в комплекте поставки была большая библиотека стандартных программ. В ЭВМ «Минск-1» была применена оригинальная разработка минских конструкторов – быстродействующая оперативная память на ферритовых сердечниках, заменившая медленную память на магнитных барабанах, которые формой и размерами напоминали бак для стиральной машины. Ферритовое запоминающее устройство для ЭВМ массового применения было использовано впервые.

С ЭВМ «Минск-1» поставлялись также одни из первых в мире систем автопрограммирования – трансляторы «Автокод ИНЖЕНЕР» и «Автокод ЭКОНОМИСТ».

В декабре 1961 г. на ВДНХ СССР ЭВМ «Минск-1» играла с посетителями в беспроигрышную шашечную игру «Волки и овцы». Программу для нее написал В.И. Цагельский с участием М.Е. Неменмана. Свои ходы машина печатала на узкой ленте принтера (дисплеев еще не было), а посетители выставки двигали шашки на отдельно стоящей демонстрационной доске [8, 10, 12].

По заказам различных отраслей промышленности были разработаны и производились пять модификаций ЭВМ «Минск-1», полностью совместимых с этой машиной. Так, «Минск-11» (1961 г.) предназначалась для обработки сейсмической информации и работы с удаленными пользователями; «Минск-12» (1962 г.) имела в 4 раза большую внешнюю память на магнитных лентах;

«Минск-14» и «Минск-16» (1962 г.) предназначались для обработки телеметрической информации, для чего были оснащены соответствующими считывающими устройствами телеметрии.

Специализированная ЭВМ «Минск-100» на элементной базе «Минск-1» была создана по заказу МВД СССР для обслуживания системы распознавания и хранения отпечатков пальцев. Она имела в своем составе оригинальный кодировщик дактилоскопической информации. Главным конструктором этой системы был А.М. Толмачев. Эти ЭВМ эксплу-

атировались в Минске и Ленинграде [1].

Электронно-вычислительная машина «Минск-1» могла быть доведена у пользователя до любой из этих модификаций. В первой половине 1960-х гг. различные ее вариации были установлены на военных объектах, в закрытых по тем временам НИИ «Марс» в Ульяновске, Всесоюзном НИИ космических исследований в Москве и многих других. «Минск-1» стала в этот период самой массовой в СССР, заняв более 50% парка ЭВМ общего назначения [13].



Рис. 6. ЭВМ «Минск-1»



Рис. 7. «Поющая» ЭВМ «Минск-2» на торговой выставке в Утрехте. Март 1965 г.

В 1999 г. International Biographical Center Cambridge (Англия) включил главного конструктора ЭВМ «Минск-1» Г.П. Лопато в список 2000 выдающихся деятелей науки XX ст.

В 2000 г. Международное компьютерное общество при Институте электро- и электронных инженеров США (IEEE CS) наградило Г.П. Лопато медалью Чарльза Бэббиджа «Пионер компьютерной техники» [14].

ЭВМ «Минск-2»

В 1962 г. была создана базовая модель второго поколения серии «Минск» – «Минск-2», первая серийная полупроводниковая ЭВМ в СССР (главный конструктор – В.В. Пржиялковский, быстродействие – 5–6 тыс. оп/с). Она стала первой советской вычислительной машиной малого класса с возможностью ввода, обработки и вывода текстовой информации (до нее все ЭВМ работали исключительно с цифровыми данными) [8, 12].

«Минск-2» (рис. 7) выпускалась с 1963 по 1965 г. Несколько поставок ушли за рубеж: в 1964 г. такая ЭВМ с фабричным номером 3 была установлена в первом Вычислительном центре Болгарии, а в 1965 г. еще одна продана в Нидерланды владельцу порта Роттердам, решившему использовать эту ЭВМ для управления своим портовым хозяйством. С этой целью в конце 1964 г. он приехал в Минск. В соответствии с достигнутой с ним договоренностью сначала предполагалось участие машины «Минск-2» в торговой выставке в г. Утрехте весной 1965 г., а затем уже ее продажа.

Белорусские разработчики и наладчики собирали ЭВМ «Минск-2» в выставочном павильоне при температуре всего 7 °С, но машина заработала сразу, чем

даже сами они, по воспоминаниям В.В. Пржиялковского, были несколько удивлены. Перед открытием выставки он писал домой о «большом положительном интересе, заранее проявленном к советской машине европейцами, и большим отрицательным интересе со стороны американцев». Последние изначально были решительно настроены не пускать на европейский рынок советскую ЭВМ.

Стенд СССР на выставке пользовался значительным успехом. Ему способствовало звучание музыки, которую наигрывала машина. Мелодию голландской народной песни подготовили за ночь: В.В. Пржиялковский положил ее на ноты и запрограммировал их воспроизведение, а остальные участники группы собрали из нот мелодию. Для голландцев это оказалось большим сюрпризом, и они стали называть «Минск-2» «поющей ЭВМ».

Машина Минского завода, установленная в порту Роттердама, проработала недолго. Приобретший ее владелец порта разорился. В результате минская ЭВМ попала в отделение фирмы IBM на Окинаве, куда была отправлена после банкротства купившей ее фирмы. Перебралась ли ЭВМ «Минск-2» впоследствии на континент или осталась на острове навсегда, неизвестно [15].

С 1963 по 1965 г. в народное хозяйство было поставлено около 1200 ЭВМ «Минск-2» и ее модификаций «Минск-22», «Минск-222», «Минск-23», «Минск-26» и «Минск-27».

«Минск-22» и «Минск-22М» (1964–1965 гг.), давшие толчок развитию автоматизированных систем управления (АСУ) в СССР, стали самыми массовыми ЭВМ в СССР. На базе «Минск-22» были созданы первые советские АСУ: «Львов» (1965–1969 гг.) и «Кунцево»

(1966–1968 гг.). Именно аппаратура на базе этой машины обеспечивала работу советских луноходов в 70-е гг. XX в. [8, 16–19].

«Минск-222» (мультимедийный компьютерный комплекс, состоявший из трех ЭВМ «Минск-22», 1965–1966 гг.) стала первой в мире вычислительной системой с программируемой структурой. Это была первая однородная многомашинная вычислительная система (ВС). Работы по ее проектированию начались в 1965 г., а первый образец был установлен в апреле 1966 г. в Институте математики АН БССР. Системы «Минск-222» были смонтированы в нескольких организациях Советского Союза и эксплуатировались более 15 лет. Архитектурные решения данной ЭВМ стали каноническими, а документы о ней, датированные 1967–1983 гг., были размещены на сайте Центра технической информации Министерства обороны США, где они находятся и в настоящее время.

На следующей модели, «Минск-23» (1968 г.), одновременно могли выполняться до 3 рабочих и 5 служебных программ. Для этого машина снабжалась первой в СССР операционной системой «ДИСПЕТЧЕР». На ее базе были созданы автоматизированные системы управления московского объединения «Мосмолоко», Новочеркасского электровозостроительного завода, «Аэрофлота», а также автоматизированный информационно-диспетчерский пункт Министерства радиопромышленности СССР и др. [8, 10, 16, 19].

«Минск-26» (1963 г.) и «Минск-27» (1964 г.) представляли собой ЭВМ специального применения: были разработаны для индивидуальных заказчиков и предназначались для обработки телеметрических данных, поступающих с метеорологиче-

ских ракет и спутников Земли в системе «Метеор».

С помощью ЭВМ «Минск-2» и ее модификаций в Советском Союзе решались самые разные задачи – математические, логические, инженерные и планово-экономические [8, 16–19].

ЭВМ «Минск-32»

«Минск-32» (1968 г., главный конструктор – В.В. Пржиалковский) была самой известной и распространенной в СССР вычислительной машиной в первой половине 1970-х гг. Она относилась к ЭВМ большой производительности (быстродействие – 30–35 тыс. оп/с) и имела программную совместимость с «Минск-22». Реализация подобной совместимости стала настоящей инновацией и изюминкой модели – такого в то время не могли предложить не только советские аналоги, но и большинство зарубежных.

Хотя ЭВМ «Минск-32» была выполнена на элементной базе 2-го поколения ЭВМ (полупроводниковой), но по своим функциональным возможностям и архитектуре представляла собой ЭВМ уже третьего поколения. В ней были объединены структурные преимущества машин «Минск-2/22» и «Минск-23» [7]. В этой модели также использовалась операционная система ленточного типа «ДИСПЕТЧЕР» и были реализованы многопрограммный режим работы, защита информации в оперативной памяти, 2 канала связи (мультиплексный и селекторный) с устройствами ввода-вывода, возможность совместного функционирования до 8 вычислительных машин.

«Минск-32» – первая в СССР и Европе ЭВМ 2-го поколения, механическая сборка и электрический монтаж которой выполня-

лись на конвейере. Эта новейшая по тем временам машина предназначалась для решения широкого круга научно-технических, планово-экономических и статистических задач и активно использовалась в народном хозяйстве страны. Практически все вычислительные центры Советского Союза были оснащены ЭВМ «Минск-32». В АН БССР она применялась как основа коллективной системы автоматизации научных исследований, а также в системе автоматизированного проектирования для машиностроительных объектов.

По своей логической структуре эта машина ничем не уступала зарубежным ЭВМ аналогичного

класса [19]. Постановлением руководства Военно-промышленного комплекса она была утверждена как базовая для АСУ оборонных министерств СССР. В одной из аналитических статей в США ЭВМ «Минск-32» называли «рабочей лошадкой» советской промышленной автоматизации, и ее создатели этим очень гордились [13].

В течение 10 лет, с 1959 по 1969 г., Минским заводом электронных вычислительных машин им. Орджоникидзе были разработаны и выпущены 3 типа базовых ЭВМ и 10 их модификаций, ставших основой (около 70%) парка электронных вычислительных устройств Советского Союза [8]. ■

Продолжение следует.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Киселев Е. Дети Второй мировой – компьютеры / Независимое военное обозрение // https://nvo.ng.ru/history/2006-08-04/5_children.html.
2. Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина) (1929–1941) // <https://etu.ru/ru/muzej/istoriya-spbgetu/leti29-41#strelba>.
3. Colossus. The transcript of a Lecture given at the IEEE 18th February 1999 by Tony Sale // <https://www.codesandciphers.org.uk/lectures/ieee.txt>.
4. Берд К. Колосс британский: секретный предок компьютеров // <https://www.techinsider.ru/technologies/5472-koloss-britanskiy-sekretnyy-predok-kompyuterov/>.
5. Лисовский И.М. Сергей Алексеевич Лебедев – создатель первой в континентальной Европе и в Советском Союзе цифровой электронной вычислительной машины (МЭСМ) // https://computer-museum.ru/histussr/lebedev_mesm.htm.
6. МЭСМ // Энциклопедия кибернетики: [в 2 т.] / отв. ред. В.М. Глушков [и др.]. – Киев, 1974. Т. 2. С. 56–57.
7. Карпова В., Карпов Л. Первая БЭСМ: начало пути // <https://www.osp.ru/os/2007/10/4706915>.
8. История вычислительной техники в Беларуси: Научно-исследовательский институт электронных вычислительных машин / В.Ф. Быченков [и др.]; под общ. ред. В.Ф. Быченкова, Г.Д. Смирнова. – Минск, 2008. С. 13.
9. Комплекс вытворчых будынкаў (шыфр 713Г000263) // Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь. // <http://gosspisok.gov.by/Home/Index>.
10. Карпилович Ю.В. Минское производственное объединение вычислительной техники (историческая справка) / Ю.В. Карпилович, В.В. Пржиалковский // <http://www.computer-museum.ru/histussr/mpovt.htm/>.
11. Абламейко С.В. Краткий курс истории вычислительной техники и информатики: пособие / С.В. Абламейко, И.А. Новик, Н.В. Бровка. – Минск, 2014.
12. Пржиалковский В.В. Серия ЭВМ «Минск» // <https://www.computer-museum.ru/histussr/55.htm>.
13. Столяров Г.К. Компьютерная хроника Белоруссии // https://computer-museum.ru/histussr/hist_belorus.htm.
14. Лопато Георгий Павлович // Выдающиеся математики Беларуси. – <https://obm.bsu.by/matematiki/lopato-georgij-pavlovich/>.
15. Пржиалковский Виктор Владимирович (к 90-летию со дня рождения) // https://www.computer-museum.ru/books/Prjijalovskiy_2020.pdf.
16. Пржиалковский В.В. Научно-исследовательский институт электронных вычислительных машин (историческая справка) / В.В. Пржиалковский, Г.Д. Смирнов // <https://www.computer-museum.ru/aboutmus>.
17. Богданова И.Ф. Из истории белорусской вычислительной техники / И.Ф. Богданова, Н.Ф. Богданова // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2019): доклады XVIII Междунар. конф., Минск, 14 ноября 2019 г. – Минск, 2019. С. 32–35.
18. Карпилович Ю.В. Так было / Ю.В. Карпилович. – Минск, 2004.
19. Минский феномен / Computerworld Россия // <https://www.osp.ru/cw/1999/46/38821>.