

МРНТИ 50.10.01

М.Ш. Джунибеков<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
Л.А. Сугурова<sup>2</sup>, Ж.А. Иссакулова<sup>3</sup>, Е.А. Измуханов<sup>4</sup><sup>1</sup>Канд. техн. наук, профессор, <sup>2</sup>PhD, ассоц. профессор, <sup>3</sup>Магистр,  
<sup>4</sup>Магистрант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4784-9952> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5383-8400>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-5982-8983><sup>1,2,3,4</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати,

г. Тараз, Казахстан

<sup>1</sup>[sla-taraz@mail.ru](mailto:sla-taraz@mail.ru)<https://doi.org/10.55956/PCWN2971>

## РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ВВОДА-ВЫВОДА ДАННЫХ В МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

**Аннотация.** Согласно выбранной теме, объектом исследования является интерфейс ввода-вывода компьютерной системы. Предметом данного исследования является базовая структура, принципы построения и конфигурации интерфейсных схем для ввода и вывода данных компьютерных систем, а также их основные параметры и характеристики. В процессе написания работы использовались следующие методы исследования: изучение и анализ научно-технической литературы; изучение и обобщение отечественных и зарубежных периодических изданий и статей. Практическая значимость данного исследования заключается в возможности использования результатов исследования для построения и организации интерфейсов ввода-вывода для институциональных персональных компьютеров. Как уже упоминалось, актуальность выбранной темы работы объясняется всеобщей компьютеризацией общества Республики Казахстан, основанной на использовании автоматизированных информационных систем с высокоскоростными качественными интерфейсами ввода-вывода.

**Ключевые слова:** интерфейс, микропроцессор, интерфейс ввода-вывода, управление, МПС, шина данных.



Джунибеков, М.Ш. Разработка интерфейса ввода-вывода данных в микропроцессорной системе управления [Текст] / М.Ш. Джунибеков, Л.А. Сугурова, Ж.А. Иссакулова, Е.А. Измуханов //Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №4(86). – С.458-467. <https://doi.org/10.55956/PCWN2971>

**Введение.** Аппаратная структура и назначение основных функциональных узлов микропроцессорной вычислительной системы. Вычислительная система (ВС) может содержать несколько процессоров, различающихся по своей функциональности [1]. Центральный процессор используется для выполнения вычислений, заданных оператором – абонентом, периферийный процессор используется для управления в вводом и выводом данных, управляющий процессор используется для обработки информации от объекта управления, специальный процессор используется для решения определенных типов задач и т.д.

Под микропроцессорной системой (МПС) понимается вычислительная система или система управления, построенная на наборе микропроцессоров [2,3]. Вычислительная система – это взаимосвязанный набор компьютерного оборудования, как программного, так и аппаратного, который содержит по меньшей мере 2 процессора или ЭВМ, и по меньшей мере 1 из этих процессоров выступает в качестве основного, центрального (CPU). В свою очередь, основным рабочим элементом вычислительного устройства, является центральный процессор, который состоит из арифметико-логического блока (АЛУ) и устройства управления, а иногда и внутренней памяти [4]. По мере того как функции вычислительных систем становятся все более распределенными и автономными, понятие «центральный процессор» приобретает более широкое толкование.

Назначение компьютерной техники – вводить, хранить, обрабатывать, передавать и выводить информацию [5]. Таким образом, с информацией выполняются следующие действия: ее можно создавать, отправлять, запоминать, искать, получать, копировать, обрабатывать и уничтожать.

На рисунке 1 представлена обобщенная схема вычислительной системы МПС, широкая стрелка указывает на поток входных и выходных данных и адрес, а тонкая стрелка указывает на поток управляющих сигналов.

Информация, подлежащая обработке, поступает от оператора с помощью устройства ввода (УВв) или, в случае системы управления, от датчика, которым необходимо управлять.

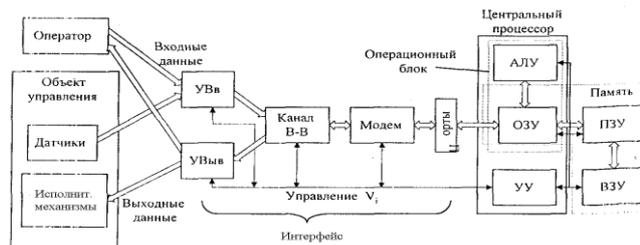


Рис. 1. Обобщенная структурная схема вычислительной системы МПС

Результат обработки информации – выходные данные, преобразуются с помощью устройства вывода (УВВ) в форму, удобную для восприятия оператором или исполнительным органом объекта управления. В АСУ устройством вывода может быть 1 или более цифроаналоговых преобразователей.

*Обмен информацией в микропроцессорной системе. Организация маршрутов передачи информации.* На рисунке 2 показана схема логической структуры микропроцессорной системы. Вычислительный (управляющий) МПС – это набор МП, RAM и ROM памяти, а также УВв и УВыв карты, предназначенные для работы с оператором или другой электронной системой [6]. Система МП также включает в себя блок устройств, ИК – устройство управления информацией, которое преобразует все сигналы связи и сигналы УВЧ различных типов в стандартный формат. Микросхема имеет стандартный интерфейс на стороне подключения к информационной магистрали, состоящей из адресных, информационных и управляющих магистралей (МА, MD, МУ), и нестандартный интерфейс на стороне УВВ.

Для обеспечения совместимости процессора и интерфейса УВВ и гибкости подсистемы ввода-вывода МПС в микросхему был встроен

подключаемый адаптер, а в микросхему был встроен периферийный адаптер для УВВ с последовательной передачей кода и двунаправленным управлением потоком данных, а также параллельным кодированием. Адаптер был встроен в программное обеспечение. Программное обеспечение легко настраивается.

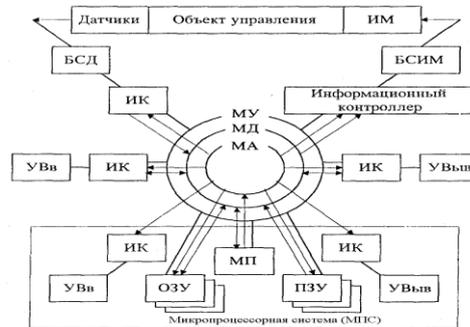


Рис. 2. Логическая структура микропроцессорной системы управления

**Условия и методы исследований.** *Аппаратное обеспечение, поддерживающее системы прерываний.* Самый простой способ реально выполнить такую задачу – использовать метод, называемый ввод-вывод [7,8], который управляется программой. Для выполнения операций ввода-вывода вам нужна машинная команда, которая проверяет состояние флага и передает данные между процессором и устройством ввода-вывода. Эти команды аналогичны командам для передачи данных между процессором и памятью.

На рисунке 3 показаны регистры ПДП контроллера, используемые процессором для инициирования операций передачи данных. Два регистра предназначены для хранения начального адреса и счетчика слов. Третий содержит информацию о состоянии и управляющие флаги. Цифры R/W в этом регистре определяют направление передачи. Если команда программы установит это значение равным 1, контроллер выполнит операцию чтения. В противном случае выполните операцию записи. На рисунке 4 показан пример использования прямого доступа к памяти в компьютерной системе.

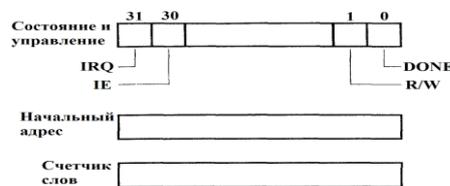


Рис. 3. Регистры интерфейса ПДП Рис. 4. Использование ПДП контроллера в компьютерной системе

Контроллер ПДП подключает компьютерную шину к высокоскоростной сети. Кроме того, контроллер, управляющий двумя дисками, имеет встроенную функцию ПДП и поддерживает 2 канала передачи данных. Вы можете выполнить 2 независимые операции прямого доступа к памяти, как если бы каждый диск содержал свой собственный ПДМ контроллер. Для этого контроллер имеет 2 набора регистров,

предназначенных для хранения адресов в памяти, и по 1 счетчику слов для каждого устройства.

Чтобы начать передачу блоков данных из основной памяти на один из дисков, программа записывает адрес и значение счетчика слов в регистр соответствующего ПДП канала на контроллере диска. Кроме того, он предоставляет контроллеру информацию, которая позволяет ему идентифицировать данные в будущем, когда их необходимо будет считывать с диска. Затем ПДП контроллер выполняет указанную операцию независимо от процессора. После завершения, цифра завершения устанавливается в регистр состояния и управления канала ПДП. Если бит IE на этом этапе равен 1, контроллер отправляет запрос на прерывание процессору и устанавливает бит IRQ. Процессор и ПДП контроллер, в свою очередь, обращаются к памяти. Запросы от ПДП устройств, использующих шину, всегда имеют более высокий приоритет, чем запросы от процессоров. Высоко скоростные внешние устройства, такие как диски, высокоскоростные сетевые интерфейсы и графические дисплеи, имеют наивысший приоритет среди ПДП устройств. По скольку большинство циклов доступа к памяти инициируются процессором, можно сказать, что ПДП контроллер «крадет» их у процессора. Метод чередования, используемый в этом случае, называется захватом циклов. В качестве альтернативы контроллеру ПДП может быть предоставлен эксклюзивный доступ к основной памяти для бесперебойной передачи блоков данных. Этот режим называется блочным или пакетным режимом.

**Результаты исследований.** Интерфейсы RS232, RS485 и RS422 являются наиболее широко используемыми последовательными интерфейсами. За годы их использования было разработано большое количество продуктов, элементных и программных модулей. Стандарты этих интерфейсов имеют статус рекомендательных, поэтому часто возникают проблемы при подключении продуктов разных производителей. Благодаря очень простой реализации эти проблемы легко решаются.

Популярность интерфейсов RS232, RS485 и RS422 зависит от низкой стоимости портов и кабелей и стабильности использования этих стандартов различными производителями в различных технических областях. Поддерживаются асинхронный и синхронный режимы обмена данными.

Интерфейс RS232 встроено в однополярную линию передачи данных. Поэтому его производительность и максимальная длина кабеля невелики. RS232 используется для подключения периферийных устройств к персональному компьютеру. Подключение кабеля к этому интерфейсу является недорогим и позволяет использовать отдельные линии для установления связи, синхронизации и прерывания. Поскольку RS232 является радиальным интерфейсом, понятие адреса отсутствует. Эти факторы способствуют повышению эффективности взаимодействия с системами сбора данных и периферийными устройствами (табл. 1).

Интерфейсы RS485 и RS422 реализованы на дифференциальных линиях связи. Их помехоустойчивость очень высока. Обычно используется кабельная ферма с волновым сопротивлением 120 Ом. Согласующий резистор следует размещать в конце линии. Из-за низкой скорости передачи данных активная система согласования не используется. Длина линии RS485 может достигать 1 километра. Интерфейс RS422 является «облегченной» версией RS485. Это уменьшило выходной ток передатчика и, следовательно, его нагрузочную способность. Для улучшения этих параметров используется

повторитель данных. Пример реализации интерфейсов RS232, RS485 и RS422 показан на рисунке 5.

Таблица 1

Название и назначение сигнала интерфейса RS232C

Наименование*	Назначение
PG (Protected Ground)	Защитная земля
SG (Signal Ground)	Сигнальная земля
TD (Transmit Data)	Данные. От контроллера к оконечному устройству
RD (Receive Data)	Данные. От оконечного устройства к контроллеру
RTS (Request To Send)	Запрос передачи данных. Сигнал готовности данных для передачи из контроллера к оконечному устройству. В полудуплексном режиме используется для управления направлением передачи данных
CTS (Clear To Send)	Готовность регистра приема оконечного устройства
DSR (Data Set Ready)	Готовность оконечного устройства к обмену данными
DTR (Data Terminal Ready)	Готовность контроллера к обмену данными
DCD (Data Carrier Defected)	Готовность удаленной аппаратуры оконечного устройства к обмену данными
RI (Ring Indicator)	Прерывание от оконечного устройства

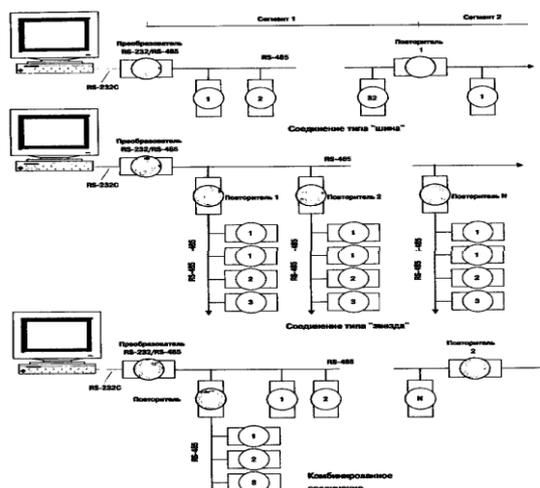


Рис. 5. Пример использования интерфейсов RS232, RS485 и RS422

На рисунке 5 показано, что персональный компьютер обычно оснащен стандартным контроллером интерфейса RS232C. Недорогой преобразователь позволяет подключать его к интерфейсу RS485/422. На его основе удобно создавать распределенную систему сбора данных и управления.

Несмотря на появление более эффективных стандартов, использование интерфейсов RS232, RS485 и RS422 в новых разработках продолжается. Основными причинами широкого использования интерфейсов RS232, RS485 и RS422 являются: низкая стоимость прокладки кабеля и продажи портов; большой парк оборудования, работающего по этим стандартам; возможность организации гальванической изоляции.

**Обсуждение научных результатов.** USB (Universal Serial Bus) – это универсальная последовательная шина. Как и многие современные интерфейсы, он предназначен для использования на персональных компьютерах. Основной целью разработки было удовлетворение потребности

в подключении периферийных устройств к портативному, а не столько к настольному компьютеру. Стандартный интерфейс USB включает в себя множество удобных функций:

- «горячее» подключение и отключение устройств;
- питание периферийных устройств от главного компьютера или разветвителя по интерфейсному кабелю;
- компактный и надежный разъем;
- возможность реализации гальванической развязки;
- поддержка Plug and play;
- быстрый обмен данными, особенно благодаря новой версии спецификации USB 2.0.

Наличие этих функций делает интерфейс удобным для использования в научных и специальных приборах, а также во многих других приложениях. По началу широкому использованию интерфейса препятствовало отсутствие поддержки в операционной системе Windows (а под DOS работа с USB, как правило, невозможна, по скольку отсутствует необходимое адресное пространство). Когда Microsoft выпустила соответствующее программное обеспечение, на рынке стало появляться различное оборудование с таким интерфейсом. USB начал вытеснять решения, которые ранее занимали этот рынок, включая параллельные интерфейсы (SCSI, EPP) и последовательный RS232. Основными причинами преимуществ в пользу USB являются удобство подключения и инициализации, а также не большой и надежный разъем. Использование интерфейса USB для недавно разработанного оборудования удобно для пользователя и может использоваться в течение длительного времени, то есть независит от модификации основного компьютера. Существенным недостатком интерфейса USB, несмотря на пересмотр спецификации, остается не достаточная поддержка большого количества устройств. Подключать некоторые устройства к 1 USB контроллеру не стоит. Для четкого корректного подключения используются разъемы типа «А», типа «В» и миниатюрные – цифра обозначена буквой «М» (рис. 6).



Рис. 6. Топология интерфейса USB

Интерфейсная среда представляет собой кабельную систему с несколькими типами стандартных разъемов и разветвителей (концентраторов). Концентратор позволяет реализовать много уровневую топологию «звезда». Концентраторы часто используются для реализации гальванической развязки и питания оконечных устройств. Естественно, не все концентраторы, доступные на рынке, поддерживают эти функции.

*Структура интерфейса USB.* Структура интерфейса USB обеспечивает одновременный обмен данными между главным компьютером и несколькими

периферийными устройствами. Распределение полосы пропускания шины между ними планируется главным компьютером и реализуется путем отправки токенов. Эта шина позволяет подключать, настраивать, использовать и отключать устройства во время работы главного компьютера и самого устройства.

Стандарт USB определяет электрические и механические параметры среды передачи данных. Информационный сигнал и напряжение питания 5 В передаются по четырем проводному кабелю. Для передачи сигналов D+ и D- по двум скрученным проводам используется дифференциальный метод. Уровень сигнала передатчика в статическом режиме должен быть ниже 0,3 В (низкий уровень) или выше 2,8 В (высокий уровень). Приемник может выдерживать входное напряжение в диапазоне -0,5...+3,8В. Передатчик должен быть способен переключаться в режим с высоким сопротивлением для двунаправленной полудуплексной передачи по 1 паре проводов.

Шина имеет 2 режима передачи данных. Высокая скорость составляет 12 Мбит/с, а низкая – 1,5 Мбит/с. Для обеспечения высоких скоростей используются кабели с сигнальными линиями из экранированных витых пар с волновым сопротивлением 90 Ом и длиной сегмента до 5м. На низких скоростях допускается использование не экранированных кабелей с длиной сегмента до 3 м, а также кабелей, используемых на высоких скоростях. Низкоскоростные кабели и устройства дешевле высокоскоростных кабелей. Оба режима могут применяться одновременно в одной системе. Скорость, используемая устройством, определяется уровнями сигнала на линиях D+ и D-, смещенными на сопротивление нагрузки приемопередатчика (рис. 7).

*Передача данных по стандартному интерфейсу USB.* Сечение проводника выбирается в соответствии с длиной сегмента для обеспечения гарантированного уровня сигнала и напряжения питания. Например, он имеет маркировку "28AWG"...24awg. Согласно спецификации USB, первая цифра определяет сечение сигнальной линии, а вторая цифра определяет линию электропитания. Для подключения модуля с помощью более длинного кабеля необходимо использовать кабель с большим сечением линии электропитания.

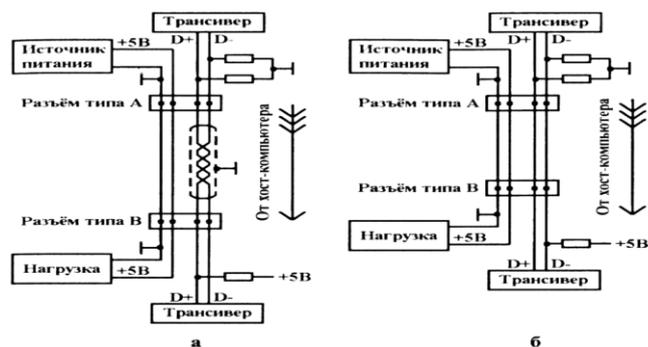


Рис. 7. Кабельное хозяйство интерфейса USB

Сигнал синхронизации по интерфейсной линии USB кодируется данными с использованием метода NRZI (Non Return to Zero Invert), и его работа показана на рисунке 8.

NZRI – это метод нулевого возврата с инверсией единицы измерения. Этот метод является модификацией простого метода кодирования потенциала, когда для представления 1 и 0 используются 2 уровня

потенциала. Метод NRZI также использует 2 уровня потенциала сигнала, но потенциал, используемый для кодирования текущего бита, зависит от потенциала, используемого для кодирования предыдущего бита (так называемое «дифференциальное кодирование»). Если значение текущего бита равно 1, текущий потенциал является инверсией потенциала предыдущего бита, независимо от его значения. Если значение текущего бита равно 0, текущий потенциал повторяет предыдущий потенциал. Отсутствие длинной последовательности идентичных битов позволяет осуществлять само синхронизацию портов на основе различий сигналов.

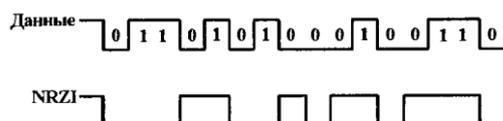


Рис. 8. Кодирование информации методом NZRI

Каждое устройств USB представляет собой набор независимых конечных точек, с которыми взаимодействует главный компьютер. Конечная точка (по сути, регистр, доступный программному обеспечению) описывается следующими параметрами:

- количество точек;
- тип обмена;
- направление обменного курса;
- максимальный размер отправляемых и принимаемых пакетов;
- частота доступа к шине и допустимая задержка обслуживания;
- пропускная способность канала;
- алгоритм обработки ошибок.

Каждое устройство должно иметь конечную точку с номером 0, которая используется в качестве регистра инициализации и управления, а также регистра состояния. Эта точка не требует инициализации и всегда может быть использована для обмена данными «управляемого» типа. Помимо точки с номером 0, оконечное устройство может иметь дополнительные точки, которые реализуют обмен полезными данными.

**Заключение.** В ходе работы над данной работой была изучена и рассмотрена современная концепция построения и использования интерфейсов ввода-вывода компьютерных систем. Определены основные принципы и методы организации интерфейсов ввода-вывода. В данной статье определяется структура аппаратного обеспечения и назначение основных функциональных узлов микропроцессорной вычислительной системы, а также представлена обобщенная структурная схема вычислительной микропроцессорной системы (МПС). Рассмотрена возможность использования базовых модульных принципов организации МПС.

Функции компьютера с конфигурацией шины и канала ввода-вывода данных рассматриваются отдельно. Компьютеры с шинной организацией интерфейса ввода-вывода широко используются в персональных компьютерах и мини-компьютерах, поскольку структурная схема является наиболее простой.

Также были изучены методы взаимодействия компьютера с периферийными устройствами, основанные на применении концепции прерывания выполнения текущих программ.

В заключение можно сказать, что аппаратное и программное обеспечение интерфейса постоянно развивается и совершенствуется. Постоянно разрабатываются и внедряются новые версии уже известных интерфейсов ввода-вывода, обеспечивающих лучший, быстрый и удобный для пользователя обмен данными.

#### Список литературы

1. Пескова, С.А. Центральные и периферийные устройства электронных вычислительных средств [Текст] / С.А. Пескова, А.И. Гуров, А.В. Кузин. – М.: Радио и связь, 2000. – 496 с.
2. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера [Текст] / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2007. – 844 с.
3. Мюллер, С. Модернизация и ремонт ПК. [Текст]: 15-издание / С. Мюллер. – Москва: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 1379 с.
4. Хамахер, К. Организация ЭВМ [Текст] / К. Хамахер, З. Вранешич, С. Заки. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2003. – 848 с.
5. Акулов, О.А. Информатика: базовый курс [Текст] / О.А. Акулов, Н.В. Медведев. – М.: Омега-Л, 2004. – 552 с.
6. Безуглов, Д.А. Цифровые устройства и микропроцессоры [Текст] / Д.А. Безуглов. – Ростов на Дону: Феникс, 2006. – 480 с.
7. Головкин, Б.А. Вычислительные системы с большим числом процессоров [Текст] / Б.А. Головкин. – М.: Радио и связь, 1995. – 320 с.
8. Корнеев, В.В. Современные микропроцессоры [Текст] / В.В. Корнеев, А.В. Киселев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.

*Материал поступил в редакцию 02.12.24.*

**М.Ш. Джунисбеков<sup>1</sup>, Л.А. Сугурова<sup>1</sup>, Ж.А. Иссакулова<sup>1</sup>, Е.А. Измуханов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

#### МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНДЕ ДЕРЕКТЕРДІ ЕНГІЗУ-ШЫҒАРУ ИНТЕРФЕЙСІН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Таңдалған тақырыпқа сәйкес зерттеу нысаны компьютерлік жүйенің енгізу-шығару интерфейсі болып табылады. Бұл зерттеудің тақырыбы – компьютерлік жүйелердің деректерін енгізу және шығару үшін интерфейс схемаларын құру және конфигурациялау принциптері, сондай-ақ олардың негізгі параметрлері мен сипаттамалары. Жұмыстарды жазу барысында келесі зерттеу әдістері қолданылды: ғылыми-техникалық әдебиеттерді зерттеу және талдау; отандық және шетелдік мерзімді басылымдар мен мақалаларды зерделеу және қорыту. Бұл зерттеудің практикалық маңыздылығы институционалды дербес компьютерлер үшін енгізу-шығару интерфейстерін құру және ұйымдастыру үшін зерттеу нәтижелерін пайдалану мүмкіндігі болып табылады.

Жоғарыда айтылғандай, таңдалған жұмыс тақырыбының өзектілігі жоғары жылдамдықты сапалы енгізу-шығару интерфейстері бар автоматтандырылған ақпараттық жүйелерді пайдалануға негізделген Қазақстан Республикасы қоғамын жалпыға бірдей компьютерлендірумен түсіндіріледі.

**Тірек сөздер:** интерфейс, микропроцессор, енгізу-шығару интерфейсі, басқару, МПС, деректер шинасы.

M.Sh. Dzhunisbekov<sup>1</sup>, L.A. Sugurova<sup>1</sup>, Zh.A. Issakulova<sup>1</sup>, E.A. Izmukhanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

#### DEVELOPMENT OF DATA INPUT-OUTPUT INTERFACE IN MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM

**Abstract.** According to the chosen topic, the object of the study is the input-output interface of a computer system. The subject of this study is the basic structure, principles of construction and configuration of interface circuits for input and output of computer systems, as well as their main parameters and characteristics.

In the process of writing the following research methods were used: study and analysis of scientific and technical literature; study and generalisation of domestic and foreign periodicals and articles.

The practical significance of this research lies in the possibility of using the results of the study for the construction and organisation of input-output interfaces for institutional personal computers.

As already mentioned, the relevance of the chosen topic of work is explained by the general computerisation of the society of the Republic of Kazakhstan, based on the use of automated information systems with high-speed quality input-output interfaces.

**Keywords:** interface, microprocessor, input-output interface, control, MPS, Data Bus.

#### References

1. Peskova, S.A. Gurov, A.I., Kuzin, A.V. Tsentral'nyye i periferiynyye ustroystva elektronnykh vychislitel'nykh sredstv [Central and peripheral devices of electronic computers]. – Moscow: Radio and communication, 2000. – 496 p. [in Russian].
2. Tanenbaum, E. Arkhitektura komp'yutera [Computer architecture] – St. Petersburg: Piter, 2007. – 844 p. [in Russian].
3. Myuller, S. Modernizatsiya i remont PK [PC modernization and repair]: 15th edition. – Moscow: Williams Publishing House, 2004. – 1379 p. [in Russian].
4. Khamakher, K., Vraneshich, Z., Zaki, S. Organizatsiya EVM [Computer organization]. – St. Petersburg: Piter; Kyiv: BHV Publishing Group, 2003. – 848 p. [in Russian].
5. Akulov, O.A. Medvedev, N.V. Informatika: bazovyy kurs [Computer Science: Basic Course]. – Moscow: Omega-L, 2004. – 552 p. [in Russian].
6. Bezuglov, D.A. Tsifrovyye ustroystva i mikroprotsessory [Digital Devices and Microprocessors]. – Rostov-on-Don: Feniks, 2006. – 480 p. [in Russian].
7. Golovkin, B.A. Vychislitel'nyye sistemy s bol'shim chislom protsessorov [Computing Systems with a Large Number of Processors]. – Moscow: Radio and Communications, 1995. – 320 p. [in Russian].
8. Korneyev, V.V., Kiselev, A.V. Sovremennyye mikroprotsessory [Modern Microprocessors]. – St. Petersburg: BKHV-Petersburg, 2003. – 448 p. [in Russian].