

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

И.Ш. Кадыров, Т.С. Борукеев, И. Козубай, Г.Д. Матекова
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
г. Бишкек

Статья посвящена описанию процесса разработки структуры программного обеспечения и выбора аппаратных средств, позволяющего с помощью приставки к персональному компьютеру производить измерение электрических сигналов в системе управления автоматизированного электропривода. В основе разработанного программного обеспечения регистрирующего устройства лежит теорема Котельникова.

Ключевые слова: автоматизированный электропривод, цифровой метод обработки сигналов, аппаратное и программное средство поддержки, программное обеспечение, цифровой осциллограф.

Введение в научную проблему. В последние десятилетия в Кыргызском государственном техническом университете (КГТУ) им. И. Раззакова очень большое внимание уделяется техническому переоснащению учебной лабораторной базы. За короткое время появились новые, оснащенные самыми современными оборудованностями центры, которые в сфере образования КР не имеют аналогов. К ним относятся центры по производству пищевых продуктов, использования современных систем телекоммуникации и др.

Вместе с тем очень слабо уделяется внимание в приобретении современных технических приборов, которые нужны в учебном процессе. К ним относятся измерительные и регистрирующие приборы, так как проблема точного измерения электрических сигналов в настоящее время становится более актуальной. Имеющиеся в учебных лабораториях приборы не проходят проверку на точность измерения в соответствующих государственных органах, а некоторый класс приборов морально устарел. Проблемы использования регистрирующих аппаратов необходимо решать любыми доступными средствами, в том числе внедрением в учебный процесс разработанные в лабораторных условиях широкодоступных недорогих альтернативных приборов [1].

Опыт наработки, приобретенные в процессе внедрения в учебный процесс микропроцессорных систем управления в области автоматизированного электропривода (АЭП) позволяет перейти к разработке регистри-

рующих приборов в виде приставки к персональному компьютеру (ПК) [2].

Цель научной работы

Возможности современных микроконтроллеров (МК) позволяют создать полноценный регистрирующий прибор для решения задач измерения, хранения и выдачи в нужный момент времени электрических сигналов, снятых при проведении НИР в области автоматизированного электропривода. Полученные результаты после соответствующей обработки можно хранить в виде библиотеки данных. Можно разработать методические пособия по проведению практических и лабораторных занятий и использовать эти данные в учебном процессе [3].

Современный микроконтроллер обладает встроенной памятью ОЗУ, ПЗУ и широким набором периферии, например, популярные интерфейсы USB, Ethernet и т.д. Посредством внешних согласующих элементов микроконтроллера приставку по выходному кабелю можно подключить к USB входам ПК. К согласующим элементам микроконтроллера можно отнести шесть входов, предназначенных для измерения как аналоговых, так и цифровых сигналов. Измеряемые аналоговые и цифровые сигналы тарируются во входных цепях прибора и с помощью встроенных в микроконтроллер аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) преобразуются в математический код, который в дальнейшем МК распределяет в ячейки внутренней памяти. Отображение измеренных сигналов на мониторе ПК производится самим ПК по специальной про-

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

грамме. В этом смысле приставка вместе с ПК представляют собой электронный осциллограф, работающий в трех режимах:

- отображения на мониторе шести каналов измеряемых периодических сигналов с синхронизацией и в реальном масштабе времени измерения;
- захвата измеряемых периодических сигналов и передачи их в постоянную память персонального компьютера;
- захвата непериодических сигналов переходного процесса с длительностью, не превышающей в 1 с полученных на объекте управления с помощью старт – стопных управляющих устройств.

В режиме отображения сигналов для удобства наблюдения за изображениями на мониторе по специальной программе можно менять как развертку, так и коэффициент усиления, причем последний можно изменять даже в дробных отношениях.

В режиме захвата непериодических сигналов количество измеренных точек достигает до 60000, поэтому графики переходного процесса, например, тока и скорости при пуске или остановке двигателя постоянного тока, имеют максимальную разрешающую способность для получения достоверной информации.

Таким образом, разрабатываемый шестиканальный электронный осциллограф состоит из двух самостоятельных объектов:

- персонального компьютера с программным обеспечением для отображения измеряемых электрических сигналов на экране монитора;
- универсального блока, выполненного в виде приставки к ПК, основной задачей которого является цифровая обработка измеряемых сигналов. Это устройство условно можно назвать блоком цифровой обработки сигналов (БЦОС).

Основными критериями аппаратной реализации приставки БЦОС с использованием микроконтроллеров являются соблюдение баланса между размерами и стоимостью, с одной стороны, и гибкостью и производительностью, с другой. Для разных приложений оптимальное соотношение этих и других параметров может различаться очень сильно. Поэтому существует огромное количество типов микроконтроллеров, отличающихся архитектурой процессорного модуля, размером и типом встроенной памяти, набором периферийных устройств, типом корпуса и т. д. В то время как 8-разрядные процессоры общего назначения полностью вытеснены бо-

лее производительными моделями, однако для решения поставленной задачи можно ограничиться использованием 8-разрядного микроконтроллера, так как физические процессы, происходящие в системах управления АЭП низкочастотные [3].

Основным элементом приставки БЦОС является 8-разрядный микроконтроллер фирмы Atmel с архитектурой AVR. Приоритет выбора этих МК объясняется, во-первых, их универсальностью, во-вторых, многообразием целенаправленного использования, где не требуется высокая производительность, но важна низкая стоимость. В то же время, в случае необходимости расширения программно – аппаратных возможностей приставки БЦОС существуют микроконтроллеры, обладающие большими вычислительными возможностями, например, цифровые сигнальные процессоры.

Следует отметить, что без применения аппаратных и программных средств поддержки компании Atmel, а так же некоторых других сторонних компаний, использование микроконтроллеров с архитектурой AVR в процессе реализации приставки БЦОС было бы невозможным. Объясняется это тем, что высокоскоростные процессы цифровой обработки измеряемых сигналов, происходящие внутри микроконтроллера, требуют быстрого действия МК в несколько десятков мегагерц. Поэтому отладка подобных устройств возможна только с применением внутрисхемных отладчиков On-Line Debugging.

В процессе разработки приставки БЦОС использовалась новая версия внутрисхемного эмулятора JTAGICE, работающего под управлением интегрированной среды приложений AVR Studio. Это приложение создано для поддержки нового однопроводного интерфейса фоновой отладки debug WIRE. В режиме фоновой отладки программный код формируется самим многоцелевым микроконтроллером и этим достигается полное соответствие как временных, так и электрических параметров системы в отладочном и рабочем режимах. Помимо управления интерфейсами, эмулятор JTAGICE может использоваться и в качестве внутрисхемного программатора для микроконтроллеров, имеющих на кристалле интерфейсы JTAG.

Приставка БЦОС представляет собой универсальный блок ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов, которые измеряются и оцифровываются под управлением персонального компьютера и встроенного программного обеспечения JTAGICE. Приставка

допускает измерение до 8 аналоговых сигналов с диапазоном изменения входных напряжений от 0 до 5В и 16 цифровых сигналов с уровнями напряжения логики TTL. Управление приставкой БЦОС производится через интерфейс USB, COM-порт или через промышленный интерфейс типа RS-485. Кроме того, при полном сочетании программного обеспечения самого контроллера и персонального компьютера помимо основных функций измерения можно сформировать дополнительные функции, за счет этого приставка БЦОС становится универсальным прибором для решения сложных задач автоматизированного электропривода. По сути, любая задача цифровой обработки сигналов сводится к правильному согласованию входных и выходных уровней при наличии соответствующего программного обеспечения [4].

Для измерения и регистрации электрических сигналов приставка БЦОС должна решать задачи цифровой обработки сигналов во временной области, широко используемых в современных электронных и в цифровых осциллографах. А для определения области частотных изменений сигналов она должна обладать свойствами цифрового анализатора спектра. Для изучения математических аспектов обработки сигналов используются пакеты расширения, именуемые Signal Processing в системах компьютерной математики MATLAB, Mathcad, Mathematica, Maple и др.

При проектировании регистрирующего и измерительного устройства для оптимизации структур управления автоматизированного электропривода одновременно решались независимые друг от друга две задачи. Первая из задач представляет собой построение многоканального (в нашем случае 6-ти канального) осциллографа электрических процессов с возможностью запоминания графической информации. Второй задачей являлось построение блока задания сложных форм электрических сигналов, предназначенных для подачи на вход АЭП в виде стандартных управляющих сигналов в процессе отладки его. Например, формирование трапецеидального, синусоидального, экспоненциального и прочих сигналов, получение которых средствами аналоговой техники представляется очень сложной задачей, а иногда невыполнимой. За основу реализации первой задачи приставкой БЦОС была взята теорема Котельникова, согласно которой любой непрерывный аналоговый сигнал может быть подвергнут дискретизации по времени и квантованию по уровню, то есть представлен в

цифровой форме. При этом если частота дискретизации сигнала не меньше, чем удвоенная наивысшая частота в спектре сигнала, то полученный дискретный сигнал эквивалентен искомому сигналу.

Описание решаемой задачи

Перечисленным выше требованиям к проектируемому шестиканальному электронному осциллографу, удовлетворяющему задачам наладки и эксплуатации автоматизированного электропривода, соответствует функциональная схема, представленная на рисунке 1, где наглядно показаны направления потоков измеряемых сигналов с отображением их на экране монитора персонального компьютера [4].

Выбранный для измерения и оцифровки микроконтроллер с архитектурой AVR имеет встроенный АЦП с разрядностью 10 бит и частотой дискретизации 66 кГц на 6 каналов. За счет этого, в соответствии с теоремой Котельникова, появляется возможность обрабатывать сигналы с частотой около 5 кГц на один канал, т.е. $66 \text{ кГц}/6/2 \sim 5 \text{ кГц}$, что вполне достаточно для задач мониторинга автоматизированного электропривода. АЦП микроконтроллера получает запросы от управляющего персонального компьютера и в виде решетчатой функции поток оцифрованной информации отсылаются как данные в пакетах через интерфейс USB со скоростью около 1,3 Мбит/с. Аппаратной реализацией интерфейса USB является специализированная микросхема фирмы FTDI.

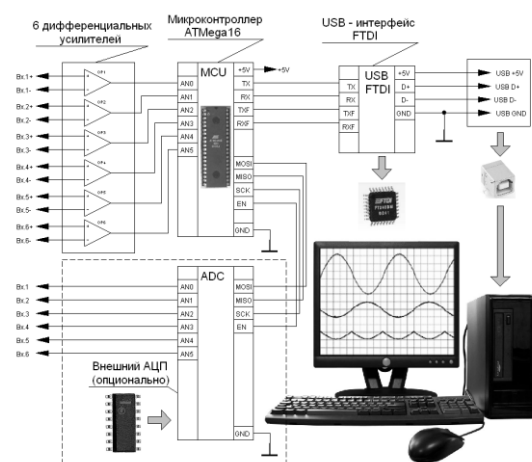


Рисунок 1 – Функциональная схема шестиканального электронного осциллографа

FTDI – это интерфейс USB, который в себе объединяет функциональные возможности двух микросхем FTDI второго поколения

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

вычислительных машин (BM), выполненных в одном устройстве. Нижний ведомый USB порт конвертируется в два канала, каждый из которых может быть индивидуально настроен как интерфейс UART типа FT232B или как интерфейс FIFO типа FT245BM без необходимости добавления USB хаба. Существуют также несколько других новых специальных режимов, каждый из которых может работать с внешней памятью EFPROM, используя команды драйвера. При этом наличие новых опций высокого уровня запуска означает, что контакты устройства UART / FIFO 10 работают в три раза быстрее нормального уровня, и один и тот же канал может быть использован несколькими устройствами. Классический тип BM асинхронного режима Bit-Bang используется для формирования пакетов дискретизации осциллографа. Длина каждого из пакетов - 3000 байт, не включая контрольных сумм и признаков изохронной передачи. Вход FTDI предоставляет драйверу виртуального COM порта или D2XX прямой доступ написанного для этих целей программного обеспечения. Все необходимые настройки режимов работы осциллографа хранятся в энергонезависимой памяти программ, а так же подключенной к интерфейсной микросхеме FTDI энергонезависимой памяти EFPROM.

Программное обеспечение осциллографа обеспечивает синхронизацию потоков при помощи директивы `synchronize()`, которая защищает фрагменты одновременного выполнения кода сразу по нескольким потокам. При этом директива `synchronize()` выбирает язык указателя входа объекта (можно использовать для этой цели любой объект, в том числе и `self`), который играет роль так называемого мьютекса (`mutex`) [5].

Началу работы алгоритма ПО осциллографа предшествует программа защиты от повторяемости фрагментов выполнения каким-либо другими потоками. Если повторяемость подтверждается, то сравниваются объекты, переданные этими потоками в `synchronize()`. При этом совпадающие указатели потока, пытающиеся войти в защищенный блок, будут приостановлены (`suspended`) до тех пор, пока первый поток не выйдет из блока. После этого выполнение второго потока продолжится, и уже он «запретит» появление этого блока во всех остальных потоках. Наличие такой защиты заметно облегчает написание многопоточных приложений, когда необходимо отслеживать попытки одновременного изменения одних и тех же данных сразу несколькими потоками. В то же время в

случае отсутствия или задержки данных в буфере поток автоматически приостанавливается служебной процедурой `Suspend`.

Главная последовательность выполняется модулем `unit MUPosc` и представляет собой визуальный интерфейс взаимодействия с пользователем.

Графический интерфейс (GUI) состоит из трех вкладок [6]:

- реального времени;
- действующего значения;
- параметры сбора данных.

Внешний вид GUI интерфейса представлен на рисунке 2.

Вкладка «Реальное время» представляет собой экран осциллографа, в котором отображаются исследуемые сигналы. Обновление экрана происходит с частотой от 10 до 30 Гц в зависимости от вычислительной мощности компьютера.

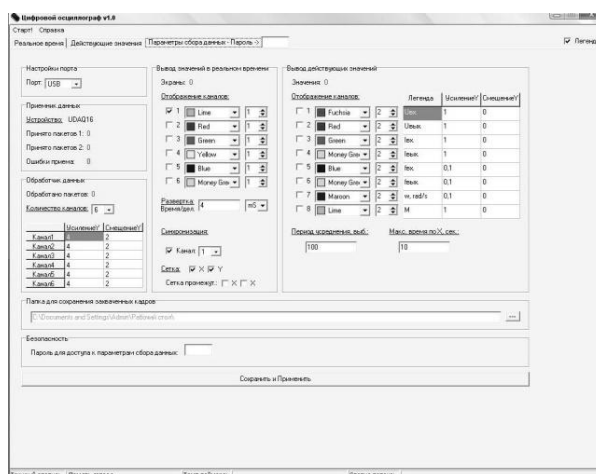


Рисунок 2 – Внешний вид графического интерфейса

Вкладка «Действующие значения» предназначена для отображения действующих и средних (выпрямленных) значений исследуемых сигналов и используется она, когда измерения мгновенных значений сигналов не имеют смысла или сильно растянуты по времени.

Вкладка «Параметры сбора данных» используется для настройки режимов отображения для каждого из исследуемых сигналов, а именно:

- порт приема данных (по умолчанию USB);
- вертикальная развертка по амплитуде;
- горизонтальная развертка по времени;
- цвет, толщина луча и видимость канала;
- включение/выключение и уровень син-

хронизации;

- отображение основной и промежуточной сетки;
- захват, сохранение и папка для сохранения кадров снятых с экрана;
- установка/снятие пароля для защиты настроек от несанкционированного доступа;
- счетчики принятых пакетов данных и сигнализация наличия ошибок передачи.

Этот модуль состоит из множества процедур подчиненных описанному графическому интерфейсу. Так, например, каждая из кнопок или вкладок меню имеет свой простой обработчик, который вызывает необходимую процедуру или функцию. По сути, графиче-

ский интерфейс это средство взаимодействия пользователя с модулем потока по приему и интерпретации данных unit UConv. Пользователь, производя определенное действие нажимая на клавишу или изменяя какой-то параметр, влияет на параметры этого потока и наблюдает на работу осциллографа близко к реальному времени.

Примеры осциллограмм (захваченные кадры) представлены на рисунке 3, в котором цифрами 1,2,3 обозначены осциллограммы выходных напряжений генератора синусоидальных сигналов (ГСС) с регулируемой частотой и амплитудой.

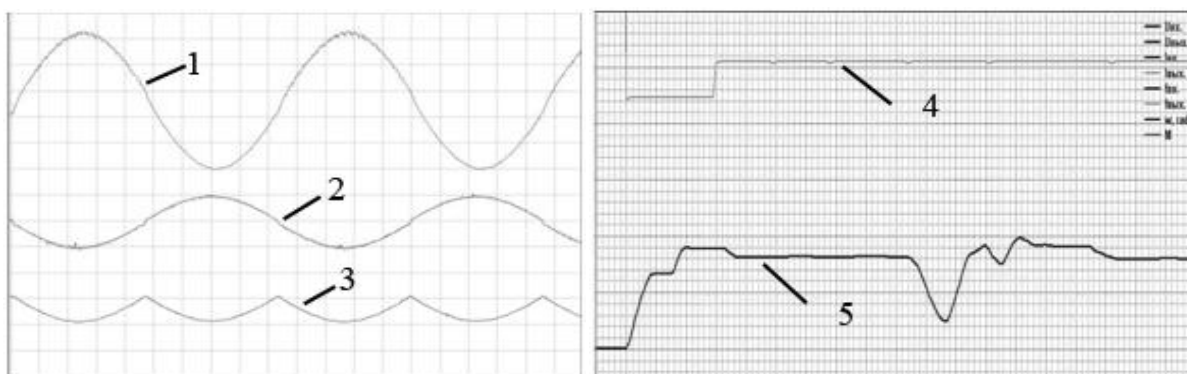


Рисунок 3 – Пример осциллограммы прибора «Реальное время»

ГСС имеет встроенное постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) в котором записан цифровой код сигнала, с максимальным спектральным приближением к форме синусоидального гармонического колебания. Данный рисунок демонстрирует возможности осциллографа для отображения и изучения сигналов нескольких контрольных точек исследуемого объекта в режиме реального времени и применима для отображения быстрых временных процессов, фиксация которых с помощью обычных измерительных приборов невозможно. Например, осциллограммы мгновенных значений напряжения и тока якоря, а также напряжение таходгенератора, которое несет в себе информацию о текущем значении скорости на валу двигателя.

Осциллограммы 4, 5 на рисунке 3 являются действующими значениями предыдущих осциллограмм и построены осциллографом в результате измерения их мгновенных значений и расчета по заданному алгоритму. Этот пример наглядно демонстрирует возможности прибора не только отображать нескольких длительных во времени процессов, но и производить соответствующие вычисления и по-

строения диаграмм по результатам расчета. Такие возможности прибора очень удобны, например, в процессе наладки электропривода по системе ТП-Д, когда требуется исследовать динамические процессы изменения тока в цепи якоря и скорости двигателя в процессе пуска, останова и приложения скачком к валу двигателя нагрузки. Каждая из осциллограмм соответствующих каналов осциллографа может быть отображено на экране монитора или записана на принтере отдельным цветом [1-3].

Выводы

1. В связи с бурным развитием вычислительной, микропроцессорной техники цифровые методы обработки сигналов получают все большее распространение. Они имеют более широкие возможности реализации сложных и эффективных алгоритмов обработки сигналов, которые в большинстве своем недоступны для реализации аналоговыми цепями.

2. Разработанный шестиканальный осциллограф благодаря оптимальной работе входного микроконтроллера обеспечивает точное измерение сигналов в диапазоне от 0 до 1000 Гц, что охватывает весь спектр час-

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

тот измерения электрических сигналов в электроприводах постоянного и переменного тока.

3. Достоинством осциллографа является низкая себестоимость прибора при относительно простом программном обеспечении всех элементов приставки и персонального компьютера.

4. Разработанный осциллограф на базе ПК, кроме сферы по наладке автоматизированного электропривода, может использоваться для очень широкого спектра измерений, в частности, при разработке и обслуживании радиоэлектронной аппаратуры, в сферах телекоммуникаций и связи, при производстве компьютерной техники, при диагностике автотранспортных средств на станциях техобслуживания и многих других, в которых необходимо тестировать и оценивать происходящие переходные, неустойчивые процессы. Учитывая ключевые преимущества, а именно, высокое быстродействие, малые габариты, легкость в использовании и невысокую стоимость, можно утверждать, что данные приборы – достойная альтернатива традиционным цифровым запоминающим осциллографам.

Недостатком прибора является невозможность использования без наличия персонального компьютера или ноутбука.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадыров И.Ш., Полянинов Г.А., Постнов А.А. Разработка цифрового управляющего устройства (ЦУУ) для электропривода постоянного тока с реверсивным тиристорным преобразователем (РТП) [текст] / Кадыров И.Ш., Полянинов Г.А., Постнов А.А.: В сб. 5 Международной научно-технической конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях».

АИЭС, 2006. – Алматы: – С. 242-247с.

2. Кадыров И.Ш., Полянинов Г.А., Постнов А.А. Разработка цифровой унифицированной системы управления электроприводами [текст] / Кадыров И.Ш., Полянинов Г.А., Постнов А.А.: Известия КГТУ им. Раззакова, № 29, 2013. – Бишкек: – С. 213-217.

3. Кадыров И.Ш., Постнов А.А. Цифровая система управления электроприводами [текст] / Кадыров И.Ш., Постнов А.А.: Автоматизация, мехатроника, информационные технологии: материалы III Международной научно-технической интернет-конференции молодых ученых / Омский государственный технический университет. – Изд-во ОмГТУ, 2013. – Омск: – С.138-144.

4. Кадыров И.Ш., Постнов А.А. Структура и алгоритм работы микроконтроллера фирмы «Atmel» в блоке цифровой обработки сигналов [текст] / Кадыров И.Ш., Постнов А.А.: Известия КГТУ им. Раззакова, № 23, 2011. – Бишкек: – С. 186-191.

5. Кадыров И.Ш., Постнов А.А. Структура и алгоритм работы интерфейса USB FTDI в блоке цифровой обработки сигналов [текст] / Кадыров И.Ш., Постнов А.А.: Известия КГТУ им. Раззакова, № 26, 2012. – Бишкек: – С. 53-57.

6. Кадыров И.Ш., Постнов А.А. Структура и алгоритм работы программного обеспечения при отображении электрического сигнала на экране персонального компьютера [текст] / Кадыров И.Ш., Постнов А.А.: Известия КГТУ им. Раззакова, № 27, 2012. – Бишкек: – С. 171-41.

Кадыров Ишенбек Шакирович – д.т.н., проф., руководитель КОС РККТУ, тел.: +(996) 312 56-00-61, e-mail: bgtu_kg@mail.ru; Борукеев Туйгунбек Сабатарович - к.т.н., директор института совместных образовательных программ, тел.: +(996) 312 54-51-27, e-mail: tuigun_ktu@rambler.ru; Козубай Искендер к.т.н., доц., старший преп. каф. «Физика», тел.: +(996) 312 54-51-59, e-mail: iskan-7@mail.ru; Матекова Гульзат Дюшеналиевна старший преп. каф. «Теоретические основы электротехники и общей электротехники», тел.: +(996) 312 56-15-38, e-mail: gulzat-7@mail.ru.