**Программный эмулятор ЭЦВМ М-20  
(первое поколение советских ЭЦВМ)   
Общее описание проекта.**

**Автор:   
Дмитрий Викторович Стефанков**

**Версия 0: 29 ноября 2014 года  
Версия 19: 6 сентября 2015 года**

**1. Общие сведения**  
Общие сведения могут найдены в литературе, список которой приведен ниже.  
Базовая литература для реализации и тестирования эмулятора ЭЦВМ М-20:  
[1963 Ляшенко]  
[1961 Шура-Бура]  
[1962 Шура-Бура, Штаркман]  
  
Исторические сведения можно найти в Интернете - в википедии или на сайте  
Виртуального Компьютерного Музея (**http://www.computer-museum.ru**).  
  
Техническую документацию можно посмотреть у С.Вакуленко:  
**https://code.google.com/p/m20/**  
  
**Важное замечание.**  
Исторические и технические данные о старых ЭВМ утрачиваются очень быстро. Верность их достаточно трудно проверять, особенно из-за утраты первичной технической документации и действующего оборудования.   
Проиллюстрируем это на одном примере для М-20. Во всех сегодняшних источниках по М-20 и старых книгах по М-20 (за исключением одного военного учебника – авторы, видимо, аккуратно конспектировали оригинальное техническое описание) сообщается, что емкость МОЗУ составляет 4096 ячеек или слов. В действительности это нет так.  
В оригинальном техническом описании М-20 (есть в отделе ДСП РГБ) приведена верная цифра.  
Дословно цитирую из части 1, страницы 3, абзаца 4:  
«**Оперативное запоминающее устройство на ферритовых сердечниках может хранить до 4095 чисел или команд**».   
Адресация памяти составляет **4096** слов, а емкость только **4095**.   
Слово по адресу 0 – это всегда 0 по чтению и записи.  
Данный пример крайне показателен.  
Отсюда можно ожидать, что возможно ряд сведений о старых ЭВМ либо неверен, либо содержит соответствующие неточности.

Официальная техническая документация по М-20 (по-прежнему с грифом ДСП):  
«**Универсальная автоматическая быстродействующая цифровая вычислительная машина М-20**», ЦБТИ, 1961-1962, 4 тома   
«**Универсальная автоматическая быстродействующая цифровая вычислительная машина М-20**», 1965, 2тома

**2. Цели проекта**  
Обеспечить достоверную логическую эмуляцию (моделирование) работы и периферийных устройств для ЭЦВМ М-20 для исполнения новых программ или готовых программ для М-20.  
  
Список моделируемого оборудования для М-20:  
1) Процессор (ЦПУ включает АУ и УУ);  
2) внутренняя оперативная память (МОЗУ);  
3) магнитный барабан (МБ);  
4) магнитная лента (МЛ);  
5) читающее устройство c перфокарт (ЧУ);  
6) устройство вывода на перфокарты (ПФ);  
7) быстродействующее печатающее устройство (БПУ);  
8) буферный регистр для печати (БР).  
  
Проект для М-20 является базовым проектом для разработки эмуляторов советских универсальных ЭЦВМ первого и второго поколения.  
Проект должен помочь выработать общую методику разработки таких эмуляторов и обеспечить базовую реализацию разных частей ЭВМ, так как советские ЭВМ 1-ого и 2-ого поколения с программной точки зрения достаточно схожи друг с другом (хотя там и было несколько разных ветвей развития).  
  
Базовая среда реализации – среда SIMH.

**Примечание 1.**  
На начальном этапе большую помощь оказало изучение прототипа эмулятора М-20 от С. Вакуленко.  
Прототип эмулятора Вакуленко имеет в своем составе поддержку ЦПУ, МОЗУ и МБ. Этот эмулятор более похоже на эмулятор ЭЦВМ типа М-20 без полной поддержки стандартных периферийных устройств для М-20 и без полной эмуляции команд М-20.  
В нем есть ошибки и неточности (впрочем у кого их нет!).  
Отсутствует документация по работе с эмулятором и нет описания входных и выходных форматов файлов (впрочем, автор предупреждает заранее об этом) .  
Нет реализации ИС-2 и СПП. Не пойдет и КТ-1. И так далее.  
Но все-таки наличие любой рабочей программы, даже урезанной по своим возможностям – это лучше, чем ее отсутствие или ее неработоспособность.  
  
  
Далее сформулируем примерный список требований к эмуляторам:  
  
1) логическая достоверность программной эмуляции аппаратной реализации ЭЦВМ;  
2) нет цели полностью эмулировать ЭЦВМ – нужно обеспечить эмуляцию  
в объеме, достаточном для запуска готовых или разрабатываемых программ;  
3) обязательно сохранять исторические черты ЭЦВМ, которые возможно кажутся сегодня анахронизмом, но их реализация позволяет сохранить историческую достоверность и позволяет увидеть трудности и сложности работы на ЭЦВМ прошлых лет(например, ввод и вывод только в числах);  
4) можно реализовать альтернативные возможности (см п.3), но только как альтернативные, иначе задачи исторической реконструкции не будут решены верно;  
5) тестовые и контрольные задачи для проверки достоверности работы;  
6) готовые образы ПО и данных (на ПФК,ПФЛ,МБ,МЛ) для демонстрации работы ЭЦВМ;  
7) документация по эмулятору и по работе с ним (с примерами!);

**3. Этапы реализации**  
1. Базовая реализацияРеализовать эмуляцию частей оборудования М-20, приведенных выше.  
Разработать методику для проверки достоверности реализации.  
Разработать тестовый набор программ для проверки достоверности работы   
различных частей М-20.  
Подготовить готовые образы ПО на ПФК, МБ, МЛ.  
  
  
2. Запуск ИС-2 и СПП  
Найти и подготовить к запуску ИС-2 (редакция 1961 года).  
Найти и подготовить к запуску ИС-2 (редакция 1965 года).  
Разработать тестовый набор программ для проверки достоверности работы ИС-2 на М-20.  
Подготовить готовые образы ПО на ПФК, МБ, МЛ.  
  
3. Кросс-ПО  
Разработать дизассемблер для М-20.  
Разработать автокод для М-20.  
Разработать кросс-компиляторы для следующих ЯП: Фортран, Алгол, Бейсик, АЛМО.  
Разработать тестовый набор программ для проверки достоверности работы кросс-ПО.  
Подготовить готовые образы ПО на ПФК, МБ, МЛ.  
  
4. Запуск ПО для М-20  
Найти готовые программы для М-20 и попробовать запустить их   
(желательно обеспечить возможность сверки результатов).  
Разработать демонстрационные программы для иллюстрации работы на М-20.  
Подготовить готовые образы ПО на ПФК, МБ, МЛ.

**4. Текущее состояние эмулятора для М-20  
  
Состояние на 3 ноября 2014 г. (этап 1 – базовая реализация).**  
Сборка эмулятора Вакуленко.  
 **Состояние на 23 ноября 2014 г. (этап 1 – базовая реализация).**  
Реализован весь список моделируемого оборудования для М-20:  
1) Процессор (ЦПУ - АУ и УУ);  
2) внутренняя оперативная память (МОЗУ);  
3) магнитный барабан (МБ);  
4) магнитная лента (МЛ);  
5) читающее устройство c перфокарт (ЧУ);  
6) устройство вывода на перфокарты (ПФ);  
7) быстродействующее печатающее устройство (БПУ);  
8) буферный регистр для печати (БР).  
Эмулятор имеет четкое логическое разделение между своими модулями.  
Набраны все базовые тесты из [1963 Ляшенко], есть дополнительные тестовые примеры.  
Эмулятор не проходит примерно 10 тестов из 150 тестовых примеров. Также нет уверенности в точной реализации различных операций АЛУ (исправленная реализация АЛУ перенесена из эмулятора Вакуленко). Исправления в модуль ЦПУ внесены, поэтому проходят практически все тесты, но есть проблемы.   
Возможно в модуле ЦПУ надо перейти к табличной реализации функций.  
Начать разработку унифицированных групп тестовых и контрольных задач для автоматической проверки достоверности работы частей ЭЦВМ в эмуляторе.  
  
**Состояние на 27 декабря 2014 г. (этап 1 – базовая реализация).**  
Исправлены ошибки в реализации периферии ЭЦВМ М-20. Проходят все тесты из [1963 Ляшенко]. Однако реализация машинной арифметики не соответствует пока реальной ЭЦВМ М-20, что выяснилось на тестовых прогонах, например, при использовании СП 010 (перевод чисел из двоичной системы счисления в десятичную).   
Тестовых примеров стало больше. Большинство работает верно.  
Добавлена поддержка кодовых страниц (CP-1251 и CP-866) для русского языка.  
  
**Состояние на 17 января 2015 г. (этап 2 – Запуск ИС-2).**  
Реализация машинной арифметики стала более или менее соответствовать ожидаемым результатам. ИС-2 редакции 1961 и 1965 годов запускается успешно. Несколько СП введены и успешно запускаются (т.е. проходят тесты с ожидаемыми результатами).  
Для каждой СП приходится готовить тесты и это крайне трудоемкий процесс.

**Состояние на 28 февраля 2015 г. (этап 3,4 – Кросс-ПО, Запуск ПО для М-20).**  
Встроенный дизассемблер есть. Автокод для М-20 реализован. У автокода нет промышленного качества, но может успешно транслировать большинство программ.  
Про трансляторы пока придется забыть. Образы МЛ, МБ и ПФК есть.  
Демонстрационные и учебные примеры есть.  
Несколько реальных программ для М-20 удалось найти. Но либо из-за ошибок в них самих (неверные к/с, ошибки или опечатки авторов при наборе текста) или из-за возможных неточностей реализации операций М-20 в эмуляторе, ни одна из программ не просчиталась до конца, чтобы можно было сравнить результаты просчетов на реальной ЭЦВМ М-20 и эмуляторе М-20.  
По этому вопросу продолжим искать реальные программы для М-20.  
Поддержаны в эмуляторе и автокоде все 8-разрядные русские кодировки:  
CP866 OEM, CP1251 ANSI, KOI8-R, UTF-8.  
Вместе с А.В. Ионовым попробовали сделать другую реализацию арифметических операций. Не все получилось. Возможно, позже удастся вернуться к этому вопросу.  
На сегодняшний день разработка эмулятора М-20 завершена.  
Не удалось достичь всех целей, но первый полный эмулятор М-20 все-таки появился.  
Ниже приводится текущий список реализованного (и еще нет) для эмулятора М-20.  
  
**Состояние на 10 марта 2015 г. (этап 3,4 – Кросс-ПО, Запуск ПО для М-20).**  
Неожиданно удалось найти в РГБ книгу [1963 ЛВИКА]. Содержит комплексный тест (КТ-1 или КТ-2). Очень хотелось проверить насколько реализация эмулятора соответствует реальному оборудованию. Описание тестов и их прохождение приведено в отдельной таблице. До конца пройти тесты не удалось. Часть найденных ошибок и неточностей исправлена. Возможно, что главная причина – ошибки в реализации арифметики на границах разрядных сеток.  
 А.В. Ионов предполагает, что ему удастся поправить нашу реализацию. Надеюсь, что результаты его работы мы увидим еще в этом столетии.  
А в целом, эмулятор получился. Большая часть тестов все-таки пройдена.

**Таблица списка реализации эмулятора М-20.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Оборудование/cвойство/Возможность** | **Статус (состояние)** |
| Процессор (ЦПУ включает АУ и УУ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Внутренняя оперативная память (МОЗУ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Магнитный барабан (МБ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Магнитная лента (МЛ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Читающее устройство c перфокарт (ЧУ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Устройство вывода на перфокарты (ПФ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Быстродействующее печатающее устройство (БПУ) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Буферный регистр для печати (БР) | Реализовано. В рабочем состоянии. |
| Поддержка русских кодировок для сообщений (cp866, cp1251, koi8r, utf8) | Реализовано. Успешно работает. |
| Улучшенные отладочные возможности: печать состояния регистров, печать состояния ячеек памяти и другие | Реализовано. Исключительно полезно. |
| Профилирование запуска программы (время и число исполнений каждой машинной инструкции) | Реализовано. Полезно и любопытно. |
| Готовые образы ПО на ПФК, МБ, МЛ | Реализовано. И можно сгенерировать еще больше. |
| Тестовый набор программ для проверки достоверности работы  различных частей М-20 | Реализовано. Постоянно используется для проверки. |
| ИС-2 1961 года | Реализовано. Но пока не работает. |
| ИС-2 1963 года | Реализовано. Успешно работает. |
| ИС-2 1965 года | Реализовано. Успешно работает. (Не предоставляется для эмулятора М-20, так как предназначена ЭЦВМ типа М-20) |
| СПП 1961 года | Частично реализовано. Успешно работает. Кроме СП 37. |
| Тестовый набор программ для проверки достоверности работы ИС-2 и СПП на М-20 | Реализовано.  Постоянно используется для проверки. |
| Дизассемблер для М-20 | Реализован как встроенный.  Пока достаточно. |
| Автокод для М-20 | Реализовано. Успешно созданы рабочие программы при помощи автокода. (Найти оригинальные автокоды для М-20 пока не удалось). |
| Кросс-компиляторы для следующих ЯП: Фортран, Алгол, Бейсик, АЛМО | Не реализовано. (И лучше найти оригинальное ПО) |
| Реальные большие программы для М-20 | Удалось найти несколько. Но пока мало удачных полных запусков. |
| Демонстрационные программы для иллюстрации работы на М-20 | Реализовано. Программы успешно запускаются на эмуляторе М-20. |

**5. Комплексный тест (КТ-1 или КТ-2)**

Найден в книге [1963 ЛВИКА]. Примерно соответствует заводским тестам М-20 (если верить описанию). Текст составлен в МГУ и предоставлен ЛВИКА.  
Набор тестов занял два дня. Проверка заняла два дня. Необходимые изменения и исправления вносились в эмулятор в ходе прохождения тестов.  
Сами тесты и результаты их прохождения можно найти в соответствующих каталогах.  
Тесты являются зацикленными (т.е. бесконечными), поэтому в командных файлах запусках стоят ограничения на число проходов с использованием точек останова (breakpoint в SIMH).  
Тесты запускаются либо с перфокарт, либо с магнитного барабана 1.   
Общий объем тестов – 123 перфокарты.  
Выбор теста и задание их параметров осуществляется через регистры клавиатурного ввода.  
  
  
**Таблица комплексного теста для эмулятора М-20.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Название части КТ** | **Контрольная сумма** | **Краткое описание** | **Способ запуска** | **Выполнение части КТ (теста)** |
| Программа запись тестов на МБ-1 | Есть. Сходится. | Тесты должны быть в памяти ЭЦВМ. Программа записывает их нужным образом на магнитный барабан №1. | С перфокарт | Успешно работает |
| Полный комплексный тест | Есть. Не сходится. | Предназначен для проверки всех цепей машины М-20. | С перфокарт  С МБ-1 | Частично пройден успешно (большая часть тестов пройдена) |
| Тест питания и “шапка” | Есть. Сходится. | Управление КТ.  Исполнение теста питания перед каждым тестом. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно работает |
| Тест № 1 | Есть. Не сходится. | Проверка цепей анализа на “0” (“нет 0”). | С перфокарт  С МБ-1 | Не пройден. (При выборе реализации арифметики по Шуре-Буре и Штаркмане проходим большую часть теста). |
| Тест № 2 | Есть. Не сходится. | Проверка цепей выработки признака w. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден (надо проверить команды циклического сложения и вычитания) |
| Тест № 3 | Есть. Сходится. | Проверка СМА на переменном коде. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 4 | Есть. Не сходится. | Проверка операций управления. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 5 | Есть. Сходится. | Проверка операций умножения | С перфокарт  С МБ-1 | Не пройден |
| Тест № 6 | Есть. Не сходится. | Сводный тест. Проверка арифметических и логических операций. | С перфокарт  С МБ-1 | Не пройден |
| Тест № 7 | Есть. Сходится. | Проверка СМЧ на переменном коде. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 10 | Есть. Сходится. | Проверка СМП на переменном коде. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 11 | Есть. Сходится. | Тест МЗУ-1. Проверка МЗУ (барабан, лента, печать, перфорация) на переменном коде. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 12 | Есть. Сходится. | Тест МЗУ-2. Проверка МБ в режиме записи групп одинаковых кодов – “1” и “0”. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 13 | Есть. Не сходится. | Тест МЗУ-3. Проверка всех режимов при обращении к МБ, МЛ и выводе на печать или перфорацию. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 14 | Нет | Проверка МОЗУ на переменном коде с долблением. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 15 | Нет | Тест перфорации. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |
| Тест № 16 | Нет | Тест печати “8” и “10”. | С перфокарт  С МБ-1 | Успешно пройден |

**6. Проблемы, недостатки, иные трудности**

1. Из документации осталось неясным как записывалась контрольная сумма для устройств если а) на МБ записываем 4096 кодов, б) на МЛ в зону записываем число кодов равных числу кодов размера этой зоны.   
(**После чтения оригинальной документации с грифом «ДСП» в РГБ возможный ответ найден**)  
2. Из документации осталось неясным до конца точное представление десятичной и восьмеричной печати на БПУ и ПФ.  
(**После чтения оригинальной документации с грифом «ДСП» в РГБ возможный ответ найден**).  
3. Что означает при вызове ССП x0y в признаках адресов?  
(**Ответ в книге «Библиотека стандартных программ» 1961 г. на странице 13.**)  
4. Версия ИС-2 из [1961 Шура-Бура] дает ошибку при вызове любой ССП. Почему?  
(**Есть расхождения по использованию ячеек или может быть эмулятор в чем-то не соответствует реальной машине М-20)**  
5. Для листингов программ мало или просто нет проверочных данных.  
**(С этим ничего не сделаешь)**  
6. Нет контрольных сумм для приведенных машинных кодов. Трудно проверять достоверность исполнения. Данная проблема характерна для всех источников, включая и книгу [1961 Шура-Бура]. Более или менее положение улучшилось после 1965 года (но и там есть неверные контрольные суммы, опечатки и ошибки при наборе).  
**(С этим ничего не сделаешь)**  
7. Плохое, запутанное, неточное или противоречивое описание реализации арифметических операций для ЭЦВМ М-20 или ЭЦВМ типа М-20.  
**(С этим ничего не сделаешь)**

**7. Краткие итоги**

1. Первый полный эмулятор ЭЦВМ М-20 есть (все-таки первый в мире!).  
2. Время реализации достаточно больше (может быть до 3-4 месяцев).  
3. Главная проблема – отсутствие оригинальных контрольных задач, тестовых комплектов  
 (это всегда будет головной болью для реализаций советских ЭЦВМ).  
4. Это была первая реализация. На ней было получено множество «шишек», но удалось  
 «вжиться» в предметную область и для следующих работах получен важный опыт.  
5. Пройдена большая часть тестов из комплексного теста 1963 года.  
6. Дело не закончено – оно будет продолжаться как будет время и возможности.

**8. Список использованной литературы**

В списке литературы присутствуют только те источники, которые есть у автора в твердом или электронном виде. Ссылки на источники, недоступные автору, не могут быть приведены (хотя бы потому, что они не просматривались и не анализировались).  
  
[1963 Ляшенко]  
Ляшенко В.Ф.   
"Программирование для электронной цифровой вычислительной машины М-20"  
1963, Москва, Советское радио

[1967 Ляшенко]  
Ляшенко В.Ф.   
"Программирование для цифровых вычислительных машин М-20, БЭСМ-3М, БЭСМ-4,   
М-220"  
1967, Москва, Советское радио  
  
[1974 Ляшенко]  
Ляшенко В.Ф.   
"Программирование для ЦВМ с системой команд типа М-20"  
Изд. 2-е. Перераб. и допол.  
1974, Москва, Советское радио  
  
[1967 Черепанов, Ширнюк]  
Г.И.Черепанов, В.Н.Ширнюк  
"Краткое описание электронной цифровой вычислительной машины 'М-20'"  
1967, Ленинград, ЛВИКА им. А.Ф.Можайского

[1975 Павлов, Посохов]  
Павлов Б.М., Посохов И.Н.   
"Математическое обеспечение ЭВМ типа М-20"  
Библиотечка программиста.   
1975, Москва, Наука  
  
[1962 Наталуха]  
Наталуха Р.Г.  
"Сборник стандартных подпрограмм и блоков,используемых при решении задач   
на ЭВМ УРАЛ-1 и М-20"  
1962, Киев, КВИРУ ПВО

[1961 Шура-Бура]  
(ред. М.Р.Шура-Бура)  
"Библиотека стандартных программ "  
1961, Москва, ЦБТИ  
  
[1963 Агеев, Королев]  
М.И.Агеев, В.М.Королев  
"Программирование для электронной цифровой машины М-20"  
1963, Москва

[1970 Ахашев, Квасов]  
В.Л.Ахашев, В.А.Квасов  
"Вопросы технической эксплуатации ЦВМ М-20"  
1970, Академия ПротиВоздушной Обороны  
  
[1965 Бабенко и др.]  
Л.П.Бабенко, Л.И. Довгополая, Г.М.Корниенко, Е.Л.Ющенко  
"Система автоматического программирования для машины М-20. Транслятор с адресного языка. Справочноe руководство."  
1965, Киев, Наукова Думка

[1965 ИС2 и ЭФ для М-20]  
Вопросы математической эксплуатации вычислительных машин. Выпуск 2.  
Стандартные подпрограммы для машин типа М-20 №1.  
"Интерпретирующая система и элементарные функции"  
1965, Москва, ВЦ АН СССР  
  
  
[1973 Лавров]  
С.С.Лавров  
"Введение в программирование"  
1973, Москва, Наука

[1977 Лавров]  
Лавров С.С.   
"Введение в программирование" (Издание 2-е, исправленное и дополненное)  
1977, Москва, Наука  
  
[1966 Иванов и др.]  
Иванов Л. А., Бунакова А. А., Лоскутов Н.Г., Давыденко В. П., Домашев И.П., Саитов В.И., Богатырев Ю.В., Горшков Л.Е.  
"Программирование для ЭЦМ оперативно-тактических и инженерно-технических задач"  
1966, Ленинград, Военная Краснознаменная Академия Связи  
  
[1965 Гутер и др.]  
Гутер Р.С., Овчинский Б.В., Резниковский П.Т.   
"Программирование и вычислительная математика. Учебное пособие."  
1965, Москва, Наука  
  
[1971 Гутер и др.]  
Гутер Р.С., Резниковский П.Т., Резник С.М.   
"Программирование и вычислительная математика" (Выпуски 1 и 2)  
1971, Москва, Наука  
  
[1967 Прохоров и др.]  
Прохоров В.И., Погорелко И.А., Яковлев В.А.   
"Основы программирования для электронных цифровых вычислительных машин"  
1967, Москва, Высшая Школа  
  
[1971 Исаев и др.]  
Исаев И.П., Бирюков И.В., Перова А.А., Матвеевичев  
"Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах"  
1971, Москва, Транспорт  
  
[1963 ЛВИКА]  
Тех.редактор Ф.А.Маханова  
“Комплексный тест”  
1963, Ленинград, Ленинградская Военная Инженерная Академия

**9. Список разработчиков ЭЦВМ М-20 и программистов**

Список составлен по техническому описанию М-20 (1961 и 1965 гг.)   
и по книге Шуры-Буры 1961 года.  
  
Разработчики М-20:  
акад. **С.А. Лебедев** (гл.конструктор)  
**Сулим М.К**. (зам. гл.конструктора)  
**Кондрашов А.Ф.**  
**Левшин В.И.**  
**Соловьев А.А.**  
**Кутеянцев И.В.**  
**Алексеев А.А.  
Кривоносов Э.И.  
Тяпкин М.В.**  
  
Разработчики ИС-2 и ССП:  
**М.Р. Шура-Бура** (ИС-2, СП 10,33,36,100)  
**В.И. Собельман** (СП 00,01,03,06,11,12,13,15,16,27,30,40,42,43,47,50)  
**В.В. Ковда** (СП 04,05)  
**В.С. Штаркман** (СП 02)  
**В.В. Мартынюк** (СП 32,34,35,41,53,54,51,52,55,56,60,61,62)  
**Т.А. Шаргина** (СП 37)  
**Т.П. Кузнецова**  (СП 17,20,45)  
**Г.М. Кириллова** (СП 41,53,54,51,52,53,55,56,60,61,62)  
**Т.А. Тросман** (СП 07,21,22,23,24,25,26,47)

**10. Список благодарностей**

Приведен в общем руководстве по проекту.