

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К-128

11-80-212

КАВЧЕНКО  
Александр Викторович

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ  
ПРОГРАММНЫХ ЭМУЛЯТОРОВ МАЛЫХ ЭВМ

Специальность: 01.01.10 - математическое обеспечение  
вычислительных машин и систем

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1980

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель: Карлов  
кандидат физико-математических наук Александр Андреевич.

Официальные оппоненты: Силин  
доктор физико-математических наук Игорь Николаевич,  
кандидат физико-математических наук Каминский  
Леонид Георгиевич.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт прикладной математики АН СССР (Москва).

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1980 г.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_\_ г.  
в " \_\_\_\_\_ " часов на заседании Специализированного совета  
Д047.01.04 при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ,  
г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

*Иванченко* Э.М.Иванченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

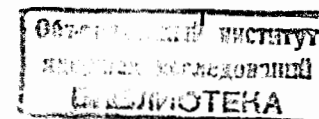
### Актуальность проблемы

Широкое внедрение малых универсальных вычислительных машин в практику научных исследований, в управление производственными процессами, а также в другие области народного хозяйства выдвинуло в число актуальных проблем задачу массовой разработки и отладки математического обеспечения этих ЭВМ для самых разнообразных применений. От того, насколько тщательно проведена разработка математического обеспечения, во многом зависит эффективность использования ЭВМ.

Конфигурация вычислительного комплекса на основе малой универсальной ЭВМ обычно определяется требованиями конкретного применения, и зачастую размеры оперативной памяти малой машины оказываются недостаточными для размещения гибкой операционной системы и эффективных программных средств отладки, а набор периферийных устройств, используемый для подготовки и отладки программ, ограничивается телетайпом и фотосчитывателем. Особенно это справедливо для управляющих комплексов, где отсутствует необходимость иметь для основной программы большую оперативную память и развитую периферию. Кроме того, функционирование ЭВМ в качестве управляющего модуля в научных экспериментах или технологических процессах резко ограничивает время, которое может быть выделено для разработки и совершенствования математического обеспечения.

Таким образом, подготовка и отладка программ для малых ЭВМ в подобных условиях оказывается малопродуктивным и трудоемким процессом, что резко увеличивает срок разработки, отладки и ввода в эксплуатацию создаваемого математического обеспечения.

Одно из возможных решений рассматриваемой проблемы состоит в создании на мощных ЭВМ (которые обладают развитой операционной системой, широким набором периферийных устройств и достаточным быстродействием) так называемых программных эмуляторов, т.е. комплексов программ, обеспечивающих функциональную эквивалентность малой и большой ЭВМ (кросс-ассемблеры ограничиваются только трансляцией программ, но не обеспечивают их выполнение).



В связи с появлением в 1973 году в составе центрального вычислительного комплекса (ЦВК) ОИЯИ малых ЭВМ М-6000 возникла актуальная задача - создания средств проведения массовой разработки и отладки программы для этих ЭВМ одновременно многими разработчиками и пользователями.

В частности, в ОИЯИ потребовалось создание, отладка и внедрение для ЭВМ М-6000 различных программных комплексов: библиотек программ для разного типа графических дисплеев, математического обеспечения удаленных дисплейных станций, программы различного целевого назначения для использования в задачах, связанных с обеспечением работы физических установок и др.

Малые ЭВМ М-6000 широко применяются во многих организациях в самых разнообразных по назначению системах, поэтому при внедрении этих ЭВМ в дополнение к поставляемому стандартному программному обеспечению возникает необходимость в создании специализированных программных средств, ориентированных на различные задачи.

Проведение разработки требуемого математического обеспечения непосредственно на ЭВМ М-6000 потребовало бы значительных (в том числе непроизводительных) затрат труда программистов и длительных сроков реализации.

Таким образом, создание системы эмуляции для малой универсальной ЭВМ М-6000 приобрело особую актуальность как для ОИЯИ, так и для других организаций.

#### Цель работы

Основная задача автора заключалась в создании программного эмулятора малой универсальной вычислительной машины М-6000 на ЭВМ СРС-1604А и БЭСМ-6.

Главное внимание было уделено постановке эмулятора на ЭВМ БЭСМ-6. БЭСМ-6 относится к мощным ЭВМ с развитой операционной системой, обладает обширным набором периферийных устройств, доступна во многих организациях; быстроедействие машины обеспечивает работу эмулятора с приемлемыми рабочими характеристиками.

Разработка программного эмулятора преследовала следующие цели:

- максимальная автоматизация всех этапов подготовки и отладки программы для малой ЭВМ;

- обеспечение возможности выполнения на большой ЭВМ отлаживаемых программ с имитацией системы прерываний малой машины;

- повышение производительности труда программистов благодаря упрощению процедур подготовки и отладки программы, применению современных носителей информации, работе в благоприятной операционной обстановке и т.д.

#### Научная новизна

Диссертационная работа содержит новое решение задачи программной эмуляции малой универсальной вычислительной машины (М-6000) на больших ЭВМ (БЭСМ-6, СРС-1604А).

Автором предложена и реализована гибкая структура эмулятора, которая позволяет легко модифицировать его и расширять.

Новым элементом является аппарат генерации различных версий эмулятора, отличающихся по размерам оперативной памяти эмулируемой ЭВМ, по конфигурации ее внешних устройств, а также по набору используемых модулей программного обеспечения.

Предложен и реализован оригинальный алгоритм эмуляции системы прерываний малой ЭВМ, что дает возможность осуществлять отладку программы малой машины с учетом временных характеристик внешних устройств.

Разработан гибкий машинно-независимый командный язык, предназначенный для взаимодействия пользователя с эмулятором.

Создана методика переноса программного комплекса эмулятора с одного типа машины (СРС-1604А) на другой (БЭСМ-6).

В дополнение к традиционным областям применения эмуляторов (для отладки и выполнения программ) автором исследована возможность использования средств эмуляции для организации управления машинами-спутниками в условиях ограниченных ресурсов последних по памяти и набору внешних устройств.

#### Практическая ценность

Созданный автором программный эмулятор успешно эксплуатируется в ОИЯИ на протяжении нескольких лет. С его помощью только в ОИЯИ к настоящему времени разработаны и отлажены различные комплексы программы для ЭВМ М-6000 общим объемом в несколько десятков тысяч команд. С участием автора эмулятор внедрен в ряде научно-исследовательских организаций страны.

Предложенная автором методика построения и структура эмулятора, а также решения, принятые при его реализации, могут найти применение при разработке программных эмуляторов малых универсальных ЭВМ других типов.

#### Апробация работы

Результаты диссертации докладывались на Международном совещании по программированию и математическим методам решения физических задач (Дубна, 1973), на VII Всесоюзной научно-технической конференции по перспективам развития вычислительных комплексов М-6000/7000 (Северодонецк, 1976), на Финско-Советском симпозиуме по методам и средствам системного программирования (Турку, 1976)<sup>4/4</sup>, на UI Конференции по эксплуатации вычислительной машины БЭСМ-6 (Тбилиси, 1976), а также на научных семинарах ЛВТА ОИЯИ.

#### Публикации

По результатам диссертации опубликовано 7 работ.

#### Объем работы

В диссертацию вошли результаты работ, выполненных автором в период 1973-1979 г.г. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, приложений и списка литературы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении формулируется постановка задачи на основе обзора развития систем эмуляции по материалам советской и зарубежной печати, а также рассматривается содержание диссертации по главам.

Отмечается, что вопросы эмуляции получили достаточно широкое освещение как в отечественной, так и зарубежной литературе.

В общем случае эмулятор - это комплекс из аппаратуры, микропрограммных средств и программного обеспечения, добавляемый к вычислительной машине с целью выполнения программ, написанных для ЭВМ другого типа.

Изучение материалов по решению проблем эмуляции позволило сделать вывод о возможности и целесообразности реализации сис-

темы разработки и отладки программ малой ЭВМ М-6000 на больших ЭВМ ЦВК ОИЯИ - СДС-1604А и БЭСМ-6 в виде программного эмулятора.

При разработке эмулятора учитывались следующие требования:

- предоставление пользователям всех ресурсов стандартного комплекта малой ЭВМ М-6000;
- необходимость удобных языковых средств доступа пользователя к возможностям эмулятора;
- обеспечение возможности расширения и модификации эмулятора в соответствии с новыми дополнениями и изменениями математического обеспечения и аппаратуры эмулируемой ЭВМ и спецификой ее отдельных применений.

Первая глава посвящена описанию методики, предлагаемой автором для реализации программных эмуляторов малых универсальных вычислительных машин.

Исходя из сформулированных во введении требований к функциональным возможностям эмулятора (на основании специфики задач, возникших при разработке математического обеспечения терминальной ЭВМ ЦВК ОИЯИ) последовательно рассматриваются способы эмуляции оперативной памяти процессора ЭВМ и устройств ввода-вывода.

Особое внимание уделено вопросам эмуляции операций ввода-вывода и системы прерываний. Это объясняется тем, что эмуляция операций ввода-вывода является более сложной, чем эмуляция команд процессора ЭВМ, ввиду зависимости состояний эмулируемой вычислительной системы от временных соотношений при обменах между процессором и внешними устройствами (кроме того, ЭВМ различаются конструкцией системы прерываний и каналов ввода-вывода, физическим представлением данных на внешних носителях и т.п.).

Отмечается важность таких моментов, как решение вопроса о размещении образа памяти эмулируемой ЭВМ в памяти эмулирующей, оптимизация структуры имитатора команд процессора с целью увеличения быстродействия эмулятора, возможность динамической буферизации вводимой и выводимой информации и т.д.

В главе также показана необходимость разработки средств генерации различных версий эмулятора в связи с разнообразием конфигураций вычислительных комплексов на основе малых ЭВМ и состава их математического обеспечения.

Таким образом, эмулирующий комплекс состоит из двух частей: собственно эмулятора и генератора версий.

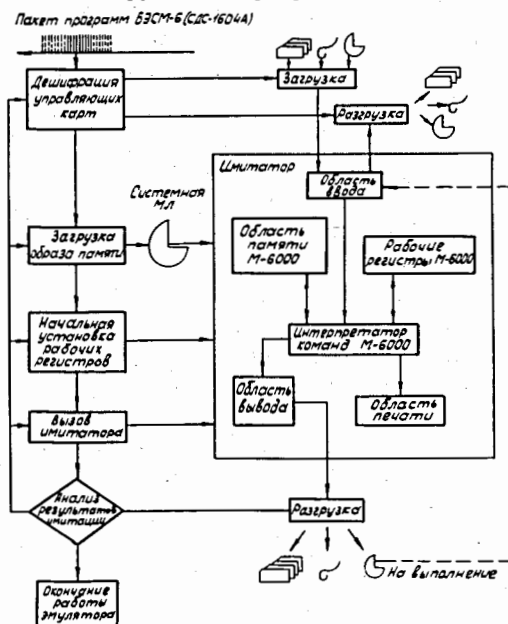
Предложенная методика обладает достаточной универсальностью

и может быть рекомендована для использования при разработке других эмулирующих систем.

Во второй главе представлена практическая реализация программного эмулятора малой универсальной ЭВМ М-6000 на СДС-1604А и БЭСМ-6; рассматривается методика переноса системы эмуляции с одного типа ЭВМ (СДС-1604А) на другой (БЭСМ-6).

Функциональные возможности созданного автором эмулятора (схема работы которого представлена на рисунке) обеспечивают:

- ввод программ (на исходном языке или двоичных) с перфокарт, бумажной или магнитной ленты;
- копирование введенной информации на указанный носитель (носители): перфокарты, перфоленту, магнитную ленту;
- трансляцию программы с языков МНЕМОКОД, ФОРТРАН, АЛГОЛ;
- выдачу транслированной программы на заданный носитель (носители): перфокарты, перфоленту, магнитную ленту;
- загрузку транслированных двоичных программ;
- загрузку подпрограмм стандартной библиотеки;
- управление распечаткой протокола загрузки и таблицы распределения памяти;
- выполнение загруженных программ.



К наиболее важным блокам системы эмуляции относятся: резидент, программа-имитатор процессора М-6000, блок эмуляции операций ввода-вывода, блок служебных программ.

Резидент эмулятора является главной административной программой, которая постоянно находится в оперативной памяти эмулирующей машины. Подчиненные административные программы вызываются в память по мере необходимости. Главная административная программа инициирует и завершает обработку любого задания на эмуляцию и обеспечивает автоматический переход от задания к заданию.

После идентификации задания управление передается соответствующей подчиненной административной программе, которая организует выполнение задания: трансляцию программы с исходных языков ЭВМ М-6000, загрузку и выполнение программы в абсолютной и перемещаемой формах, выполнение сервисных функций.

Имитатор процессора М-6000 содержит головной блок, блок обработки команд обращения к памяти, блок обработки регистровых команд, а также аппарат сбора статистики. Включение в имитатор такого аппарата позволило получить информацию о частоте использования команд эмулируемой ЭВМ с целью оптимизации имитатора для увеличения его быстродействия.

В отдельные версии имитатора включены средства для сохранения и динамического обновления информации о результатах эмуляции текущей последовательности команд, что позволяет выдавать эту информацию при возникновении заданных условий (команда останова, обращение по указанному адресу и т.п.).

Эмуляция операций ввода-вывода предусматривает три уровня.

1. Покомандная эмуляция, когда имитируется выполнение всех команд драйверов устройств ввода-вывода, что дает возможность отлаживать программы, которые используют систему прерываний в процессе счета (например, драйверы для новых внешних устройств).

2. Эмуляция работы абсолютных драйверов, когда имитатор в момент обращения к драйверу передает управление соответствующей подпрограмме эмулятора, которая и выполняет все эквивалентные действия по передаче информации для данного устройства.

3. Эмуляция работы системы ввода-вывода в основной управляющей системе ЭВМ М-6000, когда передача управления на вспомогательные подпрограммы производится в момент обращения к системной программе управления вводом-выводом ЭВМ М-6000.

В последних двух влучаях достигается значительное ускорение работы эмулятора.

С л у ж е б н ы е подпрограммы эмулятора объединяют разного рода загрузчики символьной и двоичной информации с внешних носителей, а также подпрограммы перекодировки загружаемой и выводимой информации; подпрограммы печати, перфорации данных на перфоленге и перфокартах, подпрограммы записи информации на магнитную ленту и т.д.

Быстродействие эмулятора (на ЭВМ БЭСМ-6) составляет около 60 операторов в минуту при трансляции программ с языка МНЕМОКОД и около 40 операторов в минуту - с языка ФОРТРАН.

В третьей главе приводится описание командного языка (языка управляющих карт), посредством которого пользователь взаимодействует с эмулятором. Создание удобного и гибкого командного языка для работы с эмулятором является не менее ответственной задачей, чем выбор структуры и методов реализации самого эмулятора. Только в этом случае пользователь получает действительно эффективный инструмент для подготовки и отладки программ эмулируемой ЭВМ.

Созданный универсальный командный язык обеспечивает выполнение всех требований к возможностям эмулятора, которые были сформулированы в первой главе диссертации. Управляющие карты эмулятора в соответствии с заданной на них информацией организуют обработку пакета исходных данных, подготовленных пользователем для эмуляции. С точки зрения выполняемых функций управляющие карты делятся на две группы:

- управляющие карты немедленного действия;
- управляющие карты общих заданий.

С помощью карт первой группы реализуются такие процедуры, как задание конфигурации эмулируемой ЭВМ, запуск программы на счет, занесение данных в память, печать содержимого отдельных слов или участков памяти.

Управляющие карты второй группы организуют обработку пакета программ для эмуляции по заданиям. К заданиям относятся: трансляция программ (с языков МНЕМОКОД, ФОРТРАН, АЛГОЛ), выполнение транслированных программ, выполнение сервисных функций (копирование, распечатка и т.д.).

Пакет эмулятора может состоять из одной или нескольких независимых друг от друга задач малой ЭВМ. В качестве иллюстрации

ниже приведен пакет эмулятора, содержащий задание на трансляцию программы с языков ФОРТРАН и МНЕМОКОД и их совместное выполнение.

```

:
:
%FTN,L,E.           Получение листинга (L) , трансляция с
(программа         языка ФОРТРАН с сохранением для выполне-
на перфокартах)   ния (E)
%ASS,L,E.         Получение листинга (L) , трансляция с
(программа         языка МНЕМОКОД с сохранением для выполне-
на перфокартах)   ния (E)
%EXB,S.           Загрузка необходимых подпрограмм стан-
%FIN.             дартной библиотеки. Печать протокола за-
%END.             грузки (S) . Конец задания на эмуляцию.
:
:
:

```

В языке предусмотрены средства доступа к генератору версий эмулятора, что позволяет осуществить процедуру генерации версии, рассчитанной на различные конфигурации эмулируемой системы. В процессе генерации пользователь определяет параметры эмулируемого комплекса: объем оперативной памяти, тип представления информации на перфоленге (5 или 8 дорожек), распределение кодов выборки и временные характеристики внешних устройств, а также применяемые модули программного обеспечения ЭВМ М-6300.

Командный язык прост в изучении, свободно допускает расширение и модификацию.

В четвертой главе диссертации рассматривается применение эмулятора для организации управления терминальной ЭВМ.

Известны системы с терминальными ЭВМ, в которых загрузка этих ЭВМ модулями программного обеспечения осуществляется по линиям связи из центральной ЭВМ, для чего на терминальной ЭВМ используется специальный загрузчик.

Разработка эмулятора позволила по-новому решить задачу управления терминальной ЭВМ. Использование средств эмуляции дает возможность значительно ускорить обновление состояния терминальной ЭВМ за счет передачи по линиям связи готовых "образов" памяти. Тем самым упраздняются непроизводительные процедуры загрузки и подготовки программ к выполнению; одновременно экономится оперативная память за счет исключения программы управления загрузкой.

В ОИЯИ на базе малой ЭВМ М-6000 создана удаленная дисплейная станция (УДС), обеспечивающая в режиме диалога доступ пользователей через линии связи к ЭВМ БЭСМ-6. В настоящее время пользователям предлагается несколько вариантов локального математического обеспечения УДС, отличающихся набором функциональных возможностей. Поэтому для обеспечения эффективности работы УДС требуется наличие аппарата динамического обновления памяти терминальной ЭВМ в процессе решения задачи. С помощью эмулятора на центральной ЭВМ формируются необходимые "образы" памяти, которые записываются на магнитную ленту (диск) и образуют на центральной машине архив, доступный пользователю на терминальной машине в любой момент времени.

При необходимости по запросу оператора с терминала центральная ЭВМ передает в ЭВМ М-6000 по каналу связи требуемые в данный момент "образы" памяти, после чего работа продолжается уже с обновленной памятью УДС.

Наличие линий связи между центральной ЭВМ (БЭСМ-6) и терминальной машиной (М-6000), организация на центральной машине архива "образов" памяти терминальной ЭВМ, а также разработка программы обмена позволило использовать процессор М-6000 в системе эмуляции в качестве исполнителя его собственных команд. Программы связи реализуют динамическое взаимодействие: эмулятор ↔ процессор М-6000, тем самым резко ускоряя работу эмулятора.

В заключении формулируются основные результаты.

#### Основные результаты, полученные в диссертации

1. Решена задача создания программного эмулятора малой универсальной вычислительной машины (М-6000) на больших ЭВМ (СДС-1604А и БЭСМ-6). В результате у разработчиков математического обеспечения ЭВМ М-6000 появились эффективные средства для массовой отладки и выполнения разрабатываемых программ на больших ЭВМ. Созданная система эмуляции успешно эксплуатируется в ОИЯИ и ряде научно-исследовательских организаций страны.

2. Разработана общая методика построения программных эмуляторов малых универсальных ЭВМ, отличающаяся тем, что:

- предложен и реализован аппарат, который обеспечивает генерацию различных версий эмулятора в зависимости от конфигурации

эмулируемой вычислительной системы (ее оперативной памяти, периферийного оборудования и модулей программного обеспечения);

- предусмотрена многоуровневая эмуляция операций ввода-вывода, включая эмуляцию системы прерываний малой ЭВМ с учетом временных характеристик внешних устройств;

Архитектура эмулирующего комплекса допускает его дальнейшее расширение и модификацию, а модульная структура построения позволяет использовать предложенную методику и отдельные функциональные блоки при создании эмуляторов других вычислительных систем.

3. Предложены и реализованы отличающиеся новизной методы, которые позволяют повысить эффективность системы эмуляции:

- хранение на большой ЭВМ в виде файлов "снимков памяти" малой машины с загруженными модулями стандартного программного обеспечения; в результате исключается эмуляция непроизводительных процедур загрузки этих модулей в память эмулируемой ЭВМ, что позволяет существенно ускорить общее быстроедействие системы эмуляции;

- динамическая буферизация вводимой и выводимой информации, что практически снимает ограничения на размеры вводимых программ и выводимых данных;

- применение аппарата сбора статистики, характеризующей частоту использования команд в программах малой ЭВМ, для последующей оптимизации блоков, эмулирующих наиболее часто употребляемые команды.

4. Предложен и реализован эффективный машинно-независимый командный язык для взаимодействия пользователя с эмулятором. Пользователю предоставлен широкий набор возможностей, обеспечивающих простые и удобные средства по отладке и подготовке математического обеспечения малой универсальной ЭВМ. Модульная структура интерпретатора директив командного языка легко допускает расширение набора директив, что позволяет расширять возможности эмулирующей системы.

5. Разработана методика переноса программного комплекса эмулятора одного типа эмулирующей ЭВМ на другой. Показано, что наиболее целесообразно осуществлять перенос функционально законченными логическими блоками, написанными на общем языке высокого уровня, с последующей реализацией отдельных модулей на автокоде с целью

увеличения быстродействия и снижения требований к объему занимаемой оперативной памяти эмулирующей ЭВМ.

6. Создана методика и разработаны программы, позволяющие применить эмулятор для организации управления терминальными ЭВМ, что дало возможность существенно повысить эффективность использования удаленной дисплейной станции ОИЯИ за счет динамического обновления памяти терминальной ЭВМ в процессе решения задачи. Реализованный алгоритм межмашинной связи дает возможность использовать процессор М-6000 в системе эмуляции в качестве исполнителя его собственных команд. В этом случае быстродействие эмулятора практически достигает быстродействия эмулируемой машины.

#### Работы, положенные в основу диссертации

1. Кавченко А.В., Карлов А.А., Полинцев А.Д., Смолякова Т.Ф. Эмулятор ЭВМ М-6000 на ЭВМ БЭСМ-6 и CDC-1604A. В кн.: Совещание по программированию и математическим методам решения задач. ОИЯИ, ДПО-7707, Дубна, 1974, с.326-331.
2. Кавченко А.В., Карлов А.А., Полинцев А.Д., Смолякова Т.Ф. Командный язык для эмуляции малой ЭВМ. В кн.: Материалы VII Всесоюзной школы по автоматизации научных исследований. Ленинград, 1974, с.509-519 (см. также сообщение ОИЯИ, II-7828, Дубна, 1974).
3. Кавченко А.В., Карлов А.А., Полинцев А.Д., Смолякова Т.Ф. Программный эмулятор малой ЭВМ. Сообщение ОИЯИ, 11-9558, Дубна, 1976, с.3-9.
4. A.A.Karlov, A.V. Kavchenko, A.D.Polyntsev, T.F.Smoliakova Program Emulator for the Minicomputer. Finnish-Soviet Symposium, Systems Programming and Tools, Turku, 1976.
5. Кавченко А.В., Карлов А.А. Эмулятор ЭВМ М-6000 на БЭСМ-6. Руководство для пользователей. Деп.публ. ОИЯИ, Б1-10-11999, Дубна, 1977, с.3-35.
6. Кавченко А.В. Генератор программного эмулятора ЭВМ М-6000 на БЭСМ-6. Деп.публ. ОИЯИ, Б2-11-11488, Дубна, 1978.
7. Кавченко А.В., Карлов А.А. Логическая структура эмулятора малой ЭВМ М-6000 на БЭСМ-6. Сообщение ОИЯИ, P11-11632, Дубна, 1978, с.3-11.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 марта 1980 года.