
ПРИБОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ,
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И СПРАВОЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

№ 8 (218) 2018

Издавался под названием «Приборы и системы управления» с 1956 г.,
с июля 2000 г. издается под названием «Приборы».

ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» (г. Москва) – 60 лет!



Н.Л. Прохоров, А.К. Ким, Г.А. Егоров

60 ЛЕТ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Аннотация

Рассматриваются основные этапы деятельности Института электронных управляющих машин им. И.С. Брука за 60 лет его существования, включая создание первых в нашей стране малых электронных вычислительных машин, агрегатной системы средств вычислительной техники (АСВТ), системы малых ЭВМ (СМ ЭВМ), современных вычислительных комплексов и систем на базе отечественных микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус».

Ключевые слова: ИНЭУМ, управляющие ЭВМ, АСВТ, СМ ЭВМ, управление в реальном времени, микропроцессоры «Эльбрус».

Институт электронных управляющих машин (ИНЭУМ) был организован по Постановлению Президиума АН СССР № 413 от 27 июня 1958 года на базе самостоятельной Лаборатории управляющих машин и систем АН СССР (ЛУМС), которая двумя годами ранее выделилась из состава Энергетического института АН СССР им. Г.М. Кржижановского. 26 сентября 1958 года Президиум АН СССР Постановлением № 622, подписанным Президентом АН СССР академиком А.Н. Несмеяновым и главным ученым сек-

ретарем АН СССР академиком А.В. Топчиевым, утвердил структуру института, а приказ № 1 института датирован 1 октября 1958 года. Организатором и первым директором ИНЭУМ был один из основоположников отечественной вычислительной техники член-корреспондент АН СССР Исаак Семенович Брук (1902-1974 гг.), имя которого в настоящее время носит институт.

Начало работы И.С. Брука над цифровыми вычислительными машинами относится к 1948 году, когда он совместно с Б.И. Рамеевым

составил отчет о принципах работы цифровой ЭВМ с хранимой программой.

Первое в СССР авторское свидетельство на изобретение цифровой ЭВМ было получено И.С. Бруком и Б.И. Рамеевым с приоритетом, датированным 4 декабря 1948 года. Этот день считается днем российской информатики. В 1950-1951 гг. под руководством И.С. Брука в ЛУМС АН СССР была разработана автоматическая цифровая вычислительная машина М-1. Основные идеи построения М-1 были сформулированы И.С. Бруком и Н.Я. Матюхиным, тогда молодым инженером, окончившим МЭИ, впоследствии членом-корреспондентом АН СССР. В М-1 были реализованы двухадресная система команд и ряд важнейших решений по выбору логики и схемотехники цифровых ЭВМ, сыгравших весьма значительную роль в дальнейшем развитии отечественной вычислительной техники.

Здесь важно отметить, что разработчики М-1 пришли к классическому построению цифровых вычислительных машин на основе архитектуры с хранимой программой (называемой сейчас архитектурой фон Неймана) независимо от работ американских ученых, впервые опубликованных в сокращенном виде в 1962 году.

В 1952 году в лаборатории И.С. Брука группой молодых выпускников МЭИ, возглавляемой М.А. Карцевым, была разработана машина М-2. Она имела примерно такую же скорость, как и ЭВМ «Стрела», но содержала в 4 раза меньше электронных ламп, потребляла в 7...8 раз меньше электроэнергии, занимала в 10 раз меньшую площадь. Эти достижения были обусловлены применением обычных осциллографических электронно-лучевых трубок в качестве элементов оперативной памяти и полупроводниковых диодов в логических схемах. Вероятно, впервые в М-2 при ее модернизации в 1953-1956 гг. М.А. Карцевым была реализована идея укороченных адресов в командах (с переключением областей памяти) и укороченных кодов операций как способа согласования форматов команд и форматов чисел. Эта идея стала предшественницей способов формирования исполнительных адресов в машинах второго и третьего поколений.

На основе опыта работ по М-1 и М-2 И.С. Брук в 1955-1956 гг. сформулировал концепцию пост-

роения малых ЭВМ, которая была отражена им в термине «малогабаритная машина». Таким образом, им была предвосхищена ставшая преобладающей в 1980-х годах тенденция разделения компьютерного рынка с явным выделением двух основных классов: малых и суперЭВМ.

Первым решением в области создания малых ЭВМ была разработка М-3, проведенная в ЛУМС совместно с ВНИИЭМ (академик А.Г. Иосифьян) в 1956-1957 гг. Основные идеи построения М-3 были сформулированы И.С. Бруком, Н.Я. Матюхиным, В.В. Бельнским, Б.М. Каганом, Б.М. Долкартом. М-3 предназначалась для проектных и исследовательских институтов и после ее приемки в 1957 году Государственной комиссией под председательством академика Н.Г. Бруевича выпускалась на заводе им. С. Орджоникидзе в г. Минске. М-3 послужила прототипом для двух промышленных серий ЭВМ – «Минск» и «Раздан».

Созданию ИНЭУМ предшествовала постановка И.С. Бруком в 1957 году научной проблемы «Разработка теории, принципов построения и применения специализированных вычислительных и управляющих машин». Проблемная записка, составленная группой специалистов под руководством И.С. Брука, была опубликована АН СССР в 1958 году в серии «Вопросы советской науки». В записке было показано значение управляющих машин для народного хозяйства, впервые были обоснованы и изложены главные направления фундаментальных и прикладных исследований в области автоматизации производства и управления объектами с помощью специализированных и управляющих машин. Разработка теории и принципов построения вычислительных специализированных и управляющих машин сводилась к исследованиям в области информационного аспекта управления, рассмотрению управляющей машины как элемента электрической цепи, созданию теории и методов осуществления самонастраивающихся систем, разработке новых элементов цифровых машин и логических схем. Были намечены пути применения управляющих машин в энергетике, машиностроении, металлургии, химическом производстве, а также в планировании и статистике народного хозяйства. Эта записка послужила толчком к организации в СССР целого ряда

научно-исследовательских институтов и проектно-конструкторских бюро в области создания управляющих машин и систем, с которыми ИНЭУМ в дальнейшем плодотворно сотрудничал.

Понятие о специализированных управляющих и вычислительных машинах, сформулированное в проблемной записке применительно к ЭВМ первого поколения, со временем изменило свое первоначальное значение благодаря огромному прогрессу в области электроники. В то же время сохранило свое значение и получило дальнейшее развитие введенное И.С. Бруком понятие «управляющие ЭВМ», которые отличаются от универсальных ЭВМ характером связи с объектом управления, более высокой надежностью, возможностью работы в реальном масштабе времени, эксплуатацией в неблагоприятных промышленных условиях внешней среды и др.

В 1958-1964 гг. в ИНЭУМ была разработана управляющая вычислительная машина М-4 (М4-М, М4-2М), предназначенная для управления в реальном времени комплексом радиолокационных станций, который создавал Радиотехнический институт АН СССР (академик А.Л. Минц) в составе радиоэлектронной системы наблюдения за искусственными спутниками Земли. М-4 была одной из первых отечественных машин, построенных на элементной базе второго поколения. В 1962 году после успешных испытаний на действующем макете комплекса радиолокационных станций главный конструктор М-4 М.А. Карцев настоял на существенной модернизации машины, имея в виду, что благодаря прогрессу в электронной технике за 1958-1962 гг. можно было резко улучшить характеристики и выпустить машину, на порядок более мощную, чем ЭВМ, выпускавшиеся тогда в СССР. Модернизированная машина М4-2М имела быстродействие 220 тыс. оп./с на программах, записанных в постоянной памяти, объем оперативной памяти – до 16 Кслов (29-разрядных), объем памяти инструкций и констант – до 12 Кслов (29-разрядных). В таком виде М4-2М выпускалась серийно с 1964 года в течение 15 лет. Затем для нее в 1968 году были разработаны периферийные машины (М4-3М) для ввода и первичной обработки данных, поступающих от объекта, и для хранения, документирования и выдачи информа-

ции внешним абонентам при одновременной асинхронной работе всех абонентских систем и устройств. Быстродействие комплекса из М4-2М и М4-3М составляло 400 тыс. оп./с.

Руководителем этих разработок М.А. Карцевым был сделан значительный вклад в развитие отечественных цифровых вычислительных и управляющих машин. Свой опыт и представления об архитектуре ЭВМ М.А. Карцев обобщил в монографии «Архитектура цифровых вычислительных машин», изданной в 1978 году, рассмотрев эти вопросы применительно к машинам третьего поколения.

В 1967 году М.А. Карцев предложил новый подход к построению архитектуры и структуры вычислительных систем, использующих параллелизм в вычислениях. Под руководством М.А. Карцева в ИНЭУМ был разработан эскизный проект вычислительной системы М-9 с производительностью 1 млрд. оп./с. В М-9 на матрице 32×32 элементарных вычислителей с общим потоком команд должны были выполняться операции над новым классом операндов: не над числами, а над функциями одной или двух переменных, заданных в дискретных точках. Проект М-9 был богат новыми на то время идеями, многие из которых не реализованы до сих пор.

В дальнейшем коллектив М.А. Карцева составил ядро Научно-исследовательского института вычислительных комплексов – НИИВК, создавшего высокопроизводительные вычислительные комплексы М-10 и М-13. В настоящее время институт носит имя М.А. Карцева.

В 1958-1961 гг. в ИНЭУМ под руководством И.С. Брука была разработана универсальная ЭВМ М-5, предназначенная для планово-экономических расчетов. М-5 отличалась развитыми возможностями мультипрограммной и многотерминальной работы и, будучи одной из первых отечественных ЭВМ, построенных на технической базе второго поколения, по своей архитектуре и структуре во многом являлась предшественницей ЭВМ третьего поколения. Надо отметить, что разработчики М-5 в ИНЭУМ не имели во время разработки каких-либо сведений о существовании ЭВМ с подобными возможностями. Сведения о зарубежных ЭВМ с мультипрограммным режимом работы, появившихся в 1960-1961 гг. («Атлас», «Гамма-60» и др.), стали

известны у нас значительно позже того, как разработка М-5 была завершена.

Важным направлением работ ИНЭУМ в 1960-х годах была автоматизация мощных энергоблоков «котел-турбина-генератор» на тепловых электростанциях. Разработанные в ИНЭУМ управляющие машины М-7 были введены в эксплуатацию в 1966 году на блоке 200 МВт Щекинской ГРЭС и в 1969 году на блоке 800 МВт Славянской ГРЭС. Системы управления энергоблоками на базе М-7 выполняли функции поддержания нормальных режимов работы блока с оптимизацией их на минимум расхода топлива и выдачей соответствующих уставок на регуляторы, а также сложные логические программы операций пуска и останова энергоблока, анализ сочетаний параметров работы энергоблока с целью обнаружения предаварийных ситуаций, отображение необходимой информации на табло пульта оператора энергоблока. Разработкой и внедрением М-7 руководили Н.Н. Ленов и Н.В. Паутин, бывший директором ИНЭУМ в 1964-1967 гг.

В начале 1960-х годов руководство страны приняло решение, направленное на «приближение науки к производству». Значительная часть институтов бывшего Отделения технических наук АН СССР была передана в промышленность, в том числе и ведущие институты в области вычислительной техники (ИТМиВТ, ИНЭУМ и др.). Постепенно изменилась тематика этих институтов в ущерб фундаментальным исследованиям и перспективным разработкам. Изменилась мотивация ученых, работавших в этих, теперь промышленных, институтах. Это решение привело к значительному ослаблению АН СССР по направлениям науки, связанным с кибернетикой и информатикой. Оно коснулось прежде всего Российской Федерации, академическая наука которой отождествлялась с АН СССР. Работы в области кибернетики и информатики стали развиваться в это время в академиях наук союзных республик (Украина, Белоруссия, Эстония, Латвия, Литва, Армения, Грузия, Узбекистан), а также в Сибирском и Дальневосточном отделениях АН СССР, благодаря усилиям их организаторов – академиков М.А. Лаврентьева, С.Л. Соболева, А.А. Воронова.

С середины 1960-х годов ИНЭУМ сотрудничал со многими из академических институтов,

представляя отраслевую науку как головная организация Минприбора СССР в области вычислительной техники.

В 1965 году ИНЭУМ возглавил работы Минприбора СССР по созданию Агрегатной системы средств вычислительной техники на микроэлектронной базе (АСВТ-М), предназначенной в первую очередь для автоматизации технологических процессов в промышленности и автоматизированных систем управления предприятиями и входящей в состав Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Хотя в эти годы производство отечественных интегральных схем еще находилось в стадии разработки и опытной эксплуатации, уже в 1970 году в ИНЭУМ были разработаны первые в стране управляющие вычислительные комплексы (УВК) третьего поколения. Эти комплексы в совокупности с другими агрегатными комплексами ГСП составили техническую базу автоматизированных систем, которые в большом количестве создавались в СССР в 1970-х годах для решения задач автоматизации диспетчерского управления в крупных энергосистемах, управления технологическими процессами, производством и предприятиями в машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности, а также для автоматизации научных исследований и экспериментов.

Главным конструктором АСВТ-М был назначен Б.Н. Наумов (1927-1988 гг.), ставший директором ИНЭУМ в 1967 году (в 1984 году был избран действительным членом АН СССР).

Идеология, структура, принципы унификации моделей УВК, узлов и устройств АСВТ были разработаны во второй половине 1960-х годов совместно ИНЭУМ (Е.Н. Филинов) и НИИУВМ, г. Северодонецк (В.В. Резанов).

При определении принципов архитектуры и структуры моделей ЭВМ и УВК, входящих в состав АСВТ, учитывались два принципиальных момента:

- необходимость предусмотреть ряд моделей для нескольких (хотя бы трех) уровней иерархии АСУ на промышленном предприятии, отвечающих требованиям решения разных классов задач (подсистемы централизованного контроля параметров технологических про-

цессов, локального управления отдельными технологическими агрегатами и устройствами, управления технологическим процессом, диспетчерского управления производством, планирования и т. д.);

- возможность создания универсальных управляющих машин и управляющих вычислительных комплексов на элементной базе второго и третьего поколений вместо многочисленных специализированных ЭВМ, разрабатывавшихся в 1950-х – начале 1960-х годов.

В 1974 году решением Межправительственной комиссии по сотрудничеству социалистических стран в области вычислительной техники (МПК по ВТ) ИНЭУМ был определен головной организацией по созданию системы малых ЭВМ (СМ ЭВМ), а директор ИНЭУМ Б.Н. Наумов назначен генеральным конструктором СМ ЭВМ. В 1983 году Б.Н. Наумов возглавил созданный на базе части подразделений ИНЭУМ Институт проблем информатики АН СССР (ИПИАН). С 1983 года директором ИНЭУМ, а с 1984 года генеральным конструктором СМ ЭВМ стал Н.Л. Прохоров. Комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по СМ ЭВМ выполнялся более чем 30 институтами и предприятиями СССР, Болгарии, Венгрии, ГДР, Республики Куба, Польши, Румынии и Чехословакии.

СМ ЭВМ включала в себя набор базовых моделей микро- и мини-ЭВМ: базовый ряд процессоров различной производительности и устройств оперативной памяти; широкую номенклатуру устройств ввода-вывода информации, внешней памяти, отображения информации, связи с объектом, внутримашинной и межмашинной связи. СМ ЭВМ была предназначена для построения:

- управляющих вычислительных комплексов, используемых в системах управления промышленными технологическими процессами и агрегатами;
- измерительно-вычислительных комплексов, используемых в системах автоматизации проектирования;
- комплексов сбора и обработки данных в системах управления объектами промышленной сферы,

а также для выполнения небольших по объему коммерческих и инженерных расчетов.

С середины 1970-х годов две международные системы ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ в совокупности, дополняя друг друга, стали технической базой автоматизации управления и обработки информации во всех сферах народного хозяйства стран СЭВ, участвовавших в Соглашении по сотрудничеству в области вычислительной техники.

Авторитет и роль ИНЭУМ как головной организации по СМ ЭВМ, в создании которой участвовали несколько десятков организаций и предприятий сотрудничавших стран, были поддержаны опытом и квалификацией инженерной школы малых ЭВМ И.С. Брука и школы построения систем, машин и агрегатных комплексов, сформировавшейся под руководством Б.Н. Наумова. Развитию и авторитету СМ ЭВМ способствовало принятие международных стандартов на интерфейсы аппаратуры и системы программирования СМ ЭВМ, конструктивы, определяющие типоразмеры печатных плат, панелей и стоек, и другие нормативы, обеспечивающие сопряжение устройств разных изготовителей в составе комплекса.

Большое место в номенклатуре СМ ЭВМ занимали контроллеры и периферийные устройства, а также спецпроцессоры, обеспечивающие значительное повышение производительности ЭВМ для конкретного класса решаемых задач. Здесь прежде всего необходимо отметить спецпроцессор для быстрых преобразований Фурье (СПФ СМ), разработанный совместно с Институтом радиотехники и электроники АН СССР и использовавшийся для обработки радиолокационных изображений поверхности планеты Венера (Б.Я. Фельдман). Для этого крупномасштабного исследования, проведенного АН СССР под руководством академика В.А. Котельникова, требовались вычислительные мощности, эквивалентные суперЭВМ, которыми ИРЭ АН СССР не располагал. Задачу удалось решить с помощью мини-ЭВМ, расширенной спецпроцессором Фурье.

Отдельно необходимо отметить процессор логического моделирования, который являлся специализированным вычислителем для ускоренного моделирования цифровых схем (Б.Г. Сергеев). Область применения этого спецпроцессора – системы автоматизированного проектирования СБИС. Оригинальная потоковая (конвейерная)

архитектура спецпроцессора обеспечивала ускорение моделирования по сравнению с ЭВМ общего назначения в среднем в 1000 раз.

Значительные результаты были достигнуты в работах по созданию запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах, проводимых под руководством В.К. Раева. Результаты этих работ оказали существенное влияние на развитие в стране фундаментальной науки о микроструктуре доменных границ и диверсифицированной технологии создания накопителей информации на магнитных доменах микронных и субмикронных размеров.

Измерительно-вычислительные комплексы (ИВК), созданные на базе СМ ЭВМ, средств КАМАК или АСЭТ, были ориентированы на автоматизацию сложных экспериментов в реальном времени в различных областях науки и техники. Гибкость и модульность средств СМ ЭВМ, наличие развитых средств сопряжения между ЭВМ и экспериментом в стандарте КАМАК или АСЭТ, наличие проблемно-ориентированных системных и прикладных программных средств СМ ЭВМ обеспечили широкое использование ИВК в системах автоматизации научных исследований, в первую очередь в институтах АН СССР.

Появление СМ ЭВМ позволило принципиально повысить эффективность и массовость применений автоматизированных рабочих мест в САПР. Возможности универсального, базового графического и прикладного программного обеспечения, систем управления базами данных сделали реальностью диалоговый режим проектирования, получение результатов проектирования в удобной форме, возможность ввода, редактирования и вывода графических изображений, схем и чертежей. В состав АРМов входили периферийные графические устройства, разрабатываемые для применения в областях радиоэлектроники (АРМ-Р), машиностроения (АРМ-М), строительства (АРМ-С), экономики (АРМ-Э) и др. Реализованный принцип программно-аппаратной совместимости всех средств СМ ЭВМ обеспечил безболезненное для пользователей и последовательное наращивание производительности АРМ включением в его состав разрабатываемых в институте процессо-

ров СМ3, СМ4, СМ1420, СМ1700 и графических векторных и цветных растровых дисплеев ЭПГ-СМ и ЭПГ-3.

В 1974-1990 гг. по разработкам ИНЭУМ было выпущено более 60 тысяч вычислительных и управляющих комплексов СМ ЭВМ, а также измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) и автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе СМ ЭВМ.

Важно подчеркнуть, что индустрия СМ ЭВМ включала в себя развитую по всей стране инфраструктуру технического обслуживания и обучения. Средства СМ ЭВМ явились массовой школой для многих десятков тысяч специалистов, которые приобщились к миру компьютерных технологий.

В 2006 году произошел процесс интеграции и объединения деятельности ИНЭУМ и ЗАО «МЦСТ», известного в нашей стране разработчика отечественных микропроцессоров и высокопроизводительных комплексов серии «Эльбрус». Основная деятельность института в настоящее время направлена на исследования, разработку и реализацию промышленных технологий двойного применения в области высокопроизводительных вычислительных комплексов и систем на основе отечественных микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус».

Другим направлением является создание компьютеризированных ультразвуковых медицинских диагностических систем, обеспечивающих 2D- и 3D-визуализацию биологических объектов, а также ключевых компонентов для экзопротезов с управлением на основе импульсов головного мозга.

Разрабатываемые в институте базовые технологии применяются для построения управляющих и информационных систем в промышленной сфере, энергетике, здравоохранении, образовании и других отраслях. К последним разработкам института, выполненным в рамках федеральных государственных программ, следует отнести:

- персональный компьютер «Монокуб-РС» на базе микропроцессора «Эльбрус-2С+»;
- автоматизированное рабочее место «Эльбрус 401-РС» на базе четырехъядерного микропроцессора «Эльбрус-4С»;

- четырехпроцессорный сервер «Эльбрус-4.4» на базе микропроцессора «Эльбрус-4С» с производительностью до 200 Гфлопс;
- вычислительный кластер на базе сервера «Эльбрус-4.4» для создания высокопроизводительных суперЭВМ терафлопсной производительности;
- четырехпроцессорный сервер баз данных «Эльбрус-4.4 БД» на базе микропроцессора «Эльбрус-4С»;
- защищенный ноутбук «ПАРМ» на базе микропроцессора МЦСТ R1000;
- материнские платы «Монокуб» и МПУ-АТХ для использования во встраиваемых системах;
- автоматизированное рабочее место СМ1820МВУ-116.05 и пульт оператора СМ1820МВУ-116.06 на базе микропроцессора «Эльбрус-4С» для создания типовых рабочих мест операторов на атомных и тепловых электростанциях;
- управляющий вычислительный комплекс СМ1820МВУ-118 на базе микропроцессоров «Эльбрус-4С» для использования в качестве сетевых серверов и информационно-измерительных систем на атомных и тепловых электростанциях;
- контроллеры семейства СМ1820МКП на базе архитектуры Мiсго-РС для создания распределенных многоканальных АСУТП;
- компьютеризированный многофункциональный эхоэнцефалодоплерограф «ЭхЭдг-КОМПЛЕКС-М» ультразвуковой диагностики для широкого применения;
- бионические интеллектуальные роботизированные протезы (БИНК, КИМ-21, КИМ-10 и др.), обеспечивающие наиболее полное восстановление функций нижних конечностей, утраченных вследствие ампутации, а также неинвазивные методы нейроинтерфейсов;
- различные процессорные модули для встраиваемых применений.

В заключение необходимо отметить, что работы института по созданию технических и программных средств вычислительной техники вносят заметный вклад в технологическую независимость и информационную безопасность на важнейших направлениях развития отечественной экономики.

Список литературы:

1. Прохоров Н.Л., Филинов Е.Н. Исаак Семенович Брук и его школа / Труды международного симпозиума «Компьютеры в Европе: прошлое, настоящее и будущее». – Киев, 1998.
2. Исаак Семенович Брук. Член-корреспондент АН СССР. К 100-летию со дня рождения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2002. № 2.
3. Егоров Г.А., Красовский В.Е. Руководители Института электронных управляющих машин // История науки и техники. 2008. № 5. С. 19-25.
4. Прохоров Н.Л., Ким А.К., Егоров Г.А. Творческий путь И.С. Брука. К 115-летию со дня рождения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 2.
5. Прохоров Н.Л., Филинов Е.Н., Егоров Г.А. Формирование и реализация государственной научно-технической политики в области средств промышленной автоматизации // Приборы и системы управления. 1999. № 6.
6. Прохоров Н.Л., Знайко Г.Г., Красовский В.Е. Новое поколение технических средств реабилитации // Приборы. 2016. № 7.
7. Прохоров Н.Л., Ким А.К., Егоров Г.А. К 60-летию Института электронных управляющих машин им. И.С. Брука // Информационные технологии и вычислительные системы. 2018. № 3.

*Николай Леонидович Прохоров,
д-р техн. наук, профессор,
научный руководитель,
Александр Киширович Ким,
канд. техн. наук, генеральный директор,
Геннадий Алексеевич Егоров,
д-р техн. наук, ст. научный сотрудник,
гл. научный сотрудник,
ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»,
г. Москва,
e-mail: prokhorov_n@ineum.ru*