

УДК 681.3

Г.Б. ЕФИМОВ

## ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ В ИНСТИТУТЕ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМЕНИ М.В. КЕЛДЫША

### Введение

2003-й год – юбилейный для Института прикладной математики Российской академии наук. Институт был создан М.В. Келдышем в 1953 году для решения важнейших комплексных научных задач, первоначально для расчетов в связи с созданием ядерного оружия. Затем это были задачи освоения космоса, кибернетика, ядерная физика и термоядерный синтез, программирование. Институт объединил специалистов различных областей: физиков, математиков, механиков, программистов и создателей вычислительных машин. Среди них такие крупные ученые, как А.Н. Тихонов, К.И. Бабенко, И.М. Гельфанд, И.Б. Зельдович, С.П. Курдюмов, А.А. Ляпунов, А.Н. Мямлин, Д.Е. Охоцимский, А.А. Самарский, К.А. Семендяев, М.Р. Шура-Бура, Т.М. Энеев, В.С. Яблонский и многие другие. Соединение сложных задач и разнообразных математических методов с активным, пионерским использованием вычислительной техники, энтузиазмом развития ее породили немало ярких идей. Мысли о символьных вычислениях возникли вскоре после создания ЭВМ как желание научить их работать с формулами и облегчить громоздкий труд физика или механика. Обзоры отечественных исследований по компьютерной алгебре (КоАл) или символьным преобразованиям, как их называли раньше, в различных областях физики, механики и математики можно найти в [1–22]. Старые работы по КоАл заслуживают внимания: они не все получили должную известность; немало идей, заключенных в них, сохранили ценность и в наши дни. Кроме истории КоАл в ИПМ, затрагиваются исследования в смежных областях символьных, не численных вычислений, а также работы ряда сотрудничавших с ИПМ коллективов.

1. Интересно проследить истоки работ по КоАл в нашей стране. А.П. Ершов и М.Р. Шура-Бура в своем историческом обзоре [23] в области КоАл упоминают только работы ленинградцев. Перечислим некоторые пионерские работы по КоАл первой половины 1960-х годов.

Постановка задачи КоАл прозвучала в пленарном докладе А.А. Дородницына на Первой Всесоюзной конференции по программированию 1956 года [24]: построить на компьютере решение в виде двух аналитических асимптотик, соединенных в единое решение численно. Физический смысл задачи – исследование ядерного взрыва в атмосфере, которым тогда усиленно занимались, в том числе в ИПМ (тогда - засекреченном Отделении прикладной математики Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР), где А.А. Дородницын заведовал отделом до организации ВЦ АН СССР в 1954 году. Две асимптотики – вблизи центра взрыва и на удалении от него. Построение Д.Е. Охоцимского [25] в точности соответствует этой постановке, только относится к динамике космического полета. Оно также состоит из двух асимптотик, объединяемых участком численного счета. На постановку А.А. Дородницына ссылается А.А. Стогний, ученик В.М. Глушкова, предложивший алгоритм дифференцирования функции (реализованный на МЭСМ) и построения аналитического решения на компьютере [26]. Вероятно, это первая работа известной киевской школы компьютерной алгебры (в которой был создан язык КоАл АНАЛИТИК, реализованный аппаратно и, позже, программно, и разнообразные его приложения [26]).

Одновременно в Ленинградском отделении МИАН им. В.А. Стеклова Л.В. Канторович с сотрудниками работали над задачами КоАл. В докладах [27] он предлагает идеи о представлении данных в КоАл. Т.Н. Смирнова создает полиномиальную систему КоАл (или систему аналитических вычислений – САВ) –

полиномиальный прораб [28], впоследствии использованную в задачах теории упругости. В.А. Брумберг и другие в Институте теоретической астрономии АН СССР начинают работы по КоАл [29], широко развитые позже.

Н.Н. Яненко в сборнике «Проблемы кибернетики» [30] исследовал и реализовал на Стреле метод Картана анализа совместимости систем дифференциальных уравнений в частных производных. Н.Н. Яненко был первым ученым секретарем ИПМ. После работы в закрытом научном центре на Урале (где, вероятно, выполнена эта работа) он работал в ИТПМ СО АН СССР в Новосибирске, где активно развивал КоАл. В Новосибирске собрались многие из пионеров КоАл. А.П. Ершов с сотрудниками много работали по КоАл в ВЦ СО АН СССР в Новосибирске. Обзор их ранних работ дан в [10]. (До 1961 года он работал в ВЦ АН СССР, но в обзоре [23] о КоАл не упоминает).

Работы по КоАл выполнялись и в Ташкенте В.К. Кабуловым и его учениками – с приложением к различным задачам теории упругости [31].

2. Первой областью применения КоАл в ОПМ-ИПМ была прикладная небесная механика. В ней имелся классический задел применения полиномиальных построений разного вида и целый ряд задач. Первые попытки автоматизировать эту работу относятся к началу 60-х годов. Выкладки с тригонометрическими и степенными рядами были проделаны З.П. Власовой и И.Б. Задыхайло еще на одном из первых советских компьютеров Стрела (не опубликовано). Д.Е. Охоцимский (также на Стреле) построил универсальное решение для разгона космического аппарата с малой тягой. Две асимптотики монотонно изменяющегося решения строились в виде степенных формальных рядов вблизи сингулярных точек и соединялись в регулярной области численно [25]. Г.Б. Ефимов развивал этот подход для простейших рядов Пуассона (тригонометрически-степенных) при построении с помощью КоАл оптимальной траектории разгона с малой тягой [32–33]. Программировала обе задачи Т.И. Фролова.

С 1970 года А.П. Маркеев использовал КоАл для нормализации гамильтоновых систем и анализа устойчивости периодических решений [34–35]. Дальнейшие шаги в этом направлении были сделаны его учеником А.Г. Сокольским [36–37] (см. также монографию [35]). Созданная ими научная школа успешно развивалась затем в Московском авиационном институте и Институте теоретической астрономии РАН [38–41], где была также известная школа по КоАл В.А. Брумберга [11, 17, 29]. В трудные 1990-е годы в ИТА регулярно собирались конференции, где была представлена и тематика КоАл. В МАИ работы по КоАл развивались и в направлении компьютерного обучения [42–43]. В ИПМ В.А. Сарычев и С.А. Гутник применили КоАл в задаче об устойчивости равновесия спутника [44]. Работы А.П. Маркеева продолжала его ученица Г.А. Щербина [45]. О работах по небесной механике школы А.Д. Брюно скажем ниже.

Большие, трудные задачи, решавшиеся в ИПМ, а также дефицит машинных ресурсов с трудом позволяли использовать КоАл и те примитивные САВ, которые тогда существовали. Вместо этого создавались алгоритмы, близкие КоАл идейно, позволявшие решать нужные задачи, но иным путем.

М.Л. Лидовым и его учениками, начиная с 60-х годов проводились эксперименты по КоАл. З.П. Довженко в 1963 г. использовала полиномиальную САВ (на Алголе) для построения решения задачи Хилла [46]. Л.М. Бакума создавала систему для рядов Пуассона. Дефицит ресурсов при общности подхода в разработке и применении САВ не позволил уйти дальше экспериментов. В связи с этим М.Л. Лидовым был предложен численно-аналитический метод, позволяющий избежать громоздких выкладок (по-существу, сферы применения КоАл) [47–48]. Для расчета эволюции спутниковых орбит при возмущениях различного рода аналитически строилась функция Гамильтона (часто с использованием осреднения). Ее дифференцирование, нужное для построения уравнений движения, преобразования координат (от точных к осредненным) и вычисления правых частей уравнений движения (на каждом шаге интегрирования),

проводились численно, через разности. Этим методом был решен ряд задач динамики спутников (М.А. Вашковьяк, диссертации А.А. Соловьева, Ю.Ф. Гордеевой [49–52]).

Пример работ М.Л. Лидова демонстрирует причины неуспеха КоАл в ИПМ, разочарования в ее возможностях. Первые системы КоАл общего типа имели низкую эффективность, слабые возможности и способы соединения с численными программами. САВ удавалось использовать либо для очень специальных, либо для методических задач. Серьезность решаемых в Институте задач, при постоянной нехватке машинных ресурсов – создавало трудности с применением КоАл, толкало на поиск нужного решения иными способами, как это сделал М.Л. Лидов. Становилось ясно, что алгоритмы и программы КоАл являются самостоятельной областью и требуют специальной разработки. Среди механиков ИПМ попытку создать универсальную САВ для БЭСМ-6 предприняли Ю.А. Садов и Е.Ю. Зуева [53].

**3.** Интересной страницей в отечественной кибернетике является Рефал В.Ф. Турчина [54–57], основанный на новом принципе программирования – ассоциативной обработке текстов на основе теории рекурсивных функций, без адресного управления программой. КоАл оказалась среди потенциальных областей приложения нового языка [58]. Его история содержит много замечательного. Первая реализация языка носила скорее «научный», чем прикладной характер, язык оказался изолированным от «обычного» матобеспечения – численных пакетов, поддержки библиотек, распределения памяти и т.д. Потребовались дополнительные усилия многих людей, чтобы сделать дальнейшие модификации Рефала практически используемыми, в частности, для приложений КоАл. С.Н. Флоренцев, С.А. Романенко, А.В. Климов и другие были авторами первых эффективных Рефал-компиляторов.

Первым применением Рефала в компьютерной алгебре было решение В.Ф. Турчиным и др. задач ядерной физики [59]. И.Б. Щенков разработал САВ общего назначения SANTRA и позже модифицировал ее [60–62]. На ее основе им вместе с М.Ю. Шашковым была создана специальная прикладная система DISLAN для построения нестандартных разностных схем [63–64]. М.Л. Лидов и Л.М. Бакума, как уже отмечалось, были среди первых пользователей Рефала в прикладной области. Аналогичные попытки в теории групп были предприняты Н.Х. Ибрагимовым и И.Б. Щенковым.

Группа энтузиастов Рефала и КоАл объединялась вокруг ИПМ и работала в тесном контакте с Институтом. В.Л. Топунов со своими коллегами из МГПИ им. Ленина использовали САВ на Рефале в дифференциальной геометрии [65]. Вместе с В.П. Шапеевым и другими учениками Н.Н. Яненко в ИТПМ СО АН СССР в Новосибирске реализовали метод внешних форм Картана и исследовали характеристики дифференциальных схем в развитии ранних работ [66, 67]. Л.В. Проворов в ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского широко использовал САВ АЛЬКОР в инженерных приложениях [68, 69]. О.М. Городецкий и А.В. Корлюков (Гродно) создали САВ для моделирования динамики гироскопических систем (для Д.М. Климова, см. также [18]), реализовали алгоритмы специальных арифметик [70–71]. Л.В. Белоус в Харькове с помощью Рефала объединял несколько различных САВ в единую систему [72].

В ИПМ им. В.М. Келдыша под руководством А.Н. Мямлина, И.Б. Задыхайло и В.К. Смирнова изучались возможности повышения эффективности ЭВМ с помощью Рефал-процессора [73–76]. Имелось в виду, что могут быть созданы специализированные блоки (или компьютеры в едином комплексе), эффективно выполняющие вычисления различного типа, в том числе символьные, не численные, включая КоАл (для которых перспективным являлся Рефал). Л.К. Эйсымонт проводил анализ эффективности Рефала и его аппаратной реализации, в том числе с точки зрения создания САВ [77, 78]. Под руководством В.К. Смирнова на ЕС-2635 с микропрограммированием был создан Рефал-процессор ЕС-2702, работающий с машинами ряда ЕС [76, 79–81]. На нем решались как задачи трансляции, так и задачи КоАл [82].

Первоначально РЕФАЛ планировался как метаязык. И действительно, он использовался в работе с языками программирования для создания трансляторов, в широком круге текстовых задач, смежных с КоАл в

разной степени. В.А. Фисун, А.И. Хорошилов и др. на базе Рефала реализовали языки моделирования Симула-1, ДИНАМО [83]; были созданы комплекс для космических тренажеров ТРИКС, конвертор Алгол-Фортран для физических пакетов. Создавались эмуляторы специальных компьютеров, например, Ю.Ф. Голубевым для бортового компьютера спутника. Под руководством И.Б. Задыхайло и Л.К. Эйсымонта автоматизировалось масштабирование вычислений бортовой вычислительной машины для компенсации потери точности из-за вычислений на ней с фиксированной запятой. А.Н. Андрианов и К.Н. Ефимкин в системе Норма автоматизировали программирование разностных схем [84–85].

В свое время Н.Н. Яненко и другие считали, что наше отставание в компьютерной области из-за слабости элементной базы может компенсироваться за счет оригинальной архитектуры компьютера, совершенства математических алгоритмов и реализующих их пакетов программ. На этом направлении под руководством К.И. Бабенко, А.В. Забродина, А.Н. Мямлина и И.Б. Задыхайло исследовалась возможность создания высокопроизводительного параллельного компьютера для прикладных задач, в том числе задач механики и газодинамики [86]. В недавнее время этот теоретический задел был использован при создании отечественных суперкомпьютеров [87]. Технология создания математического обеспечения, использующая Рефал, была успешно использована при создании программной среды для них [88].

4. Неудачи и трудности применения КоАл (на раннем этапе) в задачах, характерных для ИМП, вызвали ощущение разочарования у ряда ведущих ученых в институте. САВ оказались слишком сложными и трудоемкими при их создании и неудобными при использовании уже существующих. Высокий уровень программирования пользователей в ИМП позволял решать, казалось бы, все нужные вопросы и помимо САВ и КоАл. Но ведь так же с пренебрежением относились в свое время и к другим необходимым возможностям – например, буквенному вводу-выводу, удобству общения с компьютером.

В начале 1980-х годов КоАл и САВ достигли определенных успехов. Встала задача пропагандировать возможности и распространять опыт применения КоАл и САВ, особенно в задачах механики. Например, демонстрируя их полезность на различных шагах схемы вычислительного эксперимента [7, 16, 89, 90]. Удалось использовать КоАл для автоматизации построения разностных схем в областях нерегулярности [62, 63, 91]. Эта работа привлекла внимание А.А. Самарского, одного из лидеров института и отечественной вычислительной математики. С его помощью институт стал одним из основных организаторов Всесоюзной конференции по применению КоАл в механике (Горький, 1984 [4]), которая явилась демонстрацией достижений и подведением итогов работ по КоАл в стране за двадцать лет.

Опыт работы математиков, прикладников и программистов давал основу для обобщений, объединения и четкого разделения различных точек зрения на САВ. Г.Б. Ефимовым, М.В. Грошевой, Е.Ю. Зуевой была предпринята работа по описанию САВ, классификации их и их свойств по образцу пакетов прикладных программ [14, 21, 92–96]. Сводные таблицы характеристик ряда наиболее известных отечественных САВ оказались интересными как для пользователей, так и для разработчиков. Заказанный в 1990 году ВИНТИ обзор по приложениям КоАл в механике из-за трудностей издательства вышел лишь как Отчет ИМП и Института механики МГУ [21].

Еще одной областью применения КоАл является динамика сложных механических систем: гироскопов, роботов и манипуляторов, космических систем [14, 18, 21, 95–100]. Здесь объектом применения КоАл является формирование уравнений движения системы, их преобразование и анализ – поиск стационарных решений, определение устойчивости и т.д. В этой области КоАл развивалась пользователями механиками, причем существующие САВ часто не могли быть использованы из-за проблем с машинными ресурсами или различия в специфике самих механических систем и алгоритмов их исследования. Каждый делал свою специализированную САВ с ограниченными возможностями, приспособленную к узкому классу задач и алгоритмов (таких САВ было создано более десятка [21, 95–100]). В некоторых случаях трудности

использования САВ приводили к решению этих задач иными методами [101]. Встал вопрос о соотношении между целым рядом таких, казалось бы, подобных САВ, а также между ними и САВ универсального типа (например, Редьюс или АНАЛИТИК). Возникла задача классификации САВ, их свойств и возможностей, особенностей решаемых задач, для решения которых они предназначены, для уяснения ситуации и информации потенциальных пользователей. Такая классификация была предпринята вместе с обзорами по САВ механического профиля [16, 21, 92–93, 100] и по применению КоАл в механике [21–22, 95–96, 100].

Проводился анализ возможностей группы отечественных САВ этого направления: областей применения, стыковки КоАл с численными и графическими возможностями, а также описание и сравнение их свойств [14, 21, 93, 100]. Активно функционировала рабочая группа по САВ для сложных систем механики, организовывались конференции, семинары, публикации работ по КоАл (например, [4–5, 7]). Системы этого типа использовались в компьютерном и механическом образовании, например, учеником В.В. Белецкого Д.Ю. Погореловым [99].

5. За долгие годы в ИПМ было выполнено немало исследований с использованием КоАл. Работы по разностным схемам развивались в институте И.Б. Щенковым, М.Ю. Шашковым и др. в контакте с учениками Н.Н. Яненко в Новосибирске, давно применявшими КоАл в этой области [102]. По гидро и газодинамике были выполнены и другие работы: Я.М. Кажданом и И.Б. Щенковым [103], Л.Н. Платоновой и М.Ю. Шашковым [104].

Не в ИПМ, но вблизи него, проводились исследования на известной САВ АНАЛИТИК (на языке КоАл того же названия), аппаратно реализованной на оригинальном компьютере МИР-2 (реализации на СМ-4 и в серии ЕС не получили распространения). На нем В.А. Хлебников, сотрудник отдела Я.Б. Зельдовича, будучи еще студентом МГУ, решал громоздкие задачи общей теории относительности [105]. Э.Э. Шноль поощрял развитие КоАл в НИВЦ в Пущино для задач применения математики в биологии: например, Г.П. Крейцер на АНАЛИТИКе создал программы анализа поведения решения системы дифференциальных уравнений [106]. Вопросы КоАл обсуждались на ежегодных конференциях НИВЦ в Пущино.

В 1980-е годы ведущим центром по КоАл стал ОИЯИ в Дубне, где развивали и использовали в основном Лисп-ориентированную САВ Редьюс. Его использовали для математических и физических приложений, развития алгоритмов, консультировали по Редьюсу и распространяли по стране. Конференции в Дубне и Семинар на физфаке МГУ были ведущими по КоАл [2–3, 6, 8–9]. Однако в ИПМ Редьюс не получил распространения из-за высоких требований к машинным ресурсам (при постоянном их дефиците), слабого интерфейса с численными вычислениями, отсутствия сопровождения и консультаций.

Что касается разработки систем КоАл, САВ в ИПМ, то в первое время создавались, как правило, узко специализированные системы для конкретных задач [25, 32–37, 46]. Затем наступила пора САВ более общего типа. Г.Б. Ефимовым была разработана система аналитических вычислений ПАС для работы с большим числом переменных, использованная в задачах двуногого шагания и управления [92, 97–98]. На Рефале развивались и универсальные, и специализированные системы [60–65, 68–70]. В последующий период использовались известные современные САВ с реализацией необходимых алгоритмов на их базе. В системе Редьюс, например, работали М.Ю. Шашков, С.А. Гутник, И.Р. Белоусов и другие [44, 100, 103]. В последние годы КоАл в составе больших пакетов программ [19, 20] используется многими как необходимый и привычный инструмент (например, при выводе и преобразовании систем уравнений в задачах оптимизации [107]), часто без специального упоминания.

Среди применений КоАл в ИПМ в последние годы отметим работы по небесной механике и многогранникам Ньютона, проводимые А.Д. Брюно и его школой [108–113]. В.Ф. Еднерал реализовал алгоритмы нормализации гамильтоновых систем. А. Солеев и А.Б. Арансон исследовали многогранники Ньютона [110]. С.Ю. Садов и В.П. Варин исследовали устойчивость движения в задачах небесной механики и периодические решения уравнений колебаний спутников [111–113].

В последнее время появился ряд работ по истории развития и применения КоАл и программных систем (САВ) для нее [21–22, 114–117].

## Выводы

Работа поддержана РФФИ, гранты N 01-15-96036 и 01-01-00015. Автор благодарен Е.Ю. Зуевой за помощь, Ю.С. Фишману, В.С. Штаркману, А.В. Климову и З.Ф. Бочковой за обсуждения и советы. Приводимая библиография отражает основные направления и результаты, но не является исчерпывающей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вычислительная математика и вычислительная техника // Всесоюзный семинар. – Харьков: ФТИНТ АН УССР. – 1972. – № 3. – 151 с.
2. Аналитические вычисления на ЭВМ и их применение в теоретической физике // Материалы совещания. – Дубна: ОИЯИ. – 1980. – 187 с.
3. Аналитические вычисления на ЭВМ и их применение в теоретической физике // Материалы совещания. – Дубна: ОИЯИ. – 1983. – 260 с.
4. Системы для аналитических преобразований в механике // Тезисы докл. Всес. конф. – Горький: Горьк. гос. Университет. – 1984. – 147 с.
5. Теория и практика автоматизированных систем аналитических преобразований // Тезисы совещания. – Вильнюс: ИПК СХ Литовской ССР. – 1984. – 93 с.
6. Аналитические вычисления на ЭВМ и их применение в теоретической физике // Материалы совещания. – Дубна: ОИЯИ. – 1985. – 420 с.
7. Пакеты прикладных программ. Аналитические преобразования. – М.: Наука, 1988. – 156 с.
8. Computer Algebra in Physical Research // International Conference. Computer Algebra in Physical Research. – Dubna, USSR. – 1990; Memorial Volume for N.N. Govorun. – World Scientific, 1991. – 453 p.; Thesis. – Dubna, JINR. – 1990.
9. Computer Algebra and its Application to Physics. – CAAP-2001. – Dubna, JINR. – 2001. – 359 p.
10. Бежанова М.М., Катков В.А., Поттосин И.В. Работа по аналитическим преобразованиям в ВЦ СО АН СССР // Вычислительная математика и вычислительная техника. Всесоюз. семинар. – Харьков.: ФТИНТ АН УССР. – 1972. – № 3. – С.18–20; РЖ Математика. – 1973. – 6В646.
11. Брумберг В.А. Небесно-механические методы проведения буквенных операций на ЭВМ. – Томск: Изд. Томского гос. ун-та, 1974. – 114 с.
12. Гердт В.П., Тарасов О.В., Ширков Д.В. Аналитические вычисления на ЭВМ в приложении к физике и математике // Успехи физ. наук. – 1980. – Т. 30, №1. – С.113–147.
13. Miola A.M., Pottosin I.V. A bibliography of Soviet works in algebraic manipulations // SIGSAM Bulletin. – 1981. – Vol.15, №1. – P. 5–7.
14. Системы аналитических вычислений на ЭВМ / М.В. Грошева, Г.Б. Ефимов, В.А. Брумберг, И.О. Бабаев, Н.Н. Васильев, Т.В. Иванова, В.И. Скрипниченко, С.В. Тарасевич, И.Р. Аксельрод, Л.Ф. Белоус, Г.А. Долгов, А.В. Кузьмин, Р.В. Кульветене, Г.П. Кульветис, М.В. Почтаренко, М.А. Чубаров // Информатор ИПМ АН СССР. – 1983. – № 1. – 65 с.; РЖ Математика. – 1984. – 11Г398.
15. Ван Хюльзен Я.А., Кальме Ж. Применение компьютерной алгебры // Компьютерная алгебра. Символьные и алгебраические вычисления. – М., Мир, 1986. – С. 308–325; РЖ Математика. – 1983. – 11В1174.
16. Грошева М.В., Ефимов Г.Б. О системах аналитических вычислений на ЭВМ. Пакеты прикладных программ. Аналитические преобразования. – М.: Наука, 1988. – С. 5–30; Грошева М.В., Ефимов Г.Б. Вопросы развития и использования САВ на ЭВМ: Препр. / ИПМ АН СССР; №20. – 1988.
17. Brumberg V.A., Tarasevich S.V., Vasiliev N.N. Specialised celestial mechanics systems for symbolic manipulations. – Celestial Mechanics. – 1989. – Vol. 45, N 3–4. – P. 149–162.
18. Климов Д.М., Руденко В.М. Методы компьютерной алгебры в задачах механики. – М.: Наука, 1989. – 215 с.
19. Абрамов С.А., Зима Е.Б., Ростовцев В.А. Компьютерная алгебра // Программирование. – 1992. – № 5. – С. 4–25.
20. Васильев Н.Н., Еднерал В.Ф. Компьютерная алгебра в физических и математических приложениях // Программирование. – 1994. – №1. – С. 70–82.
21. Грошева М.В., Ефимов Г.Б., Самсонов В.А. Использование символьных преобразований на ЭВМ в механике: Отчет ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и НИИ Механики МГУ. – М., 1992. – № 5–4. – 140 с.; Грошева М.В., Ефимов Г.Б., Самсонов В.А. Эволюция использования компьютеризированных аналитических вычислений в задачах механики: Препр. / Института механики МГУ; №16. – 1995. – 44 с.
22. Грошева М.В., Ефимов Г.Б., Самсонов В.А. Символьные преобразования на ЭВМ в задачах управления // Известия Академии наук. Теория и системы управления. – 1998. – № 3. – С. 80–91.
23. Ершов А.П., Шура-Бура М.Р. Становление программирования в СССР. – Ч. 1: Начальное развитие. – Ч. 2: Переход ко второму поколению языков и машин: Препр. / ВЦ СО АН СССР. – Новосибирск: 1976. – № 12, 13; Кибернетика. – 1976. – № 6. – С.141–160.
24. Дороничин А.А. Решение математических и логических задач на быстродействующих ЭВМ // Всесоюзная конф. «Пути развития советского математического машиностроения и приборостроения». – Москва: Пленарные доклады. ВИНТИ. – 1956. – 12–17 марта.
25. Охоцимский Д.Е. Исследование движения в центральном поле сил под действием постоянного касательного ускорения // Космические исследования. – 1964. – Т. 2, №6. – С. 817–842; РЖ Механика. – 1965. – 11А29.
26. Стогний А.А. Решение на ЦВМ одной задачи, связанной с дифференцированием функций // Сб.: Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1962. – №7. – С.189–200; Глушков В.М., Летичевский А.А., Стогний А.А. Входной язык вычислительной машины для инженерных расчетов // Кибернетика. – 1965. – №1; АНАЛИТИК (язык для описания вычислительных процессов с применением аналитических преобразований) / В.Г. Боднарчук, В.М. Глушков, Т.А. Гринченко, А.А. Дороничина, В.П.

- Клименко, А.А. Летичевский, С.Б. Погребинский, А.А. Стогний, Ю.С. Фишман // Теория автоматов и методы формализованного синтеза вычислительных машин и систем: Труды семинара. – Киев, 1968. – Вып. 1. – С.3–105.
27. Канторович Л.В. Об одной математической символике, удобной при вычислениях на машинах // Доклады АН СССР. – 1957. – Т. 113, № 4. – С. 738–739; Канторович Л.В., Петрова Л.Т. О математической символике, удобной при вычислениях на машинах // Труды 3 Всес. математич. съезда. – М. – 1956. – Т. 2. – 151 с.; РЖ Математика. – 1957. – 3592.
28. Смирнова Т.Н. Полиномиальный прораб и проведение аналитических выкладок на ЭВМ // Труды МИАН им. В.А. Стеклова. Работы по автоматическому программированию, численным методам и функциональному анализу. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962; Первозванская Т.Н. Проведение аналитических выкладок на ЭВМ при решении некоторых типов дифференциальных уравнений // Труды МИАН им. В.А. Стеклова. Работы по автоматическому программированию, численным методам и функциональному анализу. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962; Смирнова Т.Н. Проведение на ЭВМ типа М-20 полиномиальных выкладок с помощью ПРОРАБА. – Л.: Наука, 1967; Михлин С.Г. Численная реализация вариационных методов. – Л.: Наука, 1967. – С. 379–428.
29. Брумберг В.А. Ряды полиномов в задаче трех тел // Бюлл. ИТА АН СССР. – 1963. – Т. 9, № 4. – С. 234–256; Брумберг В.А. Представление координат планет тригонометрическими рядами // Труды ИТА АН СССР. – 1966. – № 11. – С. 3–88; Полозова Н.Г., Шор В.А. Применение ЭВМ к построению аналитических теорий движения планет и спутников // Проблемы движения искусственных спутников небесных тел. – М.: Изд. АН СССР, 1963.
30. Шурыгин В.А., Яненко Н.Н. О реализации на ЭВМ алгебраических дифференциальных алгоритмов // Сб.: Проблемы кибернетики. Наука. – 1961. – №6. – С. 33–43; РЖ Математика. – 1962. – 7В332.
31. Кабулов В.К. К выводу дифференциальных уравнений упругости и строительной механики на ЭВМ // ДАН УзССР. – 1963. – № 9. – С. 5–8; РЖ Механика. – 1964. – 4В406; Толк В.А. К автоматизации вычисления арифметических формул на ЭВМ // Вопросы вычислительной математики и техники. – Ташкент, 1964. – № 3; Толк В.А. К выводу дифференциальных уравнений колебаний цилиндрических оболочек на ЭВМ // ДАН УзССР. – 1964. – № 8. – С. 9–10; РЖ Механика. – 1965. – 7В127; Кабулов В.К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной теории пластичности. – Ташкент: «Фан» АН УзССР, 1966; РЖ Механика. – 1967. – 7В234.
32. Ефимов Г.Б. Оптимальный разгон в центральном поле до гиперболических скоростей // Космические исследования. – 1970. – Т. 8, №1. – С. 26–47; РЖ Механика. – 1970. – 7А28.
33. Ефимов Г.Б. Предельное решение в задаче об оптимальном разгоне аппарата с малой тягой в центральном поле. – М.: Изд. ИПМ АН СССР, 1970.
34. Маркеев А.П. Исследование устойчивости движения в некоторых задачах механики. – М.: Изд. ИПМ АН СССР, 1970. – 163 с.
35. Маркеев А.П. Точки либрации в небесной механике и космодинамике. – М.: Наука, 1978.
36. Маркеев А.П., Сокольский А.Г. Исследование периодических движений, близких Лагранжевым решениям ограниченной задачи трех тел: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1975. – № 10; Маркеев А.П., Сокольский А.Г. Некоторые вычислительные алгоритмы нормализации гамильтоновых систем: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1976. – № 31; РЖ Математика. – 1976. – Б1097.
37. Маркеев А.П., Сокольский А.Г. Методы исследования периодических движений Лагранжа в гамильтоновых системах и его реализация на ЭВМ // Труды ИТА АН СССР. – Л., 1978. – № 17. – С. 62–68.
38. Сокольский А.Г., Шевченко И.И. Нелинейная нормализация автономных гамильтоновых систем на ЭВМ в аналитическом виде: Препр. / ИТА АН СССР, Л.: 1990. – № 8.
39. Сокольский А.Г. Современные проблемы компьютерной небесной механики // Всес. съезд по теор. и прикладн. механике. Аннот. докл. – М. – 1991. – 323 с.; РЖ Механика. – 1991. – 12А125.
40. Sokolsky A.G. On the Problems of Computerization of Celestial Mechanics // Computer Algebra Applications. Intern. Workshop ISSAC. – Kiev, Ukraine, Abstract. S.-Peterburg, 1993. – July. – P. 41–45.
41. Sokolsky A.G., Vakhidov A.A., Vasiliev N.N. Development of a Motion Theory for Satellites with large Eccentricities by Means of Computer Algebra. Российско-румынский симпозиум. – Buharest, 1995. – 7–12 sent.; Сборн. тезисов. ИТА РАН. – S.-Petersburg, 1995. – P. 39.
42. Маркеев А.П., Медведев С.В., Сокольский А.Г. Методы и алгоритмы нормализации дифференциальных уравнений: Учебное пособие. – М.: Моск. авиац. ин-т, 1985.
43. Теоретическая механика. Вывод и анализ уравнений движения на ЭВМ: Учебное пособие / В.Г. Веретенников, И.И. Карпов, А.П. Маркеев, С.В. Медведев, В.И. Пеньков, В.А. Сеницын, Т.Н. Чеховская. – М.: Высшая школа, 1990.
44. Сарычев В.А., Гутник С.А. К вопросу о положениях равновесия спутника-гидростата // Космические исследования. – 1984. – Т. 22, № 3. – С. 323–326; Сарычев В.А., Гутник С.А. Исследование положения равновесия спутника-гидростата: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1990. – № 84.
45. Щербина Г.А.. Численный метод построения асимптотических движений Ляпунова-Пуанкаре: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1988. – № 117.
46. Довженко З.П. Получение на ЭВМ аналитического выражения общего решения системы аналитических уравнений в виде рядов: Дипломная работа / Под рук. М.Л. Лидова. – МГУ, мех-мат. – М., 1963.
47. Лидов М.Л. Полуаналитические методы расчета движения спутников // Труды ИТА АН СССР. – Л. – 1978. – № 17. – С. 54–61.
48. Лидов М.Л., Ляхова В.А., Соловьев А.А. Полуаналитический метод расчета движения искусственного спутника Луны: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1974. – № 69–70; Космические исследования. – 1975. – Т. 13, № 3. – С. 303.
49. Вашковьяк М.А. О методе приближенного расчета стационарного ИСЗ // Космические исследования. – 1972. – Т. 10, №2. – С.147–158; О численно-аналитическом методе расчета 12-часовых ИСЗ по почти круговым орбитам // Космические исследования. – 1983. – Т. 21, № 6. – С. 819–823.
50. Вашковьяк М.А. Численно-аналитический метод исследования эволюции астероидных орбит // Космические исследования. – 1985. – Т. 23, № 3. – С. 335–346; Лидов М.Л., Вашковьяк М.А. О квазиспутниковых орбитах в ограниченной эллиптической задаче трех тел // Письма в Астрон. журн. – 1994. – Т. 20, № 10. – С. 781–795.
51. Гордеева Ю.Ф. Учет влияния концентрированных масс в полуаналитическом методе расчета движения искусственного спутника Луны: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1973. – № 26–27; Лидов М.Л., Гордеева Ю.Ф. // Космические исследования. – 1974. – Т.12, №4. – С. 491.
52. Соловьев А.А. Полуаналитический метод расчета движения искусственных спутников с большим эксцентриситетом: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1974. – № 86–87; Лидов М.Л., Соловьев А.А. // Космические исследования. – 1978. – Т.16, № 6. – С. 806.
53. Складенко (Зуева) Е.Ю. Система символьных вычислений для задач механики: Дипломная работа / Под рук. Ю.А. Садова. – Моск. физико-технический ин-т. – М., 1972.
54. Турчин В.Ф. Метаалгоритмический язык // Кибернетика. – 1968. – № 4. – С. 45–54; РЖ Математика. – 1971. – 2В86.
55. Турчин В.Ф. Алгоритмический язык рекурсивных функций (Рефал). – М.: Изд-е ИПМ АН СССР, 1968.

56. Турчин В.Ф., Сердобольский В.И. Язык Рефал и его использование для преобразования алгебраических выражений // Кибернетика. – 1969. – №3. – С. 58–62.
57. Турчин В.Ф. Программирование на языке Рефал: 1. Препр. / ИПМ АН СССР. – 1971. – № 41; 2. Препр. / ИПМ АН СССР. – 1971. № 43; 3. Препр. / ИПМ АН СССР. –1971. – № 44; 4. Препр. / СССР. –1971. – № 48; 5. Препр. / ИПМ АН СССР. – 1971. – № 49; РЖ Математика. –1972. – 1В993-996.
58. Турчин В.Ф. Описание аналитических преобразований с помощью рекуррентных соотношений в рамках языка Рефал // Вычислительная математика и вычислительная техника. Всесоюзный семинар. – Харьков: ФТИНТ АН УССР, 1972. – №3. – С. 28.
59. Базисные волновые функции и матрицы операторов в коллективной модели ядра / А.П. Будник, Е.В. Гай, Н.С. Работнов, Анд.В. Климов, В.Ф. Турчин, И.Б. Щенков // Ядерная физика. –1971. – Т.14. – Вып. 2. – С. 304 – 314; Построение физических базисов групп  $O(5)$  и  $SU(3)$  с автоматическим выполнением символьных преобразований / В.Н. Виноградов, Е.В. Гай, С.В. Попов, Н.С. Работнов, И.Б. Щенков // Ядерная физика. – 1972. –Т.16. – Вып. 6. – С.1178–1187.
60. Щенков И.Б. Система аналитических преобразований SANTRA-BASIC // Тезисы Всес. конф. «Аналитические преобразования в механике». – Горький: Изд-во Горьк. гос. ун-та. –1984. – С. 47 – 49.
61. Щенков И.Б. Система символьно-аналитических преобразований SANTRA-2. Описание формальной части входного языка: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1989. – № 1; Щенков И.Б. Система SANTRA-2. Описание динамических функций: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. РАН. – 1989. – № 7; Щенков И.Б. Система SANTRA-2. Описание функций, обеспечивающих неалгебраические операции: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1989. – № 21.
62. Щенков И.Б. Система SANTRA-2. Операции над выражениями основных классов: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1991. – № 14; Щенков И.Б. Система SANTRA-2. Операции над матрицами: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1991. – № 15.
63. Шашков М.Ю., Щенков И.Б. Использование символьных преобразований для построения разностных операторов: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1983. – № 48; РЖ Математика. –1983. – 10Б1106.
64. Шашков М.Ю., Щенков И.Б. Система DISLAN для построения разностных операторов: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. –1985. – № 23; РЖ Математика. –1985. – 9Г910.
65. Топунов В.Л. Определение совместимости и вычисления произвола решения систем внешних уравнений с помощью ЭВМ // Вычислительная математика и математическая физика. – М., 1975. – Вып. 2. – С.158–172; Установление полной интегрируемости системы внешних уравнений с помощью ЭВМ ЭВМ // Вычислительная математика и математическая физика. – М., 1975. – Вып. 2. – С.149–157.
66. Арайс Е.А., Шапеев В.П., Яненко Н.Н. Реализация метода внешних форм Картана на ЭВМ // Доклады АН СССР. – 1974. – №4. – С. 737 – 738; РЖ Математика. – 1974. – 6В1149.
67. Реализация на ЭВМ алгоритма исследования на совместность систем уравнений в частных производных / В.Г. Ганжа, С.В. Мелешко, Ф.А. Мурзин, В.П. Шапеев, Н.Н. Яненко // Доклады АН СССР. – 1981. – Т. 261, №5. – С.1044–1046; РЖ Математика. – 1982. – 4Б1206.
68. Проворов Л.В., Штаркман В.С. АЛЪКОР: система аналитических вычислений: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. –1982. – № 61; РЖ Математика. –1982. – 12В1089; Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. –1982. – № 166; РЖ Математика. – 1983. – 5В989.
69. Проворов Л.В., Медведев В.А., Семенов В.Н. Входной язык и возможности САВ АЛЪКОР // Методические указания. – М.: МВТУ им. Баумана, 1985.
70. Климов Д.М., Городецкой О.М., Корлюков А.В. Реализация аналитических процедур теоретической механики на ЭВМ в системе MMANG: Препр. / Ин-та проблем механики АН СССР. –1985. – № 233. – 55с.
71. Корлюков А.В. Арифметика произвольной точности с учетом ошибки округления в системе АВ // Программирование. – 1985. – № 5. – С. 32 – 37.
72. Белоус Л.Ф. Связь системы АЛГЕБРА-0 с системой СИРИУС // Тез. Всес. конф. «Аналит. преобраз. в механике». – Горький: Изд. Горьк. гос. ун-та. – 1984. – С. 21–22.
73. Задыхайло И.Б., Камынин С.С., Любимский Э.З. Вопросы конструирования вычислительных машин из блоков повышенной квалификации: Препр. / ИПМ АН СССР. –1971.
74. Задыхайло И.Б., Мямлин А.Н., Смирнов В.К., Эйсымонт Л.К. Об эффективной аппаратной реализации языка для описания объектов на уровне понятий и символьных преобразований // Искусственный интеллект. Итоги и перспективы. – М.: МДНТИ, 1974. – С.157–165.
75. О повышении эффективности символьных преобразований / И.Б. Задыхайло, Е.И. Котов, А.Г. Красовский, А.Н. Мямлин, В.К. Смирнов: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1975. – № 15.
76. Вычислительная система с внутренним языком повышенного уровня / И.Б. Задыхайло, Е.И. Котов, А.Н. Мямлин, Л.А. Поздняков, В.К. Смирнов: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1975. – № 41.
77. Эйсымонт Л.К. О возможности параллельных схем реализации одного языка для описания задач переработки текстовой информации // УС и М. –1977. – № 2. – С. 56 – 64.
78. Эйсымонт Л.К., Платонова Л.Н. Выбор и оценка базового языка символьного процессора // Аналитические вычисления на ЭВМ и их применение в теоретической физике: Материалы совещания. – Дубна: ОИЯИ, 1980. – С.19 – 33.
79. Мямлин А.Н., Задыхайло И.Б., Смирнов В.К. Процессор для обработки текстовой информации // Всесоюзная конф. «Параллельное программирование и высокопроизводительные системы». – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. – 1980. – Ч. 1. – С. 54 – 63.
80. Задыхайло И.Б., Эйсымонт Л.К. Об алгоритмах и программных средствах реализации САВ // Тезисы Всесоюзной конф. «Аналит. преобраз. в механике». –Горький: Горьк. гос. ун-т. – 1984. – С. 23 – 24.
81. Myamlin A.N., Smirnov V.K., Golovkov S.L. A Specialized Symbol Processor // Fifth Generation Architecture / Ed. by J.V. Woods. – New-Holland, 1980; Мямлин А.Н., Смирнов В.К., Головков С.Л. Специализированный процессор ЕС-2702 // Сб.: Разработка ЭВМ нового поколения. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1986. – С. 39–47.
82. Смирнов В.К., Топунов В.Л., Шишков Д.Л. Аналитические вычисления на процессоре ЕС-2702: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1991. – № 61; Шишков Д.Л. Изучение разрывных решений в гидродинамике при наличии электромагнитных полей методами компьютерной алгебры // Сб.: Пакеты прикладных программ. Математическое моделирование. – М.: Наука, 1989. – С. 84–89.
83. Бычков С.П., Хорошилов А.И. и др. Язык СИМУЛА в мониторной системе ДУБНА для БЭСМ-6: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1975. – № 118; Язык СИМУЛА в мониторной системе ДУБНА для БЭСМ-6 / С.П. Бычков, С.Д. Зеленецкий, В.А. Фисун, А.И. Хорошилов: Препр. / ИПМ АН СССР. – 1976. – № 118.
84. Андрианов А.Н., Ефимкин К.Н., Задыхайло И.Б. Непроцедурный язык Норма и методы его реализации // Сб.: Языки и параллельные ЭВМ. Серия: Алгоритмы и алгоритмич. языки. – М.: Наука, 1990. – С. 3 – 37; Андрианов А.Н., Ефимкин К.Н., Задыхайло И.Б. Непроцедурный язык для решения задач математической физики // Программирование. – 1991. – № 2. – С.



85. Solution of three-dimensional problems of gas dynamics on multiprocessor computers / A.N. Andrianov, S.B. Bazarov, A.V. Bugerya, K.N. Efimkin // *Computational mathematics and modeling*. 1999. – Vol. 10, N 2. – P. 140 –150; Андрианов А.Н., Гусева Г.Н., Задыхайло И.Б. Применение языка Норма для расчета дозвукового течения вязкого газа // *Математическое моделирование*. – 1999. – Т.11, № 9. – С. 45 –53.
86. Бабенко К.И., Забродин А.В., Задыхайло И.Б. Некоторые вопросы анализа математических алгоритмов решения задач и архитектуры ЭВМ // *Материалы семинара «Проблемы вычислительной математики»* / Под рук. Г.И. Марчука: Препр. / АН СССР, ОВМ, ВИНТИ. – 1981. – №7; О структуре вычислителя для решения задач обтекания. Комплексный подход к программированию / А.Н. Андрианов, К.И. Бабенко, А.В. Забродин, И.Б. Задыхайло, Е.И. Котов, А.Н. Мямлин, Н.В. Поддерюгин, Л.А. Поздняков // *Вычислительные процессы и системы* / Под ред. Г.И. Марчука. – М.: Наука, 1985. – Вып. 2.
87. Забродин А.В. Супер ЭВМ МВС-100, МВС-1000 и опыт их использования при реализации задач механики и физики // *Математическое моделирование*. – 2000. – Т.12, № 5. – С. 61 –66; Создание и применение системы высокопроизводительных вычислений на базе высокоскоростных сетевых технологий / В.Е. Фортов, Г.И. Савин, В.К. Левин, А.В. Забродин, А.К. Шибанов // *Информационные технологии и вычислительные системы*. – 2002. – №1.
88. Суперкомпьютер. Руководство пользователя. <http://www.jscc.ru/informat/1000MUserGuide.zip>; Руководство программиста. <http://www.jscc.ru/informat/1000MPfgGuide.zip>.
89. Самарский А.А., Шашков М.Ю. Перспективы использования символьных преобразований в вычислительной математике // Тезисы Всес. конф. «Аналит. преобраз. в механике». – Горький: Изд. Горьк. гос. ун.-та. – С. 3 – 8; Оптимизация и моделирование в САПР. – Горький, 1985. – С. 33 – 41.
90. Ефимов Г.Б. Аналитические вклады в цикле вычислительного эксперимента // *Символьные преобразования на ЭВМ и их использование в теоретической физике*. – ОИЯИ, Дубна, 1983. – С. 58 – 63.
91. Ефимов Г.Б., Тишкин В.Ф., Шашков М.Ю., Щенков И.Б. Автоматизация программирования операторных разностных схем: Препр. / ИГМ АН СССР. – 1982. – № 20; Ефимов Г.Б., Тишкин В.Ф., Шашков М.Ю., Щенков И.Б. Использование символьных преобразований для построения разностных схем // *Символьные преобразования на ЭВМ и их использование в теоретической физике*. – ОИЯИ, Дубна, 1983. – С. 74 – 84.
92. Грошева М.В., Ефимов Г.Б. Некоторые свойства систем аналитических вычислений как пакетов прикладных программ // *Пакеты прикладных программ. Технология разработки*. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 174 – 182; Ефимов Г.Б. Исследование программных систем аналитических вычислений на ЭВМ: Отчет №О-221-87. – ИГМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1987. – 120 с.
93. Ефимов Г.Б. Системы аналитических вычислений и их классификация. Методы компьютерного конструирования моделей механики систем твердых тел // *Материалы Всесоюзного рабочего совещания: Препр. / Ленинградского филиала ИМАШ АН СССР*. – Л.: 1989. – № 16. – С. 5–6; Ефимов Г.Б. Системы аналитических вычислений и их классификация / *Системы аналитических вычислений в механике твердого тела*. – Киев: Киев. гос. унив., 1990. – 168 с.– Рус. – Деп. УкрНИИТИ 17.04.90\_№732 – Ук90. – С. 27 – 40.
94. Ефимов Г.Б., Зуева Е.Ю. Кибернетическая аналогия и аналитические преобразования // Тезисы Всесоюзного совещания «Компьютерные методы небесной механики». – С.- Петербург: ИТА РАН, 1991. – С. 63 – 64.
95. Efimov G.B., Grosheva M.V. On Using Computer Algebra in Mechanics // *Computer Algebra in Scientific Computing. Intern. Conference*. – St.- Petersburg. – 1998. – April 20 –24. – P. 37 – 40.
96. Grosheva M.V., Efimov G.B. On using symbolic manipulations in Mechanics // *Computer Algebra Applications. Intrn. Workshop ISSAC*. – Kiev, Ucrain, Abstract. S.-Peterburg. –1993. – July. – P. 11 – 14; Grosheva M.V., Efimov G.B., Samsonov V.A. On using symbolic manipulations in Mechanics // *Computer Algebra Applications. Intrn. Workshop ISSAC*. – Gamburg, Germany, Abstract. S.-Petersburg. – 1995. – P.11 – 14.
97. Ефимов Г.Б., Коникина Н.С. Автоматические буквенные преобразования в задаче двуногой ходьбы // Тезисы докладов 2-й Всес. конф. по оптимизации в механике. – Казань: Казанский авиационный институт. – 1977. – С.18; Автоматический символьный вывод уравнений двуногой ходьбы / М.В. Грошева, Г.Б. Ефимов, Н.С. Коникина, В.А. Самсонов // Тезисы докладов Всес. совещания по робототехническим системам. – М. – Владимир. –1978. – С.196.
98. Методы исследования сложных механических систем и вычислительная техника / Д.М. Климов, Г.Б. Ефимов, В.М. Руденко, В.А. Самсонов // *Сб.: Оптимизация и моделирование в САПР*. – Горький, 1985. – С. 3 – 33; Грошева М.В., Ефимов Г.Б., Абдрахманов А.Т. Об использовании полиномиальной САВ в задаче оптимального управления // Тезисы Всес. конф. «Аналит. преобраз. в механике». – Горький: Гор. гос. ун.-т. – 1984. – С. 73 – 74.
99. Pogorelov D. On Coding of Symbolic Expressions by Generation of Motion Equations of Multie-bodies Systems. - *EUROMECH 343 // Computer Symbolic Manipulation in Mechanics. International Colloquium*. – Technical University Hamburg-Harburg, Germany. – 1995. – October 9 –13. – P. 21; Ефимов Г.Б., Погорелов Д.Ю. Решение некоторых модельных задач механики с использованием программного комплекса "Универсальный механизм": Препр. / ИГМ им. М.В. Келдыша РАН. –1993. – № 72.
100. Белоусов И.Р. Формирование уравнений динамики роботов-манипуляторов: Препр. / ИГМ им. М.В. Келдыша РАН. – 2002. – № 45.
101. Балобан И.Ю., Белоусов И.Р., Сазонов В.В. Язык программирования правых частей уравнений движения сложных механических систем: Препр. / ИГМ им. М.В. Келдыша РАН. – 1998. – № 62; Белоусов И.Р. Методы моделирования и дистанционного управления движением роботов: Докторская диссертация. – ИГМ им. М.В. Келдыша РАН, 2002.
102. Применение символьных преобразований на ЭВМ для построения и анализа разностных схем / А.Н. Валлиулин, В.Г. Ганжа, Ф.А. Мурзин, В.П. Шапеев, Н.Н. Яненко: Препр. / ИГМ СО АН СССР. – Новосибирск: 1981. – № 7; Валлиулин А.Н., Ганжа В.Г., Ильин В.П., Шапеев В.П., Яненко Н.Н. // *Доклады АН СССР*. – 1984. – 275, №3. – С. 528 – 532; РЖ Математика. – 1984. – 7Г341.
103. Платонова Л.Н., Шашков М.Ю. Применение системы REDUCE для построения аналитических решений уравнений "мелкой воды": Препр. / ИГМ им. М.В. Келдыша АН СССР. – 1983. – № 134; РЖ Математика. – 1984. – 9Б884.
104. Каждан Я.М., Щенков И.Б. Схлопывание сферической полости в среде, совершенно прозрачной для объемного излучения // *Журнал прикладной механики и технической физики (ПМТФ)*. – 1989. – № 1 (173). – С. 41 – 49.
105. Хлебников В.И. Гравитационное поле квазистационарных сосредоточенных систем с вращением в формализме Ньюмена-Пенроуза // *Известия вузов СССР. Физика*. – 1976. – № 3. – Т. I. – С.113 –117; Хлебников В.И. Гравитационное поле квазистационарных сосредоточенных систем с вращением в формализме Ньюмена-Пенроуза // *Известия вузов СССР. Физика*. – 1976. – № 3. – Т. II. – С.118 –123; Хлебников В.И. О точных решениях уравнений Эйнштейна-Максвелла в формализме Ньюмена-Пенроуза // *Известия вузов СССР. Физика*. – 1976. – № 7. – Т. I. – С.140 – 142; Хлебников В.И. О точных решениях уравнений Эйнштейна-Максвелла в формализме Ньюмена-Пенроуза // *Известия вузов СССР. Физика*. – 1976. – № 7. –Т. II. – С.148 – 150.
106. Березовская Ф.С., Крейцер Г.П. Сложные особые точки системы двух дифференциальных уравнений // *Избранные алгоритмы и программы для ЭВМ МИР-2*. (Материалы по математическому обеспечению ЭВМ). – Пушкино: АН СССР, НИВЦ,

- 1975; Крейцер Г.П. Простые особые точки системы двух дифференциальных уравнений. – Пуцзино: АН СССР, НИВЦ, 1976.
107. Konstantinov M.S., Petukhov V.G. Orbital evolution of solar sail in problems of geocentric trajectories and lunar missions. – Paper IAF 01 A6-07. – Toulouse, France. – 2001. – October; Константинов М.С., Федотов Г.Г., Ефимов Г.Б. Проектно-баллистический анализ КА с ЭРД для полетов к Меркурию: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 2001. – № 84.
108. Bruno A.D., Edneral V.F. Stanly Steinberg. Foreword // Mathematics and Computers in Simulation. – 1998. – Vol. 45. – P. 409 – 411.
109. Bruno A.D. Normal Forms // Mathematics and Computers in Simulation. – 1998. – Vol. 45. – P. 413 – 427.
110. Солеев А., Арансон А.Б. Вычисление многогранника и нормальных конусов его граней: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 1994. – № 36; Арансон А.Б. Вычисление многогранника Ньютона // Материалы междунар. конф. и Чебышевских чтений. – Москва: МГУ, 1996. – Т. 1. – С. 32 – 34.
111. Брюно А.Д., Варин В.П. Первая предельная задача для уравнений колебаний спутника: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 1995. – № 124; Брюно А.Д., Варин В.П. Вторая предельная задача для уравнений колебаний спутника: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 1995. – № 128.
112. Alexander D. Bruno, Victor P. Varin The limit problems for equation of oscillations of a satellite // Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. – 1997. – Vol. 67. – P.1 – 40.
113. Садов С.Ю. Плотное размещение квазиоднородных многочленов и векторные разбиения: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 1998. – № 37.
114. The History of Computer Algebra Applications. Session. Theses of Report. 4-th Intern. IMACS conference on Applications of Computer Algebra - IMACS ACA'98. –Prage. – Moscow. – 1998. – Aug. 9 –11.
115. Смирнов В.К. Аппаратная реализация Рефала в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша: Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 2003 (в печати).
116. Ефимов Г.Б., Зуева Е.Ю., Щенков И.Б. Компьютерная алгебра в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша // Математическое моделирование. –2001. – Вып. 13, № 6. – С.11 – 18.
117. Efimov G.B., Zueva E.Yu., Tshenkov I.B. Computer Algebra in Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS // Computer Algebra and it's Application to Physics. – CAAP-2001. – Dubna, JINR, 2001. – P. 58 – 68.