

УЧЕНЫЕ БЕЛАРУСИ SCIENTISTS OF BELARUS

**Герт Иванович Алексеев:
ученый и изобретатель**

**Gert Ivanovich Alekseev:
scientist and inventor**



Герт Иванович Алексеев родился 17 марта 1936 г. в Ульяновской области в семье военного. Его отец Иван Феропонтович воевал, был политруком, окончил войну заместителем командира полка. Мать Мария Федоровна работала учителем, а затем директором средней школы. После войны Иван Феропонтович был переведен в Харьков, где работал до 1950 г. преподавателем Харьковского пограничного училища. С 1950 по 1958 г. семья жила во Львове. Иван Феропонтович служил в штабе Прикарпатского военного округа. Мария Федоровна работала во Львовской консерватории, позднее, став кандидатом философских наук и доцентом, преподавала во Львовском политехническом институте.

В 1953 г. Герт Иванович закончил школу и поступил на механический факультет Львовского политехнического института. Получив диплом с отличием, был направлен на Минский электромеханический завод, где работал на разных должностях и вскоре познакомился со своей будущей супругой Светланой Витальевной. С 1958 по 1964 г. учился на заочном отделении радиотехнического факультета Львовского политехнического института, закончил учебу с отличием.

В 1969 г. Г. И. Алексеев был принят на работу в Институт технической кибернетики (ИТК) АН БССР и поступил в аспирантуру. Его научным руководителем стал профессор Петр Михайлович Чеголин. Будучи сотрудником лаборатории читающих автоматов под руководством П. М. Чеголина, Герт Иванович подключился к разработкам средств ввода графической информации. С 1970 г. Г. И. Алексеев начинает заниматься разработкой электромагнитных дигитайзеров, и это научное направление стало главным делом всей его жизни. В 1972 г. Герт Иванович досрочно защитил кандидатскую диссертацию «Функциональное преобразование информации на основе интерполирования».

Под руководством Герта Ивановича и при его непосредственном участии разработан ряд планшетных средств ввода графической информации, серийно освоенных промышленностью. Внедрение данных устройств способствовало созданию в СССР специализированного картографического производства. За эти разработки в 1984 г. Герт Иванович удостоился почетного звания «Заслуженный изобретатель БССР».

В 1989 г. Г. И. Алексеев избран заведующим лабораторией автоматизации ввода видеоинформации ИТК АН БССР. В лаборатории были выполнены работы по теоретическим основам электромагнитного ввода графической информации, найден ряд новых технических решений. Это позволило в трудные 1990-е гг. на скромной технологической базе разработать параметри-

ческий ряд дигитайзеров форматов с А2 по А0. Дигитайзеры использовались организациями Беларуси, России и Украины.

В 1990 г. в Институте кибернетики имени Глушкова (Киев) состоялась защита докторской диссертации Г. И. Алексеева «Теоретические основы и проектирование электромагнитных планшетных средств ввода графической информации».

С середины 1990-х гг. интерес к использованию дигитайзеров начал постепенно снижаться, стали обретать актуальность технологии растрового ввода крупноформатных документов. Предлагавшиеся в то время на рынке Беларуси сканеры не отвечали всем появляющимся у потребителей запросам. Г. И. Алексеев предложил технологию пофрагментного комбинированного ввода крупноформатных документов, которые закреплялись на рабочем поле широкоформатного дигитайзера и сканировались по фрагментам с помощью перевернутого и модернизированного для этих целей сканера. Положение каждого фрагмента фиксировалось датчиками координат. На последнем этапе из фрагментов программным путем формировалось широкоформатное растровое изображение документа. Были созданы и поставлялись заказчикам сравнительно недорогие аппаратно-программные комплексы комбинированного ввода ДИСКАН.

В 2001 г. Герту Ивановичу присвоено звание профессора.

В последнее время Герт Иванович работал над программами Союзного государства Беларуси и России, связанными с космическими исследованиями. Под его руководством были разработаны интерактивные системы ввода, визуального отображения и редактирования графической информации. Эти системы могут применяться, в частности, для совместного отображения и обработки планов городов и космических снимков.

Г. И. Алексеев подготовил четырех кандидатов технических наук и одного кандидата физико-математических наук. Неоднократно возглавлял государственные экзаменационные комиссии в БГУИР и БГТУ, работал заместителем председателя докторского совета по защите диссертаций и был членом ученого совета ОИПИ НАН Беларуси. Награжден золотой (1984) и серебряной (1986) медалями ВДНХ СССР, медалью «Ветеран труда» (1986), почетными грамотами НАН Беларуси (1998) и Мингорисполкома (2003). Является автором свыше 130 научных работ, в том числе двух монографий и 76 изобретений. Для своих сотрудников и учеников он был принципиальным и внимательным руководителем, имел большой авторитет в коллективе института.

Герт Иванович умел очень многое делать своими руками, увлекался пчеловодством, играл на нескольких музыкальных инструментах, обладал замечательным чувством юмора, любил рассказывать веселые истории. Все отмечали его энергичность, разносторонность, внимательность к людям.

Основные направления научной и изобретательской деятельности Г. И. Алексеева

Разработка электромагнитных планшетных дигитайзеров. В Беларуси начало исследований по автоматизации ввода графических изображений относят к середине 1960-х гг., когда в ИТК АН БССР в лаборатории читающих автоматов под руководством П. М. Чеголина были заложены теоретические основы автоматизации ввода графической информации в ЭВМ.

Вначале ввод графики предполагалось осуществлять с привлечением различных механических приспособлений. В конце 1960-х гг. сотрудник лаборатории А. А. Рассказов выдвинул идею использования эффекта взаимоиндукции линейного проводника (координатной шины) и короткой приемной цилиндрической катушки индуктивности (указателя координат) для построения электромагнитных (индукционных) измерителей координат – прообразов современных дигитайзеров.

В скором времени появились первые образцы планшетных устройств графического ввода развертывающего преобразования, основанные на анализе полярности информационных сигналов. В их числе так называемые дискретно-дискретные полуавтоматы для считывания графической информации (ПАСГИ) и устройства для считывания графической информации (УСГИ).

В 1973 г. лаборатория читающих автоматов была преобразована в лабораторию автоматизации ввода графической информации. С 1973 по 1978 г. выполнялись хозяйственные договоры

на основе кодировщиков семейства ПАСГИ для предприятий судо-, авиа- и машиностроения. Во всех этих работах активное участие принимал Г. И. Алексеев.

В середине 1970-х гг. на базе ЭВМ «Минск-32», указанных технических средств ввода, а также средств отображения графики в ИТК АН БССР был создан зал машинного проектирования, который стал своего рода прототипом будущих комплексов АРМ. Для ознакомления с достигнутыми результатами институт посещает президент АН СССР академик А. П. Александров. Особо высокую его оценку получил комплекс цифрования сложных графических изображений, технология функционирования которого была продемонстрирована на примере отображения крупномасштабных топографических карт на экране графического дисплея. Был отмечен значительный вклад Г. И. Алексеева в разработку этого комплекса. Через короткое время вышло постановление Совета министров СССР, в соответствии с которым ИТК АН БССР был назначен головным исполнителем крупного проекта по созданию базы цифровых картографических данных в интересах обороны страны. Одна из ключевых ролей в этом проекте отводилась оригинальным технологиям цифрования карт на базе планшетных устройств ввода графической информации. Г. И. Алексеев активно включился в работу над этим проектом.

В 1983–85 гг. было налажено сотрудничество на договорной основе ИТК АН БССР и ОКБМ при заводе «Эвистор» (Витебск), продолжавшееся до 1989 г. Ответственным исполнителем от ИТК АН БССР был Г. И. Алексеев, который в это время работал в лаборатории эргатических систем (зав. лабораторией Г. Г. Маньшин). Подготовлен коллектив разработчиков средств ввода, в том числе два кандидата наук: В. Н. Лабовкин и И. Е. Масько (научный руководитель Г. И. Алексеев). Издана монография Г. И. Алексеева «Электромагнитные планшетные устройства ввода» [1]. Накопленные знания и опыт совместного сотрудничества использованы в ОКБМ при разработке дигитайзеров ЭМ-7069, ЭМ-7079 и ЭМ-7089, выпущенных заводами «Эвистор» и «Этон» (Новолукомль) в количестве около 1000 устройств.

Задачи массового ввода картографической информации обозначили высокие требования к дигитайзерам, особенно по точности и надежности. Промышленно освоенные дигитайзеры семейства ЭМ не соответствовали таким требованиям. В этих условиях была поставлена задача по созданию отечественного крупноформатного дигитайзера, не уступающего по перечисленным техническим параметрам лучшим зарубежным аналогам. В конкурсе на выполнение этой задачи приняли участие два коллектива разработчиков. Э. Н. Леонович с сотрудниками представил дигитайзер на основе амплитудных методов измерений, а коллектив под руководством Г. И. Алексеева (В. Я. Зенин от ИТК; М. С. Люкевич, В. П. Ушаков и В. М. Рухлинский от ЦКБ с ОП) создал дигитайзер на основе фазового подхода к измерениям. Советом главных конструкторов проекта по картографической тематике был проведен тщательный анализ конструкций и характеристик обоих вариантов, в результате был выбран планшет, предложенный Г. И. Алексеевым. Затем были созданы дигитайзеры ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА со следующими характеристиками: формат рабочего поля 840×600 мм (максимальная погрешность ±0,1 мм), разрешающая способность 0,025 мм, подсветка и увеличение изображения в зоне считывания, скорость обновления координатной информации в потоковом режиме 10 000 пар координат в секунду, двухстрочное графическое табло. Серийное производство дигитайзеров ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА освоено ЦКБ с ОП АН БССР и Ульяновским ПО «Комета» (выпущено около 200 дигитайзеров). ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА стали основной специализированного автоматизированного картографического производства.

Дигитайзеры ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА в 1983 и 1984 гг. отмечены дипломами I степени, золотыми, серебряными и несколькими бронзовыми медалями ВДНХ СССР. За работы в области специальной картографии ИТК АН БССР награжден орденом Трудового Красного Знамени (1984), группе сотрудников присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники. В это же время за создание высокоэффективных изобретений Г. И. Алексееву присуждено почетное звание «Заслуженный изобретатель БССР».

К концу 1980-х гг. в связи с распространением персональных компьютеров и широкой компьютеризацией возникла потребность в массовом отечественном дигитайзере. В 1989 г. по предложению И. К. Ростовцева, генерального директора Опытного-промышленного предприятия Научно-технического объединения (ОПП НТО) АН СССР (ныне ОАО «Приборостроительный

завод Оптрон», Минск), группа специалистов из ИТК АН БССР (Г. И. Алексеев, В. А. Мильман), ЦКБ АН БССР и ОПП НТО АН СССР приступила к разработке недорогого компактного малоформатного дигитайзера. Г. И. Алексеев предложил основные технические решения дигитайзера, где использовался нониусный принцип фазовых измерений координат. Рабочее поле планшета было впервые сконструировано и выполнено в виде трехслойной, склеенной под прессом тонкой пластины толщиной от 3 до 5 мм. Подобные дигитайзеры зарубежных фирм в то время имели объемные конструкции в виде усеченных по наклонной плоскости прямоугольных в основании пирамид. Индукционная система дигитайзера была оптимизирована путем численного моделирования. В электронном блоке дигитайзера использовался микропроцессор, управляющий обработкой сигналов с основной и нониусной системами шин. Особое значение в непростых экономических условиях того времени имела технологичность и простота изготовления дигитайзера, его сравнительно невысокая стоимость. ОПП НТО АН СССР в 1990 и 1991 гг. изготовило крупную серию из 5000 дигитайзеров модели УВГ1-01 с рабочим полем формата А3, на несколько лет обеспечив потребность стран СНГ в подобных устройствах. Этим завершилось импортозамещение аналогов западных фирм отечественными устройствами УВГ1-01 в масштабах СНГ.

В апреле 1989 г. Г. И. Алексеев становится заведующим лабораторией автоматизации ввода видеоинформации. В лаборатории развернулись работы по созданию и совершенствованию электромагнитных планшетных дигитайзеров. На разных этапах по этой тематике работали В. А. Маслоков, В. В. Бокуть, Л. Ю. Мазаник, В. А. Мильман, А. И. Гренов, Д. М. Гороховик, С. Н. Королик, Е. Ю. Васильев, А. А. Камович, А. И. Люлис, Н. Р. Новиков, С. В. Решетник, Е. И. Коновалов и С. Г. Алексеев. Большую часть разработчиков составляли ученики Герта Ивановича.

Дигитайзер УВГ1-01 как базовая модель использовался для создания модельного ряда дигитайзеров различных форматов (до А0 включительно). На протяжении почти 20 лет такие дигитайзеры поставлялись предприятиям и организациям различных отраслей экономики (машиностроения, картографии, легкой промышленности и др.) и государственных структур Беларуси, а также Российской Федерации и Украины.

Особо следует отметить поставку дигитайзеров в Минский горисполкомом, где была создана специализированная геоинформационная система для контроля раскопок на территории города. Значительная часть исходной информации для геоинформационной системы находилась на специальных топографических планах, наклеенных на алюминиевую основу, а обычный электромагнитный дигитайзер не работает с этим материалом. Потребовались существенные усилия Герта Ивановича и его коллектива, в результате необходимый дигитайзер был создан и поставлен заказчику.

В последние десятилетия усилиями Г. И. Алексеева и его сотрудников был разработан складной дигитайзер, вызвавший большой интерес у создателей подвижных пунктов управления для различных силовых структур.

Совершенствование ввода с помощью электромагнитных планшетных дигитайзеров. В процессе создания электромагнитных планшетных дигитайзеров оказалось, что для обеспечения высокого технического уровня изделий только инженерных решений недостаточно и необходим научный анализ процессов электромагнитного ввода. Г. И. Алексеев начал исследования в этом направлении еще будучи сотрудником лаборатории читающих автоматов и продолжил в качестве руководителя лаборатории автоматизации ввода видеоинформации ИТК НАН Беларуси. Исследования опирались на такие разделы физики и математики, как электромагнитная теория, теория аппроксимации функций, теория функций действительной и комплексной переменной, теория оптимизации и вычислительные методы. В процессе этих работ возникали задачи и получались результаты, выходящие за рамки тематики дигитайзерного ввода.

Центральным объектом исследований являлась индукционная система электромагнитного планшетного дигитайзера, качество работы которой определяет точность ввода графической информации. Приведем краткое описание индукционной системы с фазовым принципом измерения координат, так как именно этот тип систем получил широкое распространение.

Индукционная система дигитайзера состоит из указателя координат (УК) и матрицы проводников электрического тока. УК перемещается оператором по поверхности рабочего поля, на котором закрепляется вводимое графическое изображение. Матрица проводников располагается непосредственно под поверхностью рабочего поля и содержит две группы проводников. Одна обеспечивает измерение координаты x , другая – координаты y . Группа, обеспечивающая измерение координаты x , состоит из множества прямолинейных проводников (шин), расположенных перпендикулярно оси Ox . Шины соединяются специальным образом и образуют периодическую структуру (основную сетку). Периоды этой структуры называются зонами.

УК представляет собой короткую цилиндрическую катушку, ориентированную перпендикулярно плоскости шин. При возбуждении УК синусоидальным током частоты ω в основной сетке наводится ЭДС, пропорциональная взаимной индуктивности УК и совокупности шин сетки. Величина взаимной индуктивности зависит от взаимного расположения УК и шин, поэтому ЭДС несет в себе информацию о координате x центра УК. В результате в основной сетке возникает синусоидальный переменный ток с фазовым сдвигом φ , зависящим от координаты x . Фазовый сдвиг преобразуется в цифровую форму, и на его основе рассчитывается значение координаты. Параметры индукционной системы подбираются так, чтобы зависимость фазового сдвига φ от координаты x была почти прямо пропорциональной. В этом случае точность ввода координаты является наивысшей.

Описанное измерение координаты фазовым способом характеризуется неоднозначностью: координата измеряется от начала зоны, а номер зоны остается неопределенным. Для определения номера зоны наиболее эффективным оказался нониусный метод. Он заключается в том, что вместе с основной сеткой проводников в той же плоскости (или в параллельной близкой плоскости) располагается нониусная сетка. Она устроена и работает аналогично, отличается только величиной периода и числом зон. Сравнение координат, снятых с основной и нониусной сеток, позволяет установить номер зоны, т. е. однозначно измерить координату x в пределах рабочего поля дигитайзера.

Исследования Г. И. Алексеева по теоретическим вопросам дигитайзерного ввода графической информации можно разделить на два этапа. На первом этапе (до 1985 г.) Герт Иванович преимущественно вел исследования самостоятельно. Итоги этих исследований отражены в монографии [1]. Второй этап связан с созданием коллектива, руководителем которого был Герт Иванович.

Отметим основные результаты первого этапа исследований.

Получены формулы для расчета характеристик (напряженности, векторного потенциала) магнитных полей, порождаемых переменными токами в элементах индукционных систем дигитайзеров. Показано, что высокая точность расчетов достигается при аппроксимации реальных проводников тонкими проводниками полигональной формы.

Выведены формулы расчета взаимной индуктивности катушки указателя координат и одиночной тонкой шины как конечной, так и бесконечной длины. Оказалось, что для бесконечной шины формулы значительно проще. Показано, что в предположении о бесконечности шин получаются достаточно точные результаты в случае, если УК располагается в центральной части рабочего поля дигитайзера.

Выявлено снижение точности определения координаты фазовым способом, когда УК располагается на краю матрицы дигитайзера. Это явление, называемое краевым эффектом, заставляет уменьшать размеры рабочего поля дигитайзера по сравнению с размером матрицы. Выполнены экспериментальное и численное исследования краевого эффекта.

Выделены и изучены базовые составляющие погрешности измерения координат: методическая, технологическая и температурная погрешности электронной схемы измерительного канала. Предложены определенные меры по снижению их значений.

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования дигитайзеров со стержневым указателем координат.

Для дальнейшего развития тематики дигитайзерного ввода требовалось последовательное развитие теории в таких направлениях, как упрощение многих математических формул, неудобных для вычислений, выбор оптимальных параметров сеток координатных шин и указате-

ля координат, разработка мер для минимизации краевого эффекта, а также алгоритмов и программных средств для повышения точности ввода координат. В рамках этих исследований Герт Иванович начал привлекать в лабораторию специалистов с математическим, радиотехническим и компьютерным образованием.

На втором этапе исследований Герт Иванович и руководимый им коллектив получили следующие основные результаты по тематике дигитайзерного ввода.

Были разработаны несколько моделей индукционного взаимодействия УК и сеток матриц планшетного дигитайзера. При определенных упрощающих предположениях получены формулы для расчета взаимодействия в виде комбинаций элементарных функций (без интегралов и бесконечных сумм), что значительно облегчило выбор оптимальных параметров индукционных систем. Получено выражение для вертикальной составляющей вектора магнитной индукции, порождаемого током в сетке с бесконечным числом шин бесконечной длины, и выражение для поправки, которую необходимо учитывать при переходе от бесконечного числа шин к конечному, что важно для анализа краевого эффекта [2].

Получены формулы для расчета индукционного взаимодействия УК и координатной шины с учетом ширины и высоты шины [3].

Предложен новый подход к анализу индукционного взаимодействия УК и матрицы дигитайзера на упрощенной модели, когда шины полагаются тонкими бесконечными и их число бесконечно [4]. Подход основан на разложении в ряд Фурье зависимости взаимной индуктивности матрицы и УК. Получено выражение зависимости тангенса методической погрешности ввода координат от параметров сетки и УК и уравнение для определения оптимального значения среднего радиуса катушки УК.

Разработан способ повышения точности ввода графической информации с помощью дигитайзеров [5]. Он предполагает однократное измерение погрешности с помощью обмера эталонного объекта, вычисление таблиц поправок, корректировку вводимых координат на основе таблиц поправок. Возможны два варианта: таблицы поправок размещаются в теле драйвера дигитайзера и корректировка координат выполняется программно; таблицы поправок размещаются в памяти микропроцессора и корректировка координат выполняется микропрограммно. В результате разработки была повышена точность ввода координат более чем в два раза без наращивания аппаратных средств дигитайзера.

В процессе расчетов индукционного взаимодействия шины дигитайзера и катушки стержневого указателя координат получено аналитическое выражение для расчета взаимной индуктивности прямолинейного бесконечного проводника и контура эллиптической формы, произвольно ориентированного в пространстве [6]. Рассмотрен расчет взаимной индуктивности прямолинейного бесконечного проводника и круговой катушки. Предложен способ вычислений, позволяющий для цилиндрической катушки вообще избежать численного интегрирования. В целом задача сводится к вычислению контурного интеграла вместо двойного, что позволяет значительно ускорить вычисления [7]. Отметим, что расчет взаимной индуктивности проводников различной формы и расположения удается провести аналитически (без численного интегрирования) в небольшом числе случаев (не более 10), все они были установлены в 1900–1960 гг. [8]. Результаты работ [6, 7] дополняют материал известных справочников по расчету индуктивностей и могут войти в последующие их издания.

С 2005 г. Г. И. Алексеев вместе с С. В. Абламейко и С. Г. Алексеевым занимался исследованием индукционных систем складных и секционных дигитайзеров [9]. Складные дигитайзеры удобны для работы в мобильных комплексах различного назначения. В секционных дигитайзерах матрица собирается из составных частей (печатных плат). Это позволяет изготавливать матрицы дигитайзеров большого формата из печатных плат ограниченного формата. Изучение индуктивностей таких матриц значительно сложнее, чем традиционных матриц. В исследованиях значительную роль играли вычислительные эксперименты в системе MathCAD.

Ввод крупноформатных изображений с помощью комбинированных устройств. С 2000 г. основной темой исследований Г. И. Алексеева и его лаборатории стал ввод в компьютер крупноформатных изображений. Существует несколько традиционных способов такого ввода, каж-

дый из них имеет свои недостатки [10, 11]. Г. И. Алексеев предложил вводить крупноформатные изображения с помощью комбинированных устройств, объединяющих дигитайзер и сканер.

Комбинированное устройство, получившее название ДИСКАН, состоит из широкоформатного планшетного дигитайзера и малоформатного планшетного сканера. Сканер используется в перевернутом положении, для чего сделаны небольшие доработки. В корпус сканера монтируются индукционные датчики координат, аналогичные указателю координат дигитайзера.

На рабочем поле дигитайзера закрепляется вводимое изображение на носителе из диэлектрического материала. Для фиксации изображения в процессе ввода его накрывают специальным тонким прозрачным стеклом. Сначала малоформатным планшетным сканером выполняется сканирование документа по фрагментам, которые сохраняются в файлах в растровом формате. Кроме того, для каждого фрагмента сохраняются координаты точек, полностью определяющих его положение в системе координат дигитайзера. Затем выполняется программное формирование широкоформатного изображения из фрагментов и результат сохраняется в файл.

Разработаны несколько модификаций комбинированного устройства ввода, отличающихся типами и форматами дигитайзера и сканера, количеством индукционных датчиков в сканере, а также дополнительными техническими доработками. Представлен вариант комбинированного устройства без дигитайзера. В этом устройстве сканер позиционируется на рабочем поле с помощью специальных механических упоров. Такое устройство предназначено для ввода планов городов фиксированного формата, в том числе выполненных на алюминиевой основе.

Для обеспечения комбинированного ввода разработаны алгоритмы и программы:

- коррекции геометрических и яркостных искажений фрагментов сканированных изображений;
- визуализации широкоформатных растровых изображений с возможностью их одновременной линейной трансформации в режиме реального времени;
- совмещения фрагментов изображения с целью формирования единого растрового файла;
- визуализации процесса комбинированного ввода.

Было изготовлено и поставлено заказчикам несколько десятков комплексов ввода ДИСКАН. Наиболее важными заказчиками являлись Навигационно-топографическое управление Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь, РУП «Белгеодезия», Комитет архитектуры и градостроительства Мингорисполкома. На комплексы ввода ДИСКАН получен патент на полезную модель. Под руководством Герта Ивановича А. И. Люлис защитил кандидатскую диссертацию по тематике ввода крупноформатных изображений с помощью комбинированных устройств.

Хотя в настоящее время часть задач ввода крупноформатных изображений решается с помощью планшетных сканеров, комбинированные устройства сохраняют свое значение для ввода сверхбольших изображений, для работы в мобильных и других нестандартных условиях.

Список использованных источников

1. Алексеев, Г. И. Электромагнитные планшетные устройства ввода / Г. И. Алексеев. – Минск : Наука и техника, 1985. – 239 с.
2. Гренов, А. И. Математическое моделирование и проектирование нониусных индукционных систем планшетных дигитайзеров : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.16 ; 05.13.12 / А. И. Гренов ; Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси. – Минск, 1997. – 20 с.
3. Алексеев, Г. И. Расчет индукционного взаимодействия координатной шины и указателя координат электромагнитного дигитайзера / Г. И. Алексеев, А. Н. Догель, В. А. Мильман // Идентификация образов : сб. науч. тр. – Минск : Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1990. – С. 172–185.
4. Алексеев, Г. И. Расчет и оптимизация индукционной системы дигитайзера на упрощенной модели / Г. И. Алексеев, Е. Ю. Васильев, В. А. Мильман // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 3. – С. 119–115.
5. Цифровые планшеты с коррекцией погрешности измерения координат / Г. И. Алексеев [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1998. – № 1. – С. 135.
6. Алексеев, Г. И. О расчете взаимной индуктивности прямолинейного проводника и эллиптического контура / Г. И. Алексеев, В. А. Мильман // Электричество. – 1993. – № 12. – С. 53–57.

7. Алексеев, Г. И. Расчет взаимной индуктивности прямолинейного проводника и круговой катушки / Г. И. Алексеев, В. А. Мильман, В. В. Шейко // Электричество. – 1995. – № 4. – С. 59–64.
8. Калантаров, П. Л. Расчет индуктивностей / П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин. – Изд. 3. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
9. Абламейко, С. В. Технические средства аппаратно-программных комплексов комбинированного ввода крупноформатных графических документов / С. В. Абламейко, Г. И. Алексеев, С. Г. Алексеев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 3. – С. 37–48.
10. Комбинированный ввод в компьютер крупноформатных изображений / Г. И. Алексеев [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2003. – № 4. – С. 115–119.
11. Комбинированный ввод в компьютер графических изображений с использованием малоформатного планшетного сканера и дигитайзера / Г. И. Алексеев [и др.] // Информатика. – 2006. – № 4(12). – С. 71–78.

С. Г. Алексеев, В. А. Мильман, О. И. Семенков