

*ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ*

УДК 681.327.12

Г.И. Алексеев

**ПЛАНШЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА ВВОДА ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Показаны основные результаты научных исследований и конструкторских разработок планшетных средств ввода (дигитайзеров) и аппаратно-программных комплексов на их основе, выполненных в разное время в Национальной академии наук и некоторых других организациях и предприятиях Республики Беларусь и серийно освоенных на производстве. Сведения о разработках Конструкторского бюро точного электронного машиностроения в рамках отраслевой программы «КУЛОН», не вошедшие в [1], приведены с согласия руководителя программы В.П. Зуева. В остальных разработках автор принимал непосредственное участие в качестве научного руководителя или ответственного исполнителя работ.*

**Введение**

Ввод в компьютер изображений различной природы и сложности (текстовых документов, инженерной графики, карт и планов местности, слайдов и снимков на прозрачной основе и т. п.) связан с преобразованием содержащейся в них информации в цифровую форму. Для этих целей применяют различные автоматизированные средства ввода: дигитайзеры, сканеры и комбинированные устройства на их основе. При вводе символьной информации используют также клавиатуру компьютера.

В Беларуси начало исследований по автоматизации ввода изображений относят к середине 60-х гг. прошлого столетия, когда в Институте технической кибернетики (ИТК) АН БССР (с 2002 г. ОИПИ НАН Беларуси) под руководством доктора технических наук П.М. Чеголина был выполнен ряд работ по автоматизации анализа экспериментальных графиков [2]. Именно здесь впервые в 1968 г. сотрудник института А. Рассказов выдвинул идею использования сигналов ЭДС взаимной индукции пары линейный проводник с электрическим током (координатная шина) – короткая цилиндрическая катушка индуктивности (датчик координат) для построения индукционных измерителей координат (прообразов современных дигитайзеров). Впоследствии работы в этой области интенсивно развернулись и до настоящего времени продолжают в ряде НИИ и КБ Республики Беларусь и за рубежом.

**Основные результаты научных исследований и конструкторских разработок**

*Первые отечественные разработки дигитайзеров, освоенные промышленностью Республики Беларусь [1], принадлежат Конструкторскому бюро точного электронного машиностроения (КБТЭМ, Минск, ныне КБТЭМ-ОМО). В 1972 г. в рамках отраслевой программы «КУЛОН» (руководители Г.П. Шадурский (1972-1979) и В.П. Зуев (с 1980)) здесь были развернуты работы по созданию устройств ввода графической информации для систем автоматизированного проектирования, которые продолжались до 1984 г. Впоследствии эта тематика была передана Опытному-конструкторскому бюро машиностроения (ОКБМ) завода «Эвистор» (Витебск). Разработано семейство дигитайзеров ЭМ-719, -719А, -719Б, -7019 и интерактивный графический терминал ввода-вывода ЭМ-739А [1]. В общей сложности заводами «Электронмаш» (Минск) и «Эвистор» выпущено более 1 000 названных устройств. Наибольший вклад в разработку и организацию их серийного производства внесли сотрудники КБТЭМ В.В. Варшавер, К.Б. Довнар, С.Г. Кайбанов, Б.Г. Киселев, В.Е. Курторгин, Г.С. Пенников, Л.И. Ралько, Ю.А. Рубин, Г.В. Сущенко и завода «Эвистор» Г.Ф. Ершик, А.А. Михайлов, А.П. Рябов. За разработку и внедрение в производство унифицированных интерактивных про-*

граммно-аппаратных комплексов КУЛОН, включающих дигитайзеры упомянутого семейства, В.П. Зуеву и другим в 1987 г. присвоена Государственная премия СССР в области науки и техники.

**В 1979 г. в ИТК АН БССР были развернуты работы по созданию специализированного автоматизированного картографического производства.** В число штатных устройств будущих автоматизированных рабочих мест картографа (АРМ-К) предполагалось включить и широкоформатные дигитайзеры. Отечественные дигитайзеры семейства ЭМ, построенные по принципу линейного индуктосина, в которых датчик координат механически крепился на достаточно массивной подвижной консоли, не отвечали требованиям ввода больших объемов картографических данных в потоковом режиме. Серийный кодировщик ПКГИО Ульяновского ПО «Комета» не обеспечивал технических требований АРМ-К по точности, разрешающей способности и производительности. Использование дигитайзеров зарубежных фирм сдерживалось высокими ценами и ограничениями импорта компьютерной техники и технологий. Таким образом сохранялась актуальность создания широкоформатного кодировщика для вышеобозначенных применений. К этому времени в институте были накоплены определенные знания по автоматизации преобразования сложных форм графических данных [3], предложены математические модели индукционных датчиков координат [4], предложен и исследован общий подход к математическому моделированию пространственного распределения магнитных полей, основанный на полиномиальной аппроксимации уравнений контуров проводников координатных матриц, и дано объяснение одному из проявлений так называемого «краевого эффекта» матричного планшета [5], связанному с конечными длинами координатных шин. На основе изоморфизма между линейным векторным пространством и пространствами кусочно-постоянных и кусочно-линейных функций соответствующих размерностей предложен единый метод аппроксимационного синтеза управляющих и измерительных сигналов [6]. Введены в рассмотрение системы функций, характеризующих индукционное взаимодействие простейших пар линейных контуров с токами типа «*координатная шина – кольцевой контур*» указателя координат, отличающихся порядковыми номерами и другими параметрами. Доказана замкнутость названных систем функций в пространстве непрерывных ограниченных функций [7], выводящая на аппроксимационный синтез средств ввода с направленно улучшенными показателями назначения [8–10]. Изготовлены действующие макетные образцы дигитайзеров, подготовлены несколько кандидатов наук. В этих условиях в рамках последовавших НИР и ОКР группами сотрудников ИТК (Г.И. Алексеев, В.Я. Зенин, Л.Ю. Митуля) и Центрального конструкторского бюро (ЦКБ) АН БССР (М.С. Люкевич, П.И. Светлов, В.П. Ушаков, В.И. Тихоненко) предложен и на конкурсной основе принят к исполнению ряд технических решений высокоточных (с погрешностью не более  $\pm 0,1$  мм) дигитайзеров ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА [8, 10] с рабочим полем  $840 \times 600$  мм (рис.1).



Рис. 1. Дигитайзер ПЛАНШЕТ-РА производства ЦКБ с ОП АН БССР

В процессе теоретического обоснования результатов проектирования разработаны математические модели индукционных систем этих дигитайзеров [11], приведены рекомендации по минимизации методической погрешности ввода [12], решен ряд технологических вопросов изготовления координатных матриц и других ответственных узлов. Серийное производство дигитайзеров ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА было освоено Опытным производством ЦКБ АН БССР и Ульяновским ПО «Комета» (рис. 2), всего было выпущено около 200 дигитайзеров. Это способствовало созданию в СССР специализированного автоматизированного картографического производства. Дигитайзеры ПЛАНШЕТ-Р и ПЛАНШЕТ-РА в 1983 и 1984 гг. отмечены дипломами I степени и золотыми медалями ВДНХ СССР. За работы в области специальной картографии в 1984 г. институт награжден орденом Трудового Красного Знамени. Группе сотрудников института – Б.С. Берегову, Г.Г. Маньшину, О.Г. Протопопову, О.И. Семенкову, А.В. Старцеву и А.К. Сутуруину – в числе других авторов в 1985 г. присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники. В этом же году за создание высокоэффективных изобретений Г.И. Алексееву присуждено почетное звание «Заслуженный изобретатель БССР».



Рис. 2. Дигитайзеры ПЛАНШЕТ-Р производства Ульяновского ПО «Комета» в составе АРМ-К

*С 1983 по 1985 гг. было налажено сотрудничество на договорной основе между ИТК АН БССР и ОКБМ завода «Эвистор», продолжавшееся до 1999 г.* Разработаны теоретические основы дигитайзеров развертывающего преобразования с выделением нулей и экстремальных значений огибающих последовательностей измерительных сигналов [13]. В частности, предложены два варианта соотношений для поправок к считываемым координатам при наклонах оси стержневого указателя координат дигитайзера, вытекающих из свойств вышеупомянутых огибающих и их аппроксимаций: на основе гармонического разложения огибающей дискретного множества амплитуд импульсных сигналов наведенных ЭДС [14] и на основе аппроксимации огибающих квадратичными полиномами [13, 15]. Подготовлен коллектив разработчиков средств ввода, в том числе два кандидата наук. Накопленные знания и опыт совместного сотрудничества использованы в ОКБМ при разработке дигитайзеров ЭМ-7069 (А.И. Лысенко), ЭМ-7079 (О.Н. Лабода), ЭМ-7089 (О.М. Монастырская), выпущенных заводами «Эвистор» и «Этон» (Новолукомль) общим числом около 1 000 шт.

*К концу 80-х, началу 90-х гг. XX в. в связи с широкой компьютеризацией возникла потребность в массовом отечественном дигитайзере.* В 1989 г. по предложению И.К. Ростовцева, генерального директора Минского опытно-промышленного предприятия научно-технического объединения (ОПП НТО) АН СССР, ныне ГППЗ «Оптрон», группа специалистов: Г.И. Алексеев, В.А. Мильман (ИТК АН БССР); С.Л. Ермаков, В.П. Ушаков (ЦКБ АН БССР); В.Ф. Шабельский, В.М. Рухлинский (ОПП НТО) – приступила к разработке недорогого компактного малоформатного дигитайзера. Технические решения будущего дигитайзера [17], основанные на нониусном принципе фазовых измерений координат [16] и подтвержденные результатами аналитического моделирования его индукционной системы [18–21], отличались простотой и технологичностью конструкции.

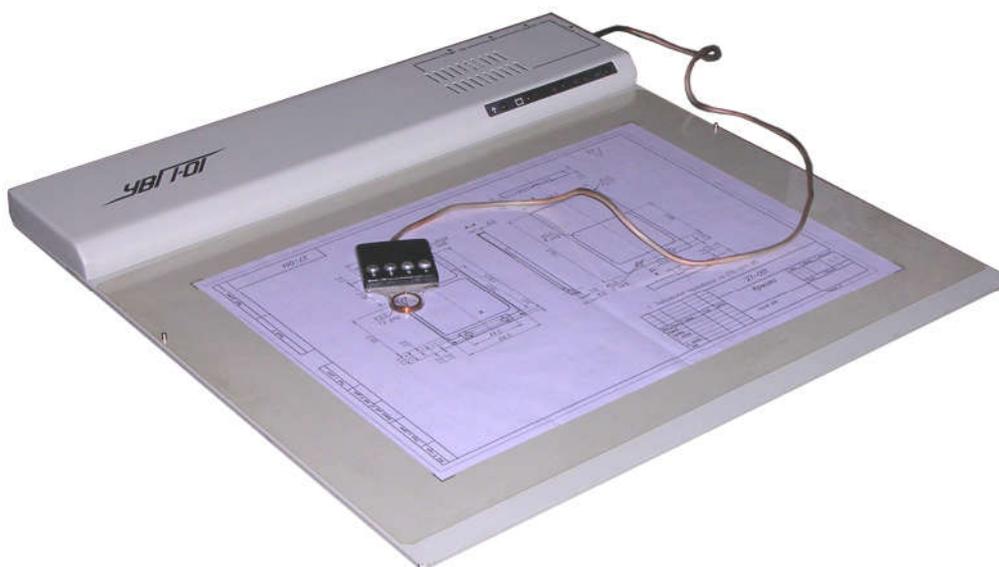


Рис. 3. Малоформатный дигитайзер УВГ1-01 производства ГППЗ «Оптрон»



Рис. 4. Модельный ряд дигитайзеров на основе УВГ1-01

ГППЗ «Оптрон» в течение 1990, 1991 гг. выпустил 5 000 дигитайзеров УВГ1-01 (рис. 3) с рабочим полем 420×300 мм (формат А3), на несколько лет обеспечив потребность стран СНГ в подобных устройствах. В дальнейшем УВГ1-01 как базовая модель был использован для создания модельного ряда дигитайзеров различных форматов (рис. 4), применяемых в картографии, в кадастровых системах, в составе аппаратно-программных комплексов раскрытия одежды и обуви и т. д. В разработке и последующем внедрении этих устройств в разное время приняли участие Г.И. Алексеев, В.В. Бокуть, Е.Ю. Васильев, А.И. Гренов, С.Н. Королик, В.А. Мильман, С.В. Решетник. Для применения в кадастровых системах, работающих с архивными топопланами (600×600 мм), разработана и поставляется в городские хозяйства модель дигитайзера УВГ1-01 формата А1, способного вводить информацию не только с диэлектрических (бумага, картон, фанера), но и с металлических (алюминий) подложек.

**В процессе разработки УВГ1-01 и других дигитайзеров упомянутого модельного ряда получены новые научно-практические результаты.** Предложены способ аналитического суммирования бесконечных рядов рациональных функций на основе комплексных вычетов и аналитическое выражение для перехода к конечным пределам суммирования [19, 20]. Как следствие получена аналитическая формула для объяснения проявлений «краевого эффекта» матричного планшета, связанных с конечностью набора линейных проводников, моделирующих координатную сетку последнего [21]. Получены упрощенные формулы взаимодействия индукционных систем дигитайзеров, вытекающие из различных предположений о конструктивных особенностях выполнения их проводников [22–26]. Разработана модель индукционной системы дигитайзера нониусного преобразования с инвариантным к наклонам стержневым датчиком координат, не требующая выполнения в процессе считывания координат дополнительных вычислительных процедур [27]. Исследованы факторы, дестабилизирующие точность измерений в планшетных средствах ввода развертывающего и непрерывного преобразований [15, 21]. Предложены способ и алгоритмы оптимального размещения сеток проводников координатных матриц дигитайзеров нониусного преобразования в двух параллельных плоскостях с учетом технологического ограничения их близости [18]. Создан программный комплекс для проектирования индукционных координатно-измерительных систем, позволяющий автоматически готовить данные для промышленного изготовления координатных сеток фотоспособом [21, 28]. Разработаны программные способы повышения точности ввода, основанные на обмере эталона, методика обмера, программные средства обработки измерений, методика создания корректирующих драйверов [29]. Рассмотрены задача обработки графической информации, вводимой с помощью дигитайзера, проблемы преобразования и обработки графических данных при взаимодействии человека с компьютером [30]. Предложен новый подход к многомерной интерполяции, основанный на обобщении сплайнов первой степени на многомерный случай [31].

**С распространением в 1990-е гг. высокопроизводительных растровых технологий ввода произвольных изображений интерес к использованию дигитайзеров снизился. Вместе с тем сохранилась актуальность разработок по растровому вводу крупноформатных документов** из-за отсутствия отечественных и высокой стоимости импортных широкоформатных сканеров. В этих условиях в ИТК НАН Беларуси в начале 2000 г. начались исследования по пофрагментному растровому вводу изображений [32]. Разработан способ комплексирования электромагнитных дигитайзеров и малоформатных планшетных сканеров, обеспечивающий автоматическое определение положения и ориентацию сканера в координатной системе дигитайзера. На этой основе создан и с 2002 г. поставляется заказчикам недорогой аппаратно-программный комплекс (АПК) ДИСКАН (рис. 5), разработана технология для ввода крупноформатных изображений с плоских носителей произвольных размеров и цветовой раскраски с возможностями представления выходных данных в растровой, векторной и смешанной (растрово-векторной) форме [33]. Технология включает операции автоматического разбиения изображения на фрагменты; компьютерного наведения на очередной сканируемый фрагмент; бесшовного синтеза единого растрового файла из множества сканированных растровых фрагментов в условиях «размытых» значений координатной привязки, присущих физическим координатно-измерительным средствам; программную коррекцию искажений от деформации носителей и ряд других сервисных программ. Упомянутый способ комплексирования гаран-

тирует «вторую жизнь» дигитайзерам, находящимся на балансе многих предприятий зачастую без применения в условиях преимущественного использования растровых технологий ввода. В АПК ДИСКАН сохранены возможности автономной работы дигитайзера и сканера в штатных режимах.



Рис. 5. АПК ДИСКАН на базе дигитайзера CalComp 34600 и малоформатного планшетного сканера ScanMaker X12USL фирмы Microtek

### Заключение

С момента возникновения потребностей в автоматизации ввода изображений пройден большой путь от появления самой идеи создания электромагнитных планшетных средств ввода до разработки современных дигитайзеров и аппаратно-программных комплексов. В настоящей статье сделана попытка обозначить в хронологическом порядке наиболее важные вехи на этом пути. За основу принято описание отечественных разработок, завершившихся широким промышленным внедрением. Это прежде всего, дигитайзеры семейств ЭМ, ПЛАНШЕТ, УВГ1-01 и модельный ряд дигитайзеров на его основе, наконец АПК ДИСКАН. Практически все эти разработки или их основные узлы защищены охранными документами на изобретения, что свидетельствует о достаточно высоком на то время мировом техническом уровне. Однако несмотря на достигнутые практически предельные технические показатели назначения по точности, разрешающей способности и скорости ввода, проблема ввода изображений не потеряла актуальности. По-прежнему представляют интерес расширение функциональных возможностей, поиск более совершенных материалов и технических решений основных блоков и электронных модулей устройств, удешевление технологии изготовления наиболее ответственных узлов (в дигитайзерах, например, это поле считывания с координатной матрицей проводников) с целью импортозамещения и/или выхода на внутренний и внешние рынки и т. п.

В Республике Беларусь весомый научный вклад в решение проблемы ввода изображений («дигитайзерного» ввода) внесли и продолжают это делать ученые и аспиранты ОИПИ НАН Беларуси. Именно здесь разработаны теоретические основы дигитайзеров развертывающего преобразования [13] и теория дигитайзеров непрерывного и нониусного преобразования [15, 21], широко подтвержденные вышеупомянутыми результатами внедрения. По рассматриваемой проблеме учеными Национальной академии наук Беларуси защищены более 10 диссертаций, опубликованы около 10 монографий, а также множество журнальных статей и научных докладов конференций и симпозиумов различного уровня.

Основные результаты научных исследований, способствовавшие созданию дигитайзеров семейства ПЛАНШЕТ, базовой модели УВГ1-01 и модельного ряда дигитайзеров на его основе, разработка и внедрение АПК ДИСКАН и технологии пофрагментного ввода широко-

форматных изображений вошли в число лучших результатов фундаментальных и прикладных разработок, отмеченных в ежегодных отчетах НАН Беларуси за 1993–2003 гг.

Автор выражает свою благодарность В.П. Зуеву, О.Н. Лабоду, А.И. Лысенко, Г.П. Шадурскому за дополнительные к [1] сведения о средствах ввода серии ЭМ, изначально предполагавшиеся для материалов статьи в универсальную Белорусскую энциклопедию (т. 18, кн. 2).

### Список литературы

1. Комплект оборудования для кодирования и отображения графической информации / Е.Е. Онегин, И.А. Кадомский, Г.П. Шадурский, Б.Г. Киселев // Электронная промышленность. – 1980. – Вып. 5(89).
2. Чеголин П.М., Афанасьев Г.К. Автоматизация анализа экспериментальных графиков. – М.: Энергия, 1967.
3. Чеголин П.М., Леонович Э.Н., Савенков В.П. Автоматизация преобразования сложных форм графической информации. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 184 с.
4. Леонович Э.Н. Математическое моделирование индукционного съемника координат устройства графического ввода // Весці АН БССР. Сер. фіз-тэхн. навук. – 1976. – № 4. – С. 96-100.
5. Алексеев Г.И. Аналитические представления пространственного распределения магнитных полей индукционных преобразователей графической информации // Теория и методы автоматизации проектирования. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1976. – Вып. 2. – С. 83-92.
6. Алексеев Г.И. Воспроизведение функций средствами цифроаналоговой вычислительной техники. – Мн.: Наука и техника, 1976. – 224 с.
7. Алексеев Г.И., Мильман В.А. О замкнутости некоторых систем функций. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1984. – 14 с. – Деп. в ВИНТИ 02.12.83; №1010-84.
8. А.с. 714435 СССР. Способ считывания графической информации и устройство для его осуществления / Г.И. Алексеев // Открытия. Изобретения. – 1980. – № 5.
9. А.с. 792273 СССР. Способ считывания графической информации / Г.И. Алексеев, Н.А. Ярмош. – Открытия. Изобретения. – 1980. – № 48.
10. А.с. 104435 СССР. Устройства для считывания графической информации / Г.И. Алексеев, М.С. Люкевич, Г.Г. Маньшин и др. // Открытия. Изобретения. – 1983. – № 35.
11. Алексеев Г.И., Светлов П.И. Математическое моделирование взаимодействия индукционных систем измерительных преобразователей графической информации // Весці АН БССР. Сер. фіз-тэхн. навук. – 1981. – № 1. – С. 82-89.
12. Методическая погрешность индукционного планшетного измерительного преобразователя графической информации с фазовым методом измерения координат / Г.И. Алексеев, М.С. Люкевич, П.И. Светлов и др. // Весці АН БССР. Сер. фіз-тэхн. навук. – 1982. – № 2. – С. 84-90.
13. Лабовкин В.Н. Теоретические основы и проектирование электромагнитных планшетных средств ввода с указателями координат стержневого типа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1988. – 20 с.
14. Алексеев Г.И., Лабовкин В.Н. Определение угловой ориентации стержневого указателя координат индукционного кодировщика на основе гармонического анализа огибающей наведенных ЭДС // Весці АН БССР. Сер. фіз-тэхн. навук. – 1989. – № 3. – С. 98-102.
15. Алексеев Г.И. Теоретические основы и проектирование электромагнитных планшетных средств ввода графической информации: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Киев: Ин-т кибернетики АН Украины, 1989. – 46 с.
16. Алексеев Г.И. Электромагнитные планшетные устройства ввода. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 239 с.
17. Пат.157ВУ, МКИ G06k, 11/06. Планшет для устройства считывания графической информации / Г.И. Алексеев. – № 4838325; Заявл. 11.06.90; Опубл. в БИ. – 1992. – № 41.
18. Гренов А.И., Алексеев Г.И. Размещение регулярных последовательностей точек на прямой по критерию близости. – Деп. в ВИНТИ 14.04.1993; № 947-В93.

19. Гренов А.И. Суммирование функциональных рядов с помощью вычетов // Весці Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1993. – № 1. – С. 88-92.
20. Гренов А.И., Алексеев Г.И. Об аппроксимации синуса рациональными функциями одного вида в задаче расчета магнитного поля. Деп. в ВИНТИ 04.10.1993. № 2511-B93.
21. Гренов А.И. Математическое моделирование и проектирование нониусных индукционных систем планшетных дигитайзеров: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 20 с.
22. Алексеев Г.И., Мильман В.А. О расчете ЭДС в индукционных системах электромагнитных планшетных устройств ввода // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1993. – № 2. – С. 84-87.
23. Алексеев Г.И., Мильман В.А. О расчете взаимной индуктивности прямолинейного проводника и эллиптического контура // Электричество. – 1993. – № 12. – С. 53-57.
24. Алексеев Г.И., Мильман В.А., Шейко В.В. Расчет взаимодействия индукционных систем устройств графического ввода со стержневыми указателями координат // Весці Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1995. – № 1. – С. 54-59.
25. Алексеев Г.И., Мильман В.А., Шейко В.В. Расчет взаимной индуктивности прямолинейного проводника и круговой катушки // Электричество. – 1995. – № 4. – С. 59-63.
26. Алексеев Г.И., Васильев Е.Ю., Мильман В.А. Расчет и оптимизация индукционной системы дигитайзера на упрощенной модели // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 3. – С. 110-115.
27. Гренов А.И., Королик С.Н. Обеспечение инвариантности к наклонам стержневого указателя планшетного дигитайзера за счет оптимизации параметров индукционной системы // Распознавание образов и обработка информации: Тез. докл. конф. – Мн., 1995. – С. 36-41.
28. Алексеев Г.И., Гренов А.И. Система автоматизации проектирования координатных сеток для планшетных устройств графического ввода // Теория и методы создания интеллектуальных САПР в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. конф. – Мн., 1992. – С. 51.
29. Цифровые планшеты с коррекцией погрешности измерения координат / Г.И. Алексеев, Е.Ю. Васильев, С.Н. Королик, В.А. Мильман. – Деп. в ВИНТИ 03.09.1997; № 2786-B97.
30. Тормышев Ю.И. Технические средства машинной графики. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 192 с.
31. Мильман В.А. Абсолютно минимальные продолжения функций на метрических пространствах // Математический сборник. – 1999. – Т. 190. – № 6. – С. 83-110.
32. Комбинированный ввод в компьютер крупноформатных изображений / Г.И. Алексеев, А.А. Камович, В.А. Мильман и др. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2003. – № 4. – С. 115-119.
33. Аппаратно-программный комплекс ввода крупноформатных документов ДИСКАН / Г.И. Алексеев, А.А. Камович, В.В. Мильман и др. // Мат. Первого Белорусского космического конгресса (28-30 октября 2003 г., Минск). – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – С. 190-191.

Поступила 21.09.04

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: itekan@newman.bas-net.by*

**G.I. Alexeyev**

### **THE PLANE-TABLE DEVICES FOR THE INPUT OF IMAGES**

The attempt is made to throw the light upon the main scientific research and engineering development of digitizers and hard-software digitizing systems which were realized in the National

Academy of Sciences of Belarus and other organizations. The digitizers were produced as repetition products and were implemented in the industry.