

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТОКАМАКА КТМ

А.А. Мезенцев, В.М. Павлов, К.И. Байструков, А.В. Шарнин

Томский политехнический университет

E-mail: mezentsev@phtd.tpu.edu.ru

Рассмотрен вопрос проектирования системы визуализации экспериментальных данных для установки по управляемому термоядерному синтезу КТМ, которая разрабатывается для проведения исследований по воздействию высокотемпературной плазмы на различные материалы, располагаемые в диверторной области. Проанализированы технические решения систем визуализации на пультах управления установок JT-60, HL-2A и принципы построения видеосистем с множественным доступом. В статье представлено техническое решение проекта системы визуализации экспериментальных данных, которое построено на основе 12 жидкокристаллических дисплеев с диагональю 46" и специальным видеоконтроллером, который подключается к системной шине PCI Express ПЭВМ.

Введение

Известно, что наиболее перспективным источником энергии является термоядерный синтез [1]. За пятидесятилетнюю гонку по освоению энергии Солнца человечество научилось создавать программно-технические комплексы по удержанию этой энергии – термоядерные реакторы типа ТОКАМАК [2]. Однако нестабильность показателей плазмы и недостаточная эффективность методов управления обуславливают необходимость доработки теоретических методов управления и создания новых экспериментальных установок. В настоящий момент для проведения материаловедческих экспериментов строится Казахстанский ТОКАМАК материаловедческий (КТМ) [3].

Одной из подсистем системы автоматизации экспериментов (САЭ) КТМ [4] является Пульт управления (ПУ). Актуальность разработки технических решений для термоядерных установок объясняется сложностью представления большого количества технологических, пусковых и экспериментальных параметров в соответствии с циклограммой проведения эксперимента. Поскольку строительство новых термоядерных установок в мире происходит достаточно редко, то технические решения, используемые в данное время на термоядерных установках, устарели и не отвечают современным требованиям по многим критериям. Следовательно, необходим глубокий анализ проблемы и подготовка новых перспективных технических решений, удовлетворяющих требованиям эксперимента и возможностям современной техники.

В данной работе рассмотрим один из этапов проектирования ПУ КТМ – проектирование системы визуализации экспериментальных данных.

Уточнение требований к разработке

Для управления проведением экспериментов ПУ КТМ должен включать в свой состав три рабочих места операторов и панель коллективного пользования (ПКП), рис. 1. ПУ КТМ должен быть представлен как многотерминальный программно-технический комплекс, состоящий из: пульта опе-

ратора технолога (ПОТ), пульта ведущего физика (ПВФ) и пульта главного оператора (ПОУ) [5].

Выделим требования, определяющие техническое решение системы визуализации данных.

1. Независимое включение и функционирование подсистем визуализации ПОТ, ПОУ и ПВФ.
2. ПКП должна делиться на четыре функциональных области: область визуализации ПОУ, ПОТ, ПВФ и видеоряда системы технологического видеонаблюдения.
3. Каждая функциональная область должна иметь возможность представления 3–4-х мнемосхем для различных подсистем САЭ КТМ.
4. ПКП должна иметь возможность отображения сложных мнемознаков.
5. Большая графическая панель должна иметь малую толщину, вес и возможность крепления на стену.

Техническое решение

При проектировании системы визуализации экспериментальных данных необходимо решить две подзадачи: выбрать технологию отображения информации и определить параметры канала передачи данных от пультов управления до ПКП.

При решении первой из поставленных подзадачи были проанализированы наиболее актуальные методы отображения информации:

1. Метод прямой проекции (МПП) – проекторы.
2. Метод обратной проекции (МОП) – DLP видеокубы.
3. Плазменные панели.
4. Жидкокристаллические панели (ЖК) – TN, S-IPS, MVA, PVA и LTPS.
5. Светодиодные панели.

При анализе имеющихся технических решений были исследованы пульта управления термоядерных установок: JT-60 (Япония), HL-2A (Китай), T-15, T-10 (Россия) и некоторых других. Так пульт управления ТОКАМАКА JT-60, построенного более 20 лет назад, содержит в своём составе мнемощиты с ламповой

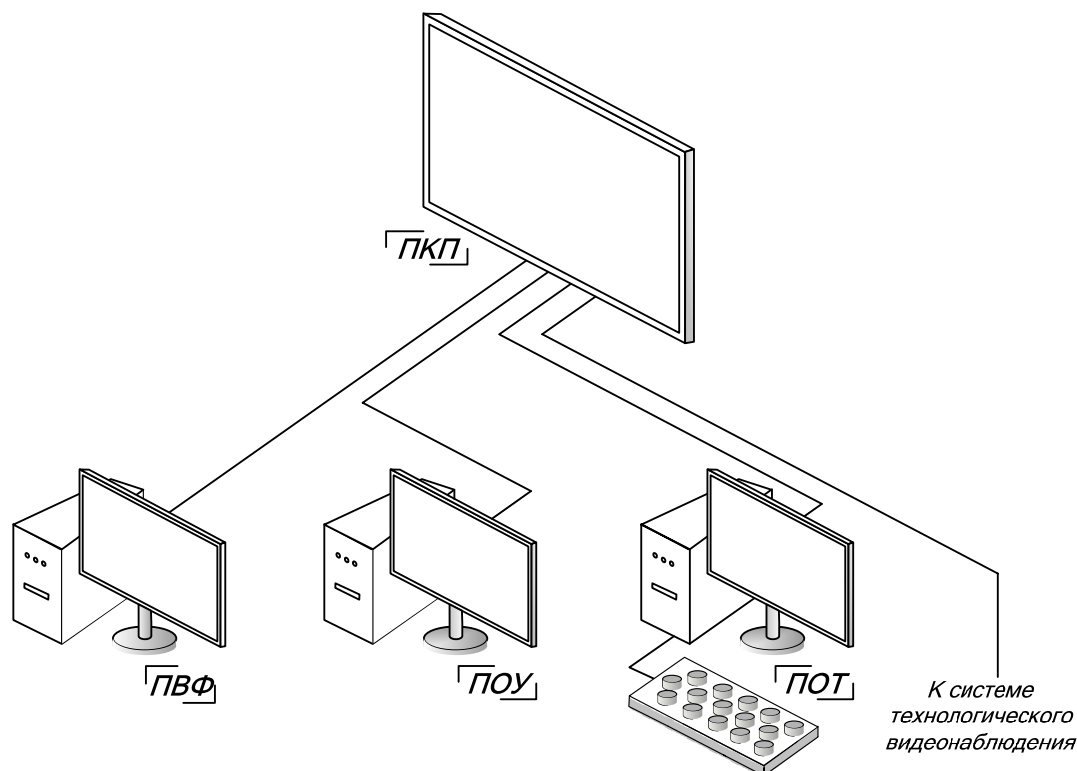


Рис. 1. Состав технических средств ПУ КТМ

индикацией состояния оборудования. Подобное решение не позволяет представлять информацию с помощью сложных графиков и поверхностей, выводить динамическую информацию и использовать другие мощные средства представления данных. Пульт управления установки НЛ-2А представляет большую графическую панель, построенную на основе технологии МОП. Подобное техническое решение имеет большие габариты и высокую стоимость. С учётом малых размеров помещения пульта КТМ, МОП технология для изготовления панели коллективного пользования пульта управления не приемлема.

На сегодняшний день наибольшее развитие получила ЖК технология изготовления индикаторов. ЖК дисплеи обладают достаточной яркостью, пиксельным разрешением, малыми габаритами, пассивной системой охлаждения и широким набором цифровых и аналоговых интерфейсов для подключения внешних источников информации. Для того, чтобы использовать ЖК-дисплеи в качестве компонентов ПКП, рассчитаем способность одного дисплея с диагональю 46" и пиксельным разрешением 1366×768 отображать сложные мнемознаки. Известно, что операторы пульта будут находиться на расстоянии 3...4 м от ПКП, следовательно, согласно ГОСТ Р 50948-2001 «Средства отображения информации индивидуального пользования», размер мнемознаков, отображаемых на дисплее, должен быть рассчитан по следующей формуле $\alpha = 2 \arctan(h/2l)$, где h – высота знака в мм, l – расстояние в мм от знака до глаза наблюдателя. Поскольку угол $\alpha \geq 16'$ считается комфортным для чтения, то при расстоянии 3 м от ПКП до оператор

ра, высота символов должна быть ≥ 8 мм. С учётом того, что один дисплей содержит свыше 1 млн пикселей, то один мнемознак будет содержать около 90 пикселей. Расчётное число пикселей для представления одного сложного мнемознака достаточно для правильного его восприятия оператором.

Проект системы автоматизации экспериментов КТМ требует представления на ПКП четырёх функциональных областей: пусковых параметров, технологических параметров, экспериментальных данных и системы технологического видеонаблюдения. В составе перечисленных функциональных областей должны быть представлены 4, 3, 3 и 2 мнемосхемы соответственно. С учётом расчётной способности одного ЖК дисплея по отображению мнемознаков нами установлено, что для отображения всех мнемосхем требуется 12 ЖК дисплеев. Тогда наиболее эффективной конфигурацией ПКП будет группа дисплеев 3×4. Эскиз разработанного технического решения представлен на рис. 2.

Подобная большая графическая панель обладает максимально возможными для использования в помещении пульта КТМ габаритами, а низкий вес каждой панели (27 кг) позволяет крепить всю конструкцию на стену.

Перечисленные выше технологии отображения информации: плазменные и светодиодные панели, в результате анализа были признаны не пригодными в качестве основного решения. Поскольку плазменные дисплеи характеризуются нелинейным выгоранием пикселей, они не пригодны для применения в промышленных условиях для отображения

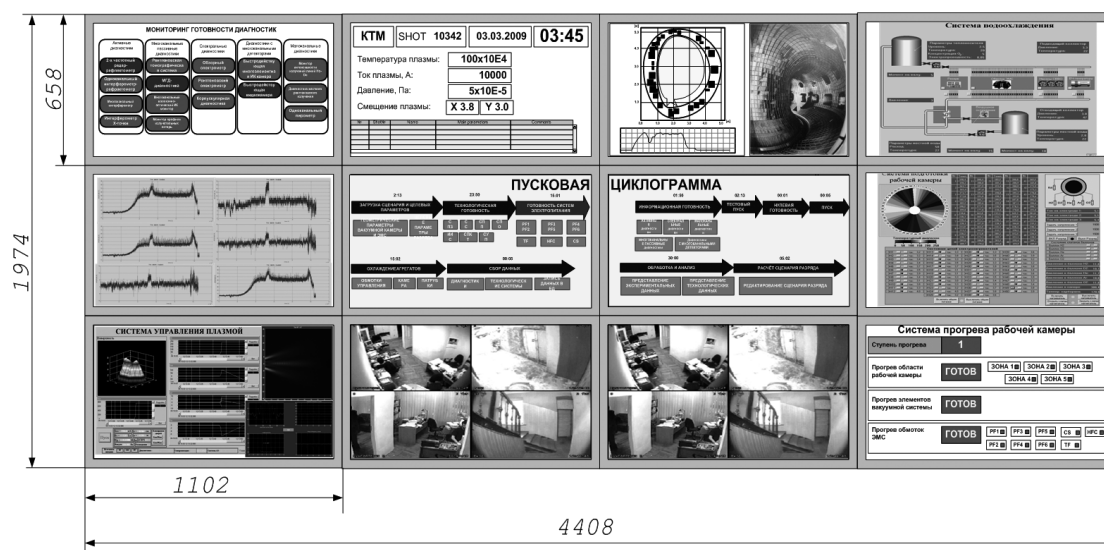


Рис. 2. Панель коллективного пользования, состоящая из 12 ЖК дисплеев

статических мнемосхем. Широко распространенные светодиодные дисплеи не обладают достаточными техническими характеристиками, необходимыми для представления сложных мнемознаков.

Рассмотрим вторую подзадачу, поставленную в процессе проектирования, на основе каких технических средств следует проектировать канал формирования и передачи видеоданных от ПЭВМ оператора к ПКП.

Известно, что каждый оператор пульта управления КТМ должен управлять выводом изображения с ПЭВМ на 4–5 дисплеев. Для этого необходимо использовать специальный многоэкранный графический контроллер. Для обоснования выбора технических средств рассчитаем объём информации, который необходимо передавать по видеоканалу.

Пусть разрешение одного ЖК дисплея 1366×768 , следовательно, общий объём изображения при 32-х битном кодировании цвета составляет: $1366 \times 768 \times 4 = 4196352$ байт. Поскольку параметра «частота смены кадров» для ЖК дисплеев не существует, а существует параметр «время отклика», обусловленный временем перехода тонкоплёночного транзистора из одного состояния в другое (открыт – закрыт), то нормальная частота работы ЖК дисплея составит 60 Гц. В этом случае поток данных исходящий от видеосистемы должен быть равен: $4,002 \times 60 = 240,117$ Мбайт/с. Рассмотрим характеристики потоков данных на ПУ КТМ с учётом количества дисплеев и их характеристик (табл. 1).

Максимальный объём данных, который необходимо транслировать, табл. 1, составляет 1888,052 Мбайт/с для ПОУ. Исходя из характеристики пропускной способности локальной шины ПЭВМ, передачу такого объёма данных могут обеспечить шина PCI-X 64 бит 266/533 МГц и шина PCI Express.

Одним из представителей разработчиков технических средств построения видеосистем является

компания MATROX. Компания представляет встраиваемые и внешние решения для персональных и промышленных ЭВМ в виде PCI, PCI-X, PCI Express и USB совместимых плат и комплексов. Данные контроллеры поддерживают до 4-х выходных каналов видеоданных DVI и VGA, а также возможность установки нескольких плат в одном корпусе ПЭВМ. Исходя из характеристик, представленных в спецификации DVI, максимальная расчётная пропускная способность одного цифрового канала DVI на частоте 60 Гц составляет 118,195 млрд пикселей/с. Максимальное разрешение дисплея в этом случае составит 1920×1080 пикселей. Следовательно, интерфейс DVI полностью удовлетворяет требованиям к разработке системы визуализации.

Таблица 1. Характеристики потоков видеоданных ПУ КТМ. Кодирование цвета: 32 бит. Время смены состояния пикселя: 17 мс/60 Гц

Группа дисплеев	ПОУ	ПОТ	ПВФ
Кол-во локальных дисплеев (N1), шт	2	1	1
Разрешение дисплеев, пикселей	1280×1024		
Суммарный объём видеоданных, передаваемых на дисплеи, Мбайт/с ($1280 \times 1024 \times 60 \times 4 \times N1$)	629,146	314,573	
Кол-во дисплеев ПКП (N2), шт	5	4	3
Разрешение дисплеев, пикселей	1366×768		
Суммарный объём видеоданных, передаваемых на дисплеи, Мбайт/с ($1366 \times 768 \times 60 \times 4 \times N2$)	1258,906	1007,124	755,343
Общий суммарный поток на дисплеи пульта КТМ, Мбайт/с	1888,052	1321,697	1069,916

Цифровой интерфейс DVI является эффективным для передачи больших объёмов видеоданных, однако, в соответствии с его спецификацией, расстояние, допустимое для передачи сигнала по проводной линии не превышает 5...7 м. На больших расстояниях происходит искажение амплитудно-

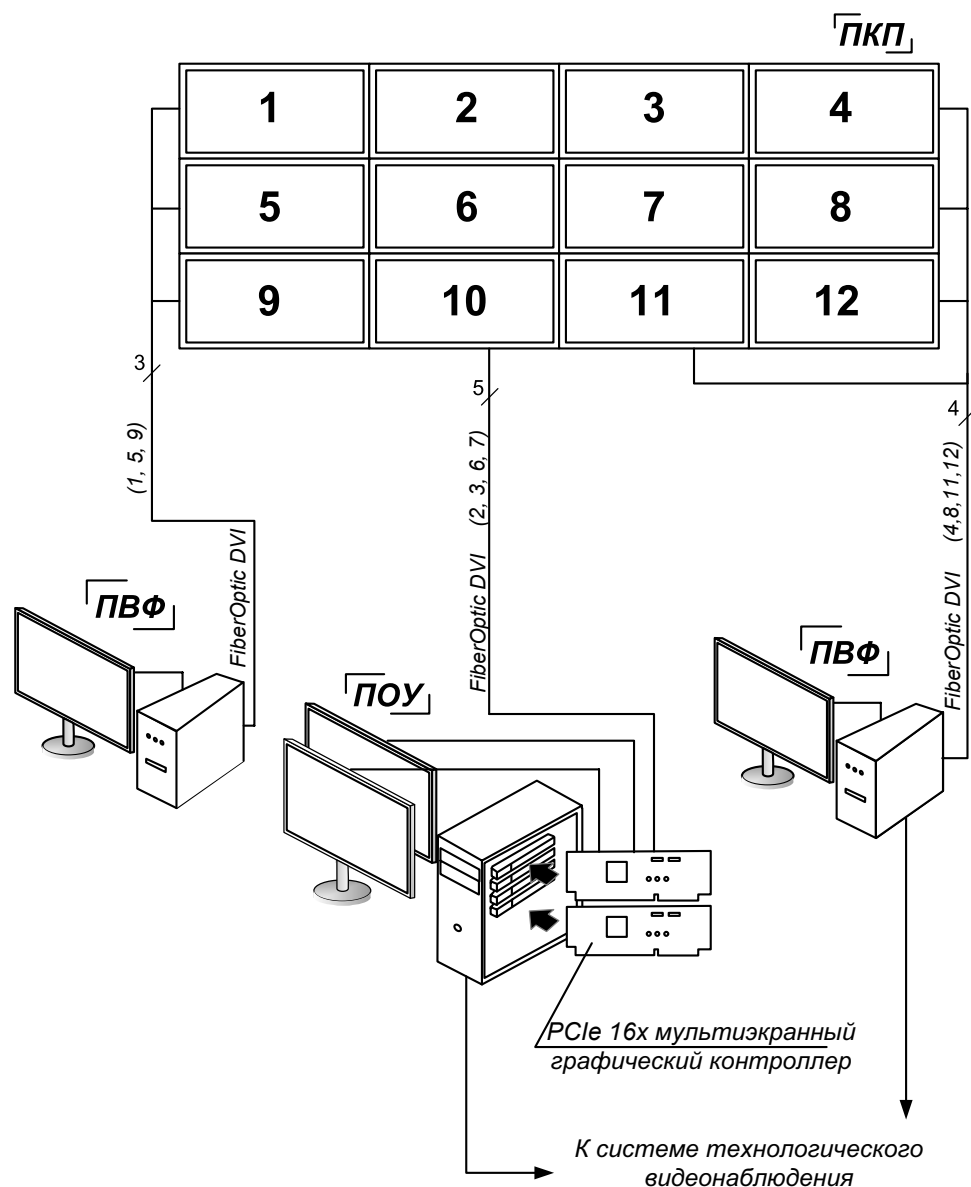


Рис. 3. Система визуализации экспериментальных данных пульта управления КТМ. Состав технических средств

частотной характеристики видеосигнала, и принимающий контролер не может его интерпретировать. Для решения задачи передачи видеосигнала на расстоянии более 5 м необходимо использовать в качестве среды передачи видеосигнала оптический кабель. Это позволит передавать сигнал DVI на 20...25 м. Поскольку длина кабеля, соединяющего отдельные пульты операторов и ПКП с учётом его прокладки в кабельных организаторах по полу и стенам – 15...17 м, то длины одного выпускаемого промышленностью оптического кабеля с концевыми преобразователями DVI в FiberOptic будет достаточно. С учётом количества ЖК-дисплеев, составляющих ПКП, требуется 12 оптических кабелей.

На основании изложенного выше, нами создан проект системы визуализации экспериментальных данных ПУ КТМ, основные характеристики которого представлены в табл. 2, рис. 3.

Заключение

В процессе разработки проекта системы визуализации экспериментальных данных КТМ был проведён анализ пультов управления некоторых термоядерных установок. Установлено, что используемые на одних установках (JT-60) мнемощиты не позволяют применять современные инструменты представления данных: тренды для представления тока плазмы, 3D-поверхности для представления плотности плазмы. Так же невозможно отображать на одном мнемощите несколько мнемосхем. Другой пример современной пультовой (HL-2A) содержит в своём составе видеостену, построенную из видеокубов. Подобное решение не приемлемо для ПУ КТМ из-за внушительных габаритов. Реализованный проект пультовой удалённого доступа на ТОКАМАКе Т-10 представлен в виде программно-технического комплекса, предназначенного для проведения видео-

Таблица 2. Характеристики системы визуализации экспериментальных данных ПУ КТМ

Обозн.	Состав	Параметр	Характеристика	Кол-во, шт
ПКП	Дисплеи	Габариты [Ш×В×Т], мм	1102×658×126,5	12
		Видеоинтерфейс подключения	DVI-D	
		Интерфейс канала управления	RS-232C	
		Яркость, кд/м²	500	
		Вес, кг	28	
		Разрешение, пикселей	1366×768	
		Стандарт крепления	VESA 600	
	Крепления	Стандарт крепления	VESA 450–750	
		Угол наклона	-10°...+18°	
	Кабели соединительные	Длина, м	20	
Среда передачи сигнала		Fiber Optic		
Интерфейс передачи сигнала		DVI-I		
ПОУ, ПОТ, ПВФ	Многоэкранный графический контроллер	Видеоинтерфейс	4×DVI-I	5
		Интерфейс подключения к ЭВМ	PCI Express 16×	
	Дисплеи	Видеоинтерфейс подключения	DVI-D	4
		Яркость, кд/м²	500	
		Разрешение, пикселей	1280×1024	
	Кабели соединительные	Длина, м	1,8	
		Среда передачи сигнала	витая пара	
		Интерфейс передачи сигнала	DVI-I	

конференций и удалённого управления экспериментом. Подобная работа является значимой для России

и представляет первый шаг в развитии нового направления в общем проекте модернизации устаревших термоядерных установок. Однако многие из использованных технических средств не могут быть применены в проекте системы визуализации казахстанской термоядерной установки. Так, плазменные дисплеи с низким разрешением (853×480 пикселей) не позволяют отображать сложные мнемознаки и мнемосхемы, необходимые для управления КТМ. Значительное и не линейное выгорание плазменных индикаторов, в отличие от ЖК, не позволяет использовать их при отображении статических мнемосхем, которые в большом количестве содержатся в проекте ПУ КТМ. Изложенные выше доводы потребовали индивидуального подхода при проектировании системы визуализации КТМ.

Представленное в статье решение разработано в соответствии с требованиями конкретной термоядерной установки. В решении учтены особенности проектирования видеосистем подобного класса.

Разработанная нами система визуализации экспериментальных данных включает:

1. Панель коллективного пользования (12 ЖК дисплеев со встроенным контроллером Ethernet, USB, операционной системой Windows CE и поддержкой удалённой настройки).
2. Канал передачи цифровых видеосигналов на расстоянии более 20 м по оптическому кабелю Kramer.
3. Встраиваемые в ПЭВМ многоэкранные графические контроллеры поддерживающие работу нескольких плат в составе одного ПЭВМ и устанавливаемые в разъёмы PCI Express.
4. Специализированный уникальный драйвер графической системы позволяющий управлять выводом изображения на каждый дисплей видеосистемы и локальные дисплеи операторов индивидуально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко В.И. Управляемый термоядерный синтез и проблемы инерциального термоядерного синтеза // Сорсовский образовательный журнал. – 1999. – № 6. – С. 2–8.
2. Мирнов С.В. Энергия из воды. Ближайшие перспективы управляемого ядерного синтеза // Физика. Новый взгляд. – 2005. – № 2. – С. 4–14.
3. Azizov E.A., Dokouka V.N., Dvorkin N.Ya. et al. Kazakhstan TOKAMAK for material testing // Fusion energy conference: Proc. of 18th Conf. – Sorrento, Italy, 2000. – P. 244–252.
4. Baystrukov K.I., Pavlov V.M., Shamin A.V., Obhodskij A.V., Merkulov S.V., Golobokov Y.N., Mezentsev A.A., Ovchinnikov A.V., Tazhibaeva I.L. Control and data acquisition system of TOKAMAK KTM // IAEA technical meeting on research using small fusion devices: Proc. of 17th Conf. – Lissabon, Portugal, 2007. – P. 135–145.

5. Тихомиров Л.Н., Тажибаева И.Л., Павлов В.М., Байструков К.И., Драпико Е.А., Шарнин А.В., Кудрявцев В.А. Реализация программного обеспечения системы автоматизации экспериментов в SCADA Trace Mode с использованием компонентных технологий // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2005. – № 7. – С. 7–12.

Поступила 17.03.2008 г.

Ключевые слова:

Система визуализации, методы отображения информации, многоэкранный графический контроллер.