

# TFT-дисплеи: информативно, функционально, просто

**Для многих жидкокристаллические дисплеи (LCD) ассоциируются прежде всего с плоскими мониторами, «крутыми» телевизорами, ноутбуками, видеокамерами и сотовыми телефонами. Некоторые добавляют сюда КПК, электронные игры, банковские автоматы. Но существует еще множество областей, где необходимы дисплеи с высокой яркостью, прочной конструкцией, работающие в широком диапазоне температур.**

**Николай Ракович**

info@premier-electric.com

Плоские дисплеи нашли применение там, где критичными параметрами являются минимальное энергопотребление, вес и габариты. Машиностроение, автомобильная промышленность, железнодорожный транспорт, морские буровые установки, горное оборудование, наружные торговые точки, авиационная электроника, морской флот, специальные транспортные средства, системы безопасности, медицинское оборудование, вооружение — далеко не полный перечень применений ЖК-дисплеев. Постоянное развитие технологий в этой области позволило снизить стоимость производства ЖКИ до такого уровня, при котором произошел качественный переход: дорогая экзотика стала обыденным явлением. Важным фактором быстрого распространения ЖК-дисплеев в промышленности стала и простота применения.

В этой статье рассматриваются основные параметры различных типов ЖК-дисплеев, что позволит сделать осознанный и правильный выбор для каждого конкретного применения (метод «побольше и подешевше» практически всегда оказывается слишком дорогим).

**Технология**

В настоящее время при производстве LCD применяются две технологии (рис. 1): пассивная матрица (PMLCD-STN) и активная матрица (AMLCD).

Технологии MIM-LCD и Diode-LCD не получили широкого распространения, поэтому не будем на них останавливаться.

STN (Super Twisted Nematic) — пассивная матрица, состоящая из ЖК-элементов с изменяемой прозрачностью.

TFT (Thin Film Transistor) — активная матрица, в которой каждый пиксель управляется отдельным транзистором.

По сравнению с пассивной матрицей, TFT LCD имеет более высокую контрастность, насыщенность, меньшее время переключения (нет «шлейфов» у движущихся объектов).

Управление яркостью в ЖК-дисплее основано на поляризации света: свет поляризуется, проходя через поляризационный фильтр (с определенным углом поляризации). При этом наблюдатель видит только снижение яркости света (почти в 2 раза). Если за этим фильтром поставить еще один такой фильтр, то свет будет полностью поглощаться (угол поляризации второго фильтра перпендикулярен углу поляризации первого) или полностью проходить (углы поляризации совпадают). При плавном изменении угла поляризации второго фильтра интенсивность проходящего света будет также плавно изменяться.

Принцип действия и «бутербродная» структура всех TFT LCD примерно одинакова (рис. 2). Свет от лампы подсветки (неоновая или светодиоды) проходит через первый поляризатор и попадает в слой жидких кристаллов, управляемых тонкопленочным транзистором (TFT). Транзистор создает электрическое поле, которое формирует ориентацию жидких кристаллов. Пройдя такую структуру, свет меняет свою поляризацию и будет или полностью поглощен вторым поляризационным фильтром (черный экран), или не будет поглощаться (бе-

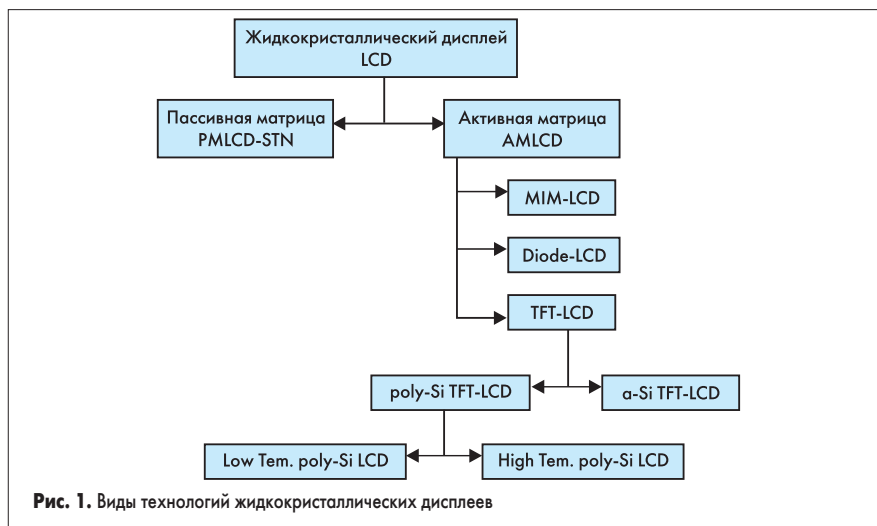


Рис. 1. Виды технологий жидкокристаллических дисплеев

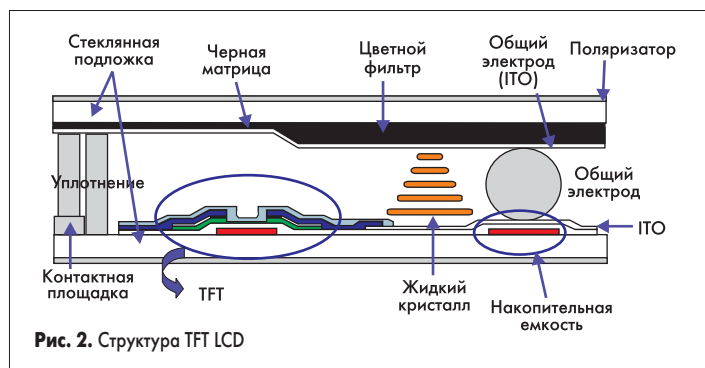


Рис. 2. Структура TFT LCD

мый), или поглощение будет частичным. Цвет изображения определяют цветные фильтры (аналогично электронно-лучевым трубкам, каждый пиксель матрицы состоит из трех субпикселей — красного, зеленого и голубого).

### Пиксел TFT

Цветные фильтры для красного, зеленого и синего цветов интегрированы в стеклянную основу и расположены близко друг к другу. Это может быть вертикальная полоса, мозаичная структура или дельта-структура (рис. 3). Каждый пиксель (точка) состоит из трех ячеек указанных цветов (субпикселей). Это означает, что при разрешении  $m \times n$  активная матрица содержит  $3m \times n$  транзисторов и субпикселей. Шаг пикселя (с тремя субпикселями) для 15,1" TFT ЖК-дисплея (1024×768 точек) составляет примерно 0,3 мм, а для 18,1" (1280×1024 точки) — 0,28 мм. TFT LCD имеют физическое ограничение, которое определяется максимальной площадью экрана. Не ждите разрешения 1280×1024 при диагонали 15" и шаге точки 0,297 мм.

На близком расстоянии точки явственно различимы, но это не беда: при формировании цвета используется свойство человеческого глаза смешивать цвета при угле зрения менее 0,03°. На расстоянии 40 см от ЖК-дисплея при шаге между субпикселями 0,1 мм угол зрения составит 0,014° (цвет каждого субпикселя различит только человек с орлиным зрением).

### Типы ЖК-дисплеев

**TN TFT** или **TN+Film TFT** — первая технология, появившаяся на рынке ЖК-дисплеев, основное достоинство которой — дешевизна.

Недостатки:

- черный цвет больше похож на темно-серый, что приводит к низкой контрастности изображения;
- «мертвые» пиксели (при выходе из строя транзистора) очень яркие и заметные.

**IPS (In-Pane Switching)** (Hitachi) или **Super Fine TFT** (NEC, 1995 год). Характеризуется наибольшим углом обзора и высокой точностью цветопередачи. Угол обзора расширен до 170°, остальные функции, как у TN+Film (время отклика порядка 25 мс); практически идеальный черный цвет.

Преимущества:

- хорошая контрастность;
- «мертвый» пиксель — черный.

Super IPS (Hitachi), Advanced SFT (NEC).

Достоинства:

- яркое контрастное изображение;
- искажения цвета почти незаметны;
- увеличены углы обзора (до 170° по вертикали и по горизонтали);
- исключительная четкость.

**UA-IPS (Ultra Advanced IPS), UA-SFT (Ultra Advanced SFT)** (NEC). Время реакции достаточно для обеспечения минимальных искажений цвета при просмотре экрана под разными углами, повышенная прозрачность панели и расширение цветовой гаммы при достаточно высоком уровне яркости.

**MVA (Multi-Domain Vertical Alignment)** (Fujitsu).

Основные преимущества:

- наименьшее время реакции;
- высокая контрастность.

Главный недостаток — высокая стоимость.

**PVA (Patterned Vertical Alignment)** (Samsung). Микроструктурное вертикальное размещение ЖК.

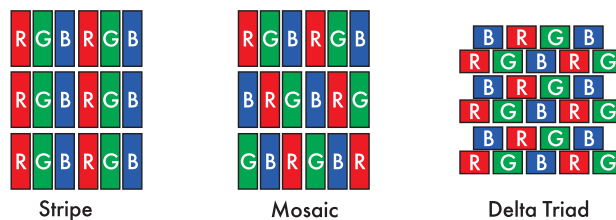


Рис. 3. Структура цветного фильтра

Конструкция ЖК-дисплея определяется расположением слоев в «бутерброде» (включая и светопроводящий слой) и имеет наибольшее значение для качества изображения на экране (в любых условиях — от темного помещения до работы при солнечном свете).

В настоящее время используются три основных типа цветных LCD:

- пропускающий (transmissive), предназначенный в основном для оборудования, работающего в помещении;
- отражающий (reflective) применяется в калькуляторах и часах;
- проекционный (projection) используется в ЖК-проекторах.

Кроме того, существует еще полупрозрачный (transflective) — компромиссная разновидность пропускающего типа дисплея для работы как в помещении, так и при внешнем освещении.

**Пропускающий тип дисплея (transmissive).**

В этом типе конструкции свет поступает сквозь ЖК-панель с задней стороны (подсветка) (рис. 4). По этой технологии сделано

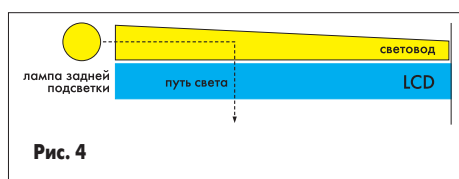


Рис. 4

большинство ЖК-дисплеев, используемых в ноутбуках и карманных компьютерах. Transmissive LCD имеет высокое качество изображения в помещении и низкое (черный экран) при солнечном свете, т. к. отраженные от поверхности экрана солнечные лучи полностью подавляют свет, излучаемый подсветкой. Эта проблема в настоящее время решается двумя способами: увеличением яркости задней подсветки и уменьшением количества отраженного солнечного света.

Для работы при дневном освещении в тени необходима лампа подсветки, обеспечивающая 500 кд/м<sup>2</sup>, при прямом солнечном свете — 1000 кд/м<sup>2</sup>. Яркости в 300 кд/м<sup>2</sup> можно добиться путем предельного увеличения яркости одной лампы CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) или добавлением второй лампы, расположенной напротив. Модели ЖК-дисплеев с повышенной яркостью используют от 8 до 16 ламп. Однако увеличение яркости подсветки увеличивает расход энергии батарей (одна лампа подсветки потребляет около 30% энергии, используемой устройством). Следовательно, экраны с повышенной яркостью можно использовать только при наличии внешнего источника питания.

Уменьшение количества отраженного света достигается нанесением антиотражающего покрытия на один или несколько слоев дисплея, заменой стандартного поляризационного слоя на минимально отражающий, добавлением пленок, повышающих яркость и, таким образом, увеличивающих эффективность источника света. В ЖК-дисплеях Fujitsu преобразователь заполняется жидкостью с коэффициентом рефракции, равным коэффициенту рефракции сенсорной панели, что значительно сокращает количество отраженного света (но сильно сказывается на стоимости).

**Полупрозрачный тип дисплея (transflective)** похож на пропускающий, но у него между слоем жидких кристаллов и подсветкой имеется т. н. частично отражающий слой (рис. 5). Он может быть или частично серебряным, или полностью зеркальным со множеством

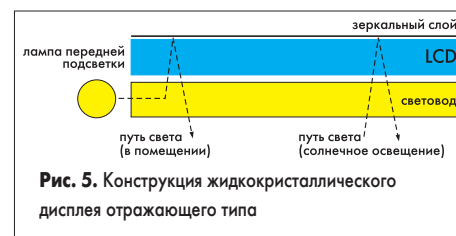
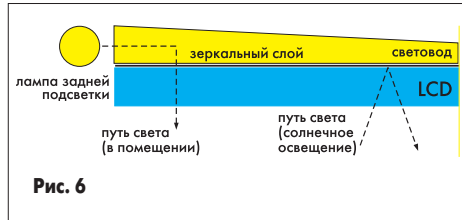


Рис. 5. Конструкция жидкокристаллического дисплея отражающего типа



маленьких отверстий. Когда такой экран используется в помещении, он работает аналогично transmissive LCD, в котором часть освещения поглощается отражающим слоем. При дневном освещении солнечный свет отражается от зеркального слоя и освещает слой ЖК, при этом свет проходит жидкие кристаллы дважды (внутри, а затем наружу). Как следствие, качество изображения при дневном освещении ниже, чем при искусственном освещении в помещении, когда свет проходит LCD один раз.

Баланс между качеством изображения в помещении и при дневном освещении достигается подбором характеристик пропускающего и отражающего слоев.

**Отражающий тип дисплея (reflective)** имеет полностью отражающий зеркальный слой. Все освещение (солнечный свет или свет передней подсветки) (рис. 6) проходит сквозь ЖКИ, отражается от зеркального слоя и снова проходит сквозь ЖКИ. В этом случае качество изображения у дисплеев отражающего типа ниже, чем у полупропускающего (так как в обоих случаях используются сходные технологии). В помещении передняя подсветка не так эффективна, как задняя, и, соответственно, качество изображения ниже.

**Основные параметры жидкокристаллических панелей**

**Разрешение.** Цифровая панель, число пикселей в которой строго соответствует номинальному разрешению, должна корректно и быстро масштабировать изображение. Простой способ проверки качества масштабирования — изменение разрешения (на экране текст, написанный мелким шрифтом). По контурам букв легко заметить качество интерполяции. Качественный алгоритм дает ровные, но немного размытые буквы, тогда как быстрая целочисленная интерполяция обязательно вносит искажения. Быстродействие — второй параметр разрешения (для масштабирования одного кадра требуется время на интерполяцию).

**Мертвые пиксели.** На плоской панели могут не работать несколько пикселей (они всегда одного цвета), которые появляются в процессе производства и восстановлению не подлежат.

Таблица 1

Класс	Тип 1	Тип 2	Тип 3
I	0	0	0
II	2	2	5
III	5	15	50
IV	50	150	500

Тип 1 — постоянно светящиеся пиксели (белый);  
 Тип 2 — «мертвые» пиксели (черный);  
 Тип 3 — дефектные красные, синие и зеленые субпиксели.

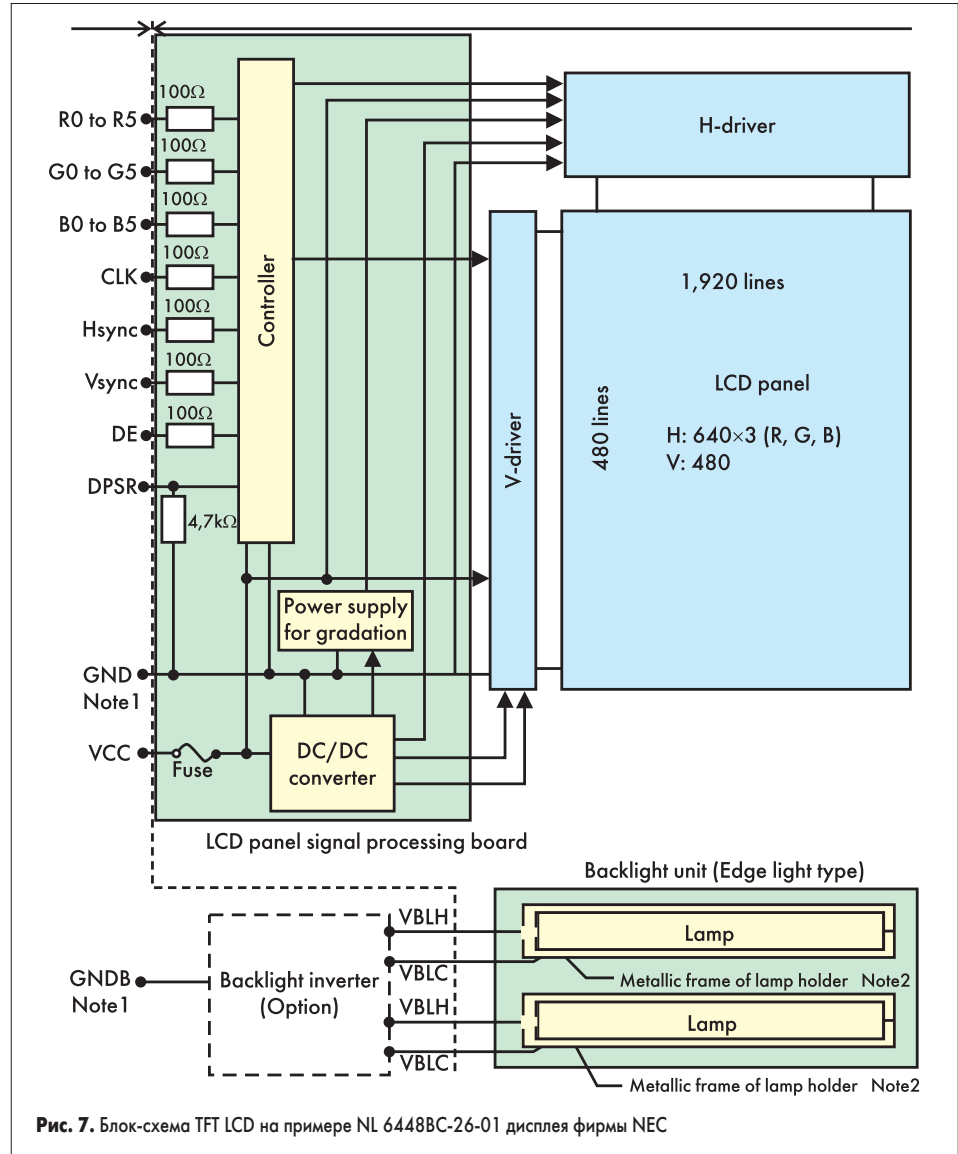


Рис. 7. Блок-схема TFT LCD на примере NL 6448BC-26-01 дисплея фирмы NEC

Стандарт ISO 13406-2 определяет предельные значения количества дефектных пикселей на миллион. В соответствии с таблицей ЖК-панели делятся на 4 класса (таблица 1).

**Угол обзора.** Максимальный угол обзора определяется как угол, при обзоре с которого контрастность изображения уменьшается в 10 раз. Но в первую очередь при изменении угла обзора от 90° видны искажения цвета. Поэтому, чем больше угол обзора, тем лучше. Различают горизонтальный и вертикальный углы обзора, рекомендуемые минимальные значения — 140° и 120° соответственно (наилучшие углы обзора дает технология MVA).

**Время отклика (инерционность)** — время, за которое транзистор успевает изменить пространственную ориентацию молекул жидких кристаллов (чем меньше, тем лучше). Для того чтобы быстро движущиеся объекты не казались смазанными, достаточного времени отклика 25 мс. Этот параметр состоит из двух величин: времени на включение пикселя (come-up time) и времени на выключение (come-down time). Время отклика (точнее, время выключения как наибольшее время, за которое отдельный пиксель максимально изменяет свою яркость) определяет частоту обновления изображения на экране

FPS = 1 / время отклика

**Яркость** — в среднем в два раза выше показатели ЭЛТ: с увеличением интенсивности лампы подсветки сразу возрастает яркость, а в ЭЛТ необходимо усиливать поток электронов, что приведет к значительному усложнению ее конструкции и повысит электромагнитное излучение. Рекомендуемое значение яркости не менее 200 кд/м<sup>2</sup>.

Контрастность определяется как соотношение между максимальной и минимальной яркостью. Основная проблема заключается в сложности получения точки черного цвета, т. к. лампа подсветки включена постоянно и для получения темных тонов используется эффект поляризации. Черный цвет зависит от качества перекрытия светового потока подсветки.

**ЖК-дисплеи как сенсоры.** Снижение стоимости и появление моделей LCD, работающих в жестких условиях эксплуатации, позволило совместить в одном лице (в лице ЖК-дисплея) средство вывода визуальной информации и средство ввода информации (клавиатура). Задача построения такой системы упрощается использованием контроллера последовательного интерфейса, который подключается с одной стороны к ЖК-дисплею, а с другой — непосредственно к последовательному порту (COM1 — COM4) (рис. 7). Для управления, декодирования сиг-

Таблица 2. Модели ЖК-панелей фирмы NEC

Модель	Размер по диагонали, дюйм	Количество пикселей	Число цветов	Описание
NL8060BC31-17	12,1	800×600	262 144	Высокая яркость (350 кд/м <sup>2</sup> )
NL8060BC31-20	12,1	800×600	262 144	Широкий угол обзора
NL10276BC20-04	10,4	1024×768	262 144	—
NL8060BC26-17	10,4	800×600	262 144	—
NL6448AC33-18A	10,4	640×480	262 144	Встроенный инвертор
NL6448AC33-29	10,4	640×480	262 144	Высокая яркость, широкий угол обзора, встроенный инвертор
NL6448BC33-46	10,4	640×480	262 144	Высокая яркость, широкий угол обзора
NL6448CC33-30W	10,4	640×480	262 144	Без подсветки
NL6448BC26-01	8,4	640×480	262 144	Высокая яркость (450 кд/м <sup>2</sup> )
NL6448BC20-08	6,5	640×480	262 144	—
NL10276BC12-02	6,3	1024×768	16,19 М	—
NL3224AC35-01	5,5	320×240	Full color	Отдельный вход NTSC/PAL RGB, встроенный инвертор
NL3224AC35-06	5,5	320×240	Full color	Отдельный вход NTSC/PAL RGB, встроенный инвертор, тонкий
NL3224AC35-10	5,5	320×240	Full color	Отдельный вход NTSC/PAL RGB, встроенный инвертор
NL3224AC35-13	5,5	320×240	Full color	Отдельный вход NTSC/PAL RGB, встроенный инвертор
NL3224BC35-20	5,5	320×240	262,144	Высокая яркость (400 кд/м <sup>2</sup> )

налов и подавления «дребезга» (если так можно назвать определение прикосновения) применяется PIC-контроллер (например, IP190 фирмы Data Display), обеспечивающий высокое быстродействие и точность определения точки прикосновения.

Завершим на этом теоретические изыскания и перейдем к реалиям сегодняшнего дня, а точнее, к тому, что имеется сейчас на рынке ЖК-дисплеев. Среди всех изготовителей TFT LCD рассмотрим продукцию NEC, Sharp, Siemens и Samsung. Выбор этих фирм обусловлен:

- 1) лидерством на рынке ЖК-дисплеев и технологий производства TFT LCD;
- 2) доступностью их продукции на рынке стран СНГ.

**NEC Corporation**

Компания NEC Corporation выпускает ЖК-дисплеи (20% рынка) практически с момента их появления и предлагает не только широкий выбор, но и различные варианты исполнения: стандартный (Standard), специальный (Special) и особый (Specific). Стандартный вариант: компьютеры, офисное оборудование, домашняя электроника, коммуникационные системы и т. п. Специальное исполнение применяется на транспорте (наземном и морском), системах управления движением, системах безопасности, медицинском оборудовании (не связанном с системами жизнеобеспечения). Для систем вооружений, авиации, космического оборудова-

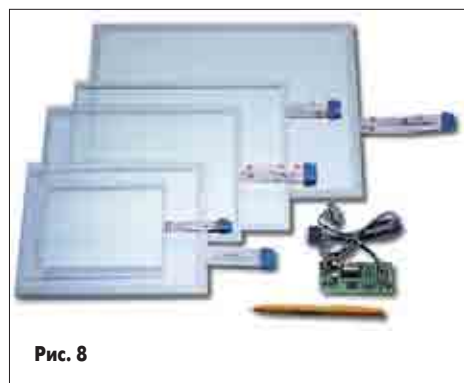


Рис. 8

ния, систем управления ядерными реакторами, систем жизнеобеспечения и других аналогичных предназначен особый вариант исполнения (понятно, что стоит это недешево).

Перечень выпускаемых ЖК-панелей для промышленного применения (инвертор для лампы подсветки поставляется отдельно) приведен в таблице 2, а блок-схема (на примере 10-дюймового дисплея NL6448BC26-01) — на рис. 8.

**Sharp**

Сыграла значительную роль в развитии LCD-технологий. Компания Sharp и сейчас находится в числе технологических лидеров. Первый в мире калькулятор CS10A был произведен в 1964 году именно этой корпорацией. В октябре 1975 году уже по технологии TN (Twisted Nematic) LCD были изготовлены первые компактные цифровые часы. Во второй половине 70-х начался переход от 8-сегментных ЖК-индикаторов к производству

Таблица 3. Модели ЖК-панелей фирмы Sharp

Модель	Диагональ, дюйм	Количество пикселей	Выход
LQ039Q2DS54	3,9	320×240	digital
LQ049B5DG01	5	960×96	digital
LQ050Q5DR01	5	320×240	digital
LQ057Q3DC02	5,7	320×240	digital
LQ058T5DRQ1	5,8	640×350	digital
LQ064ACG01	6,4	1440×234	NTSC/PAL
LQ064V1DS11	6,4	640×480	digital
LQ065T9DR51	6,5	1200×241	NTSC/PAL
LQ070T5CRQ1	7,0	372×107	NTSC/PAL
LQ070T5DG01	7	2562×480	digital
LQ07BW516	7,0	1440×234	NTSC/PAL
LQ084S1DH01	8	800×600	Digital
LQ084V1DG21	8,4	640×480	Digital
LQ104S1DG21	8,4	800×600	Digital
LQ104S1LH11	10,4	800×600	PanelLink
LQ104V1DC31	10,4	640×480	Digital
LQ10P 21	10	1024×768	Digital
LQ11DW01	11	800×600	LVDS
LQ121S1DG31	12,1	800×600	Digital
LQ13 32/33	13,3	1024×768	LVDS
LQ141 1DG21	14,1	1024×768	Digital
LQ14D412	13,8	640×480	Digital
LQ14 03E	13,8	1024×768	Digital

матриц с адресацией каждой точки. В 1976 Sharp выпустила черно-белый телевизор с диагональю экрана 5,5 дюйма, выполненный на базе LCD-матрицы с разрешением 160×120 пикселей. Краткий перечень продукции приведен в таблице 3.

**Siemens**

Выпускает ЖК-дисплеи с активной матрицей на низкотемпературных поликремниевых тонкопленочных транзисторах. Основные характеристики дисплеев с диагональю 10,5 и 15 дюймов приведены в таблице 4. Обратите внимание на диапазон рабочих температур и стойкость к ударам.

Таблица 4. Основные характеристики ЖК-дисплеев Siemens

Модель	50i.2	50i.M	75i	50i.15x	100i.10x
Размер по диагонали, дюйм	10,5	10,5	10,5	15	10,4
Стандарт	VGA	VGA	VGA	xGA	xGA
МТТН (среднее время до понижения яркости в 2 раза), ч	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Диапазон рабочих температур, °С	-25... +85	-31... +851	-25... +85	-10... +70	-10... +60
Диапазон температур хранения, °С	-35... +85	-46... +851	-35... +85	-25... +70	-25... +70
Удар/вибрация	++	++	++	+	++
Число цветов	262×144	262×144	262×144	262×144	262×144
Количество пикселей	640×480	640×480	640×480	1024×768	1024×256
Площадь изображения, мм	211,7×158,9	211,7×158,9	211,7×158,9	304×228	
Габаритные размеры, мм	194×271×28	194×271×28	194×271×28	258×332×22	252×178×24
Вес, г	1220	1220	1220	1220	990
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	500	500	720	500	1000
Диапазон регулирования яркости	1:250	1:250	1:250	1:1000	1:1000
Контрастность	250:1	250:1	400:1	400:1	400:1
Инерционность, мс	15	15	15	15	50
Напряжение питания, В	5/3,3; 12 – для встроенного инвертора	5/3,3; 12 – для встроенного инвертора	5/3,3; 12 – для встроенного инвертора	3,3; 12 – для встроенного инвертора	3,3; 12 – для встроенного инвертора

Примечания:  
 i — встроенный инвертор;  
 1 — в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD810.

Таблица 5. Основные характеристики ЖК-дисплеев Samsung малых и средних размеров

Размер по диагонали, дюйм	1,8	2,03	2,2	3,5		5,0		10,4
Количество пикселей	128×160	176×192	176×220	240×320	240×320	800×480	800×480	800×480
Площадь изображения, мм	28×35	34,9×38,0	34,9×43,6	53,64×71,52	53,64×71,52	109,2×65,2	109,2×65,2	211,2×158,4
Число цветов	4096	65 K/260 K	65K/260K	260 K	260 K	260 K	260 K	260 K
Габаритные размеры, мм	36,3×46,7×3,71	41,1×50,1×3,4	41,1×55,8×3,6	70×90,7×4,9	63,2×85,6×4,0	120×78,15×1,725	122,4×79×3,9	238,6×173,4×5,6
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	150	150	50	30	30	–	50	140
Интерфейс	CPU I/F	CPU & Video I/F	CPU & Video I/F	Video I/F	Video I/F	Video I/F	Video I/F	LVDS
Контрастность	150:1	150:1	25:1 (подсветка выкл.) 70:1 (подсветка вкл.)	15:1 (подсветка выкл.) 5:1 (подсветка вкл.)	15:1 (подсветка выкл.) 70:1 (подсветка вкл.)	10:1	10:1 (подсветка выкл.) 50:1 (подсветка вкл.)	200:1
Инерционность, мс	30	30	30	30	30	30	35	30
Подсветка	LED, задняя	LED, задняя	LED, задняя	CCFL, передняя	LED, задняя	–	LED, задняя	CCFL, задняя
Напряжение питания, В	2,5÷3,3	2,5÷3,3	2,5÷3,3	3,3	3,3	3,3	3,0	3,3

Примечания: LED — светодиодная; CCFL (cold cathode fluorescent lamp) — флуоресцентная лампа с холодным катодом; в дисплеях используется технология PVA.

**Samsung** предназначены для работы при естественном освещении (таблица 5).

Фирма выпускает ЖК-дисплеи под торговой маркой Wiseview. Начав с выпуска 2-дюймовой TFT-панели для поддержки Интернета и анимации в мобильных телефонах, Samsung теперь производит гамму дисплеев от 1,8 до 10,4 дюйма в сегменте малых и средних TFT LCD, причем некоторые модели

### Выводы

В настоящее время выбор модели ЖК-дисплея определяется требованиями конкретного применения и в значительно меньшей степени — стоимостью LCD.