

## ЛАЗЕРНАЯ СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ – СОЗДАНИЕ РЕЛЬЕФНЫХ КАРТ ПО ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**Р**ельефные карты – трехмерные модели земной поверхности. Что это – красота линий или актуальный носитель информации? Кому они нужны? Реальная информация о местности просто жизненно необходима в особых случаях, когда, например, при ликвидации последствий стихийных бедствий или при масштабных катастрофах от быстроты принятия решения зависит результат спасательной операции. Как правило, решения принимаются в местах, расположенных далеко от фактического места события. Тогда рельефные карты по своей ценности доминируют над их цифровыми и визуальными аналогами.

Использование рельефных карт требует их оперативного изготовления. Начальной объективной информацией являются результаты аэро- или космической фотосъемки, которые передают в системы компьютерной фотограмметрической обработки и создают цифровую трехмерную модель объекта. Затем на основе 3D-информации о местности методом лазерной стереолитографии создают реальный объемный макет выбранной земной поверхности.

В ИПЛИТ РАН совместно с МИИГАиК разработана и опробована новая технология оперативного создания рельефных карт по фотограмметрическим данным. Соответствующая ей методика опирается на схему, отдельные блоки которой могут быть пространственно разнесены и независимы, необходимо только обеспечить обмен информацией между ними, например, через Интернет.

### ОСОБЕННОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЭРОСНИМКОВ

Современное аэрофотогеодезическое производство характеризуется активным использованием цифровых технологий при создании и обновлении карт различного назначения по мате-

риалам аэрокосмической съемки. Эти технологии базируются на применении цифровых фотограмметрических систем.

Создание цифровых моделей рельефа местности – важный фотограмметрический процесс, выполняемый при создании карт. Для определения координат точек местности по стереопаре снимков методом прямой фотограмметрической засечки необходимо, чтобы были известны элементы внешнего ориентирования снимков. Часто на практике их значения не известны. В этом случае определение координат точек местности по стереопаре снимков выполняют методом

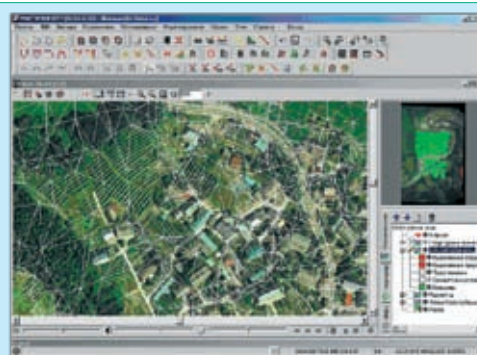


Рис.1 Интерфейс модуля PHOTOMOD DTM

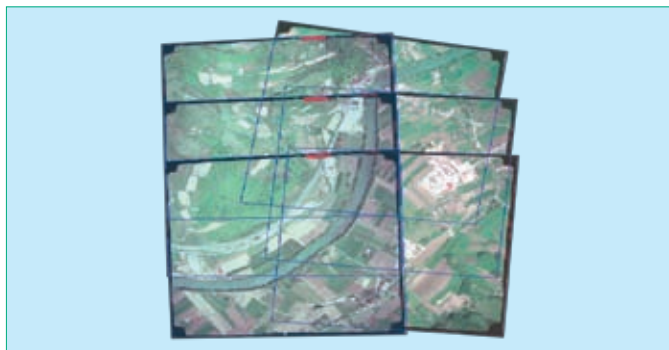


Рис.2 Блок аэрофотоснимков (2 маршрута, по 3 снимка в каждом)

двойной обратной фотограмметрической засечки. Согласно этому методу решение задачи выполняется в определенной последовательности. Первоначально определяют элементы взаимного ориентирования снимков. Пять элементов взаимного ориентирования снимков определяют взаимную угловую ориентацию стереопары снимков и базиса фотографирования. Для этого необходимо измерить не менее пяти соответственных точек на стереопаре снимков.

Затем строят фотограмметрическую модель объекта по измеренным на стереопаре снимков координатам изображений соответственных точек и значениям элементов взаимного ориентирования снимков. Построенная модель подобна сфотографированному объекту, но имеет произвольный масштаб и произвольное расположение и ориентацию относительно системы координат объекта.

Поэтому по трем опорным точкам, не лежащим на одной прямой, определяют элементы внешнего ориентирования фотограмметрической модели. Семь элементов определяют масштаб модели, ее положение и ориентацию относительно системы координат объекта. По значениям элементов внешнего ориентирования фотограмметрической модели и элементов взаимного ориентирования можно определить элементы внешнего ориентирования стереопары снимков.

И окончательно по координатам точек, определенных в системе координат модели, и элементам внешнего ориентирования модели определяют координаты точек в системе координат объекта. С целью определения элементов вне-

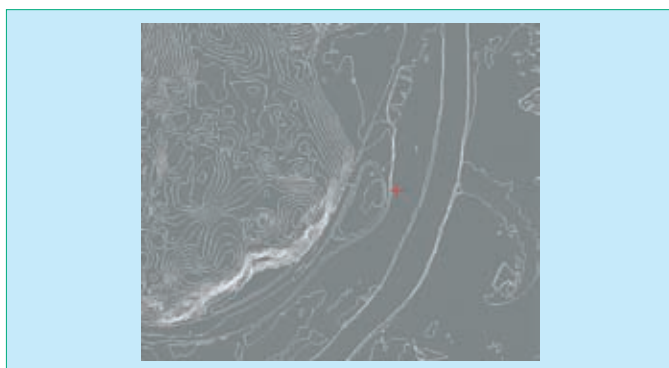


Рис.3 Набор горизонталей фрагмента холмистой местности

шнего ориентирования снимков, координат и высот опорных точек в системе координат объекта путем построения и внешнего ориентирования фотограмметрической модели объекта (местности) по снимкам, принадлежащим одному или нескольким перекрывающимся маршрутам, выполняется фототриангуляция. Эти данные используются в качестве опорной и контрольной информации при выполнении процессов обработки стереопар или одиночных снимков на фотограмметрических приборах и системах. Фототриангуляцию можно разделить на маршрутную, в которой построение сети фототриангуляции производится по снимкам, принадлежащим одному маршруту, и блочную, в которой сеть фототриангуляции строится из отдельных стереопар или снимков, принадлежащих нескольким маршрутам.

Построение фотограмметрических моделей производится в два этапа. Сначала определяют элементы взаимного ориентирования снимков, а затем строят фотограмметрические модели и определяют элементы внешнего ориентирования каждой модели и координаты точек сети в системе координат объекта. При построении и уравнивании сетей маршрутной и блочной фототриангуляции в измеренные на снимках значения координат точек вводятся поправки, позволяющие исключить систематические ошибки снимков, вызываемые дисторсией объектива съёмочной камеры, деформацией фотопленки, атмосферной рефракцией.

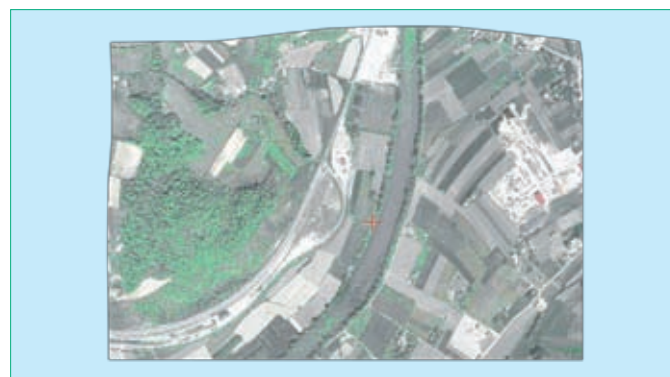


Рис.4 Фотоплан местности

## НАБЛЮДЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Цифровое изображение хранится в памяти компьютера в общем случае в виде прямоугольной матрицы, элементы  $\alpha_{ij}$  которой несут информацию об оптических плотностях или цвете элементарных участков изображения, а номера  $i$  строки и  $j$  столбца элемента  $\alpha_{ij}$  определяют его положение в матрице. Нумерация строк и столбцов матрицы цифрового изображения начинается с нуля. Координаты центров пикселей в левой прямоугольной системе координат цифрового изображения  $O_c X_c Y_c$ , началом которой является левый верхний угол цифрового изображения, определяются в так называ-

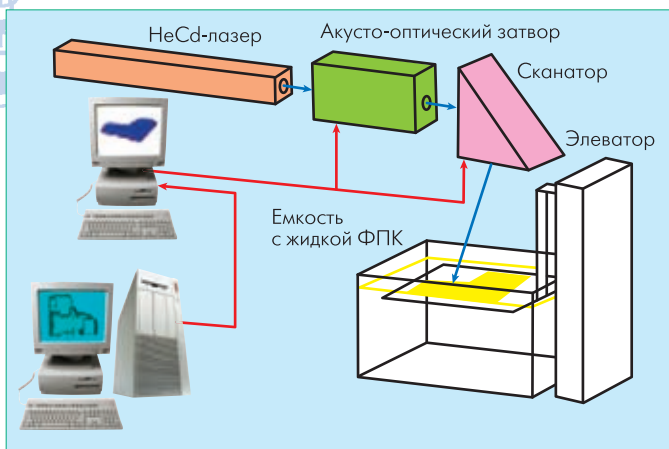


Рис.5 Схема установки лазерной стереолитографии

емых пиксельных координатах (единицей измерения в этом случае является пиксел). Для измерения координат точек цифрового изображения с подпиксельной точностью без увеличения исходного изображения разработан метод измерения цифровых изображений, в котором цифровое изображение снимка может смещаться относительно неподвижной измерительной марки с шагом, в  $n$  раз меньшим, чем размер пиксела.

Существуют различные автоматизированные методы нахождения и отождествления соответственных точек на паре цифровых изображений, которые можно разделить на три группы: площадные методы (ПМ) – основанные на анализе значений пикселей изображения в пределах некоторой области; методы, основанные на выделении элементов изображения (ЭМ); методы, использующие связи между элементами изображения (СМ).

### ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА (ЦМР)

Цифровая модель рельефа (ЦМР) представляет собой в общем случае трехмерную пространственную модель поверхности Земли, которая может содержать и отображать криволинейное пространство. ЦМР позволяет строить трехмерные визуализации и перспективные виды, а также служит основой для решения ряда задач.

ЦМР может представляться как в виде регулярной, так и нерегулярной сетки. В первом случае это может быть матри-

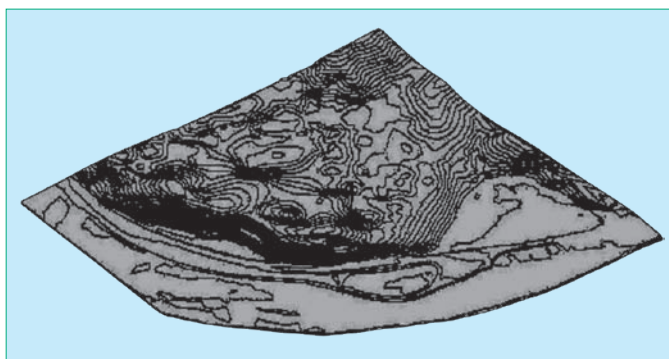


Рис.7 Послойная трехмерная компьютерная модель

ца высот, или DEM (Digital Elevation Model). Матрица высот – это цифровое картографическое представление поверхности Земли в виде регулярной сетки значений высот. Высоты записываются в узлах матрицы, положение которых отсчитывается от некоторой начальной точки на местности через равные интервалы вдоль осей  $x$  и  $y$ . Интервалы между соседними узлами матрицы называются шагом. Как правило, для регулярной матрицы шаг вдоль осей  $x$  и  $y$  одинаков.

Во втором случае в виде нерегулярной сетки используется триангуляционная нерегулярная сеть TIN (Triangulated Irregular Network) – способ цифрового представления рельефа местности с использованием нерегулярной сети треугольников и опционально встроенных структурных линий. Высоты нерегулярной матрицы записываются в узлах, имеющих координаты  $x, y$ , расстояние между которыми произвольно.

Преимущество использования регулярной матрицы заключается в том, что для ее записи требуется значительно меньший объем машинной памяти, чем для нерегулярной. Поэтому на ранних стадиях развития компьютерной техники, когда память была дефицитом, она получила широкое распространение. Но она имеет недостаток, "слепо" описывая характер рельефа местности, не отражает ее индивидуальные особенности (точки перегибов склонов, тальвеги\*, экстремальные точки, бровки и подошвы, овраги и промоины и т. д.). Поэтому в настоящее время цифровую модель рельефа в основном получают в виде нерегулярной матрицы, узлы которой располагаются на характерных местах рельефа.

Другой способ представления ЦМР – представление в виде набора 3D-точек (пикетов). Этот метод приводит к некоторому повышению производительности редактирования в связи с отсутствием треугольников. Создание ЦМР в виде пикетов происходит с использованием тех же алгоритмов, что и создание TINa. Отличием является то, что полученные пикеты не пересчитываются в TIN с помощью триангуляции и хранятся просто как набор XYZ-точек. Для уточнения модели рельефа в дополнение к пикетам могут быть подгружены структурные линии.

### ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА "ФОТОМОД"

Цифровая Фотограмметрическая Станция PHOTOMOD предназначена для комплексной фотограмметрической обработки одиночных стереопар, маршрутов и блоков, кадровых аэрокосмических и наземных снимков, а также одиночных и стереопар снимков, полученных оптико-электронными сканерными съемочными системами. Система использует два вида окон, 2D и 3D, для визуализации и редактирования модели рельефа и прочих видов объектов. 2D-окно предназначено для визуализации и редактирования модели рельефа, векторов и горизонталей в моно/стереорежиме. А 3D-окно исполь-

\*Тальвег – самая низкая точка оврага. (Прим. ред.).

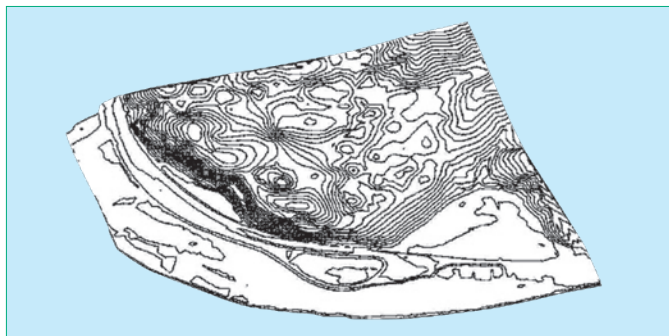


Рис.6 Набор горизонталей

зается для просмотра модели рельефа под разными углами, ее растяжения и ориентирования в трехмерном пространстве в модуле PHOTOMOD DTM, предназначенном для построения моделей рельефа и горизонталей по стереопаре (рис.1).

### ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ПО СТЕРЕОПАРАМ АЭРОФОТОСНИМКОВ НА ЦФС "ФОТОМОД"

Обрабатываемый блок состоит из 2 маршрутов, по 3 снимка (2 стереопары) в каждом (рис.2). Снимки цветные, полученные камерой WILD Aviophot RC20: фокусное расстояние 153,406 мм, масштаб снимков 1:5000. Высота фотографирования 900 м. Среднее превышение местности над уровнем моря 150 м. Снимки сканировались с разрешением 20 мкм на фотограмметрическом сканере. Перед обработкой разрешение снимков было уменьшено в 2 раза и составляло 40 мкм. В проекте использовались 7 плано-высотных опорных точек. Построенная триангуляционная нерегулярная сеть TIN видна на рис.1. На рис.3 показаны горизонталей, построенные по общему TIN.

Модуль PHOTOMOD Mosaic использовался для создания ортофотоплана с разрешением 0,5 м на блок исходных изображений. В качестве ЦМР для учета ошибок рельефа местности была использована матрица высот, построенная на предыдущем этапе обработки. Фотоплан показан на рис.4.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЛЬЕФНОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

Лазерная стереолитография, являясь одним из бурно развивающихся направлений оперативного изготовления прототипов, макетов и даже функциональных объектов по их трехмерным компьютерным моделям, реализует принцип прямого формообразования трехмерных объектов путем последовательного (в частности послойного) наращивания материала. Основой стереолитографии является локальное изменение фазового состояния однородной среды (переход жидкость – твердое тело) в результате фотоиницированной в заданном объеме полимеризации. Следствием полимеризации является изменение фазового состояния среды – в облученной области образуется твердый полимер. Пространственная селективность фотоиницированной поли-

меризации достигается за счет того, что активные центры появляются только в облученной области, и полимеризация протекает преимущественно в этой области. Активные центры образуются при взаимодействии фотополимеризующейся композиции (ФПК) с излучением из определенного спектрального диапазона. Эта спектральная селективность позволяет, в частности, проводить полимеризацию в условиях естественного освещения.

Лазерная стереолитография включает в себя создание трехмерной компьютерной модели объекта в STL-формате, ее разбиение на тонкие слои, расчет траектории движения лазерного луча, заполняющего каждое сечение, и последовательное воспроизведение соответствующих поперечных сечений на поверхности жидкой ФПК сфокусированным пучком инициирующего полимеризацию лазерного излучения (рис.5). В облученной области образуется пленка твердого полимера.

По завершении процесса модель отмывают от остатков исходного вещества, удаляют технологические подпорки. Затем изделие подвергается дополнительной полимеризации УФ-излучением в специальной камере. Исходными данными для формирования трехмерной компьютерной модели участка местности был набор горизонталей, полученный в результате преобразования фотограмметрических данных. Горизонталей, проведенные через 2 метра, были представлены в виде DXF – файлов. Каждая горизонталь представляла собой замкнутую или разомкнутую полилинию (рис.6). На начальном этапе каждая горизонталь была обработана с целью устранения дефектов (разрывов и петель), появившихся из-за неадекватного преобразования. Файлы экспортиро-

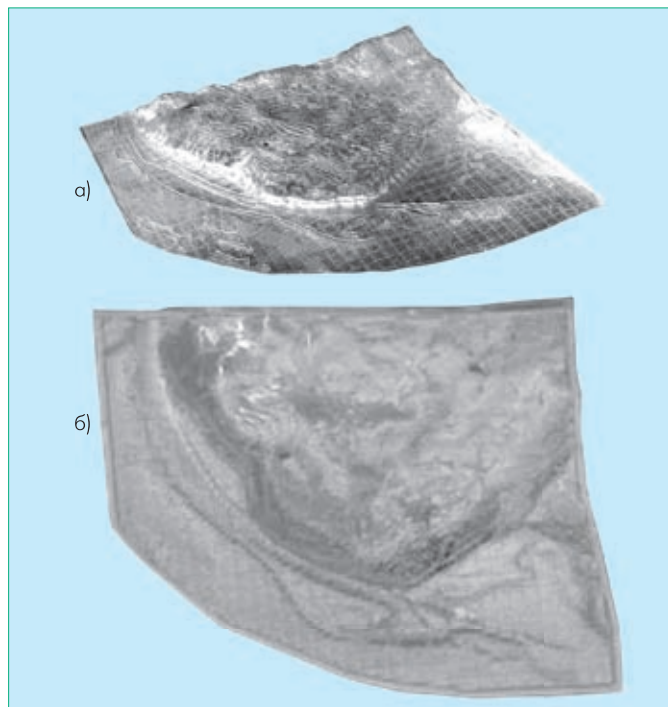


Рис.8 Пластиковые рельефные карты: а) – с линиями одинакового уровня, б) – со сглаженной поверхностью

вались в 3D CAD SolidWorks, использованный для создания трехмерной компьютерной модели. Горизонталы были размещены на наборе вспомогательных плоскостей, каждой из горизонталей была придана толщина. Полученная трехмерная модель представляла собой набор плоских слоев толщиной, равной расстоянию между горизонталями (рис.7). 3D-модель была экспортирована в STL-формат, и на установке ЛС-400Э из ФПК ИПЛИТ-3 была изготовлена пластиковая рельефная карта (рис.8). Для лучшего отображения особенностей рельефа масштаб по вертикали был увеличен в два раза по сравнению с горизонтальным.

На рис.8а заметна основная особенность данной карты – наличие резких границ при переходе от одного слоя к другому, которые можно воспринимать как набор линий одинакового уровня (в ряде случаев это может быть полезным).

Ступенчатая структура карты искажает реальный рельеф и затрудняет его визуальное восприятие. Поэтому было принято решение использовать для создания сглаженной компьютерной модели специальное программное обеспечение "SW", разработанное в ИПЛИТ РАН для преобразования в формат STL – формат данных медицинских компьютерных томографов. Горизонталы были преобразованы в растровый формат (PCX), являющийся исходным для SW. Полученная сглаженная трехмерная компьютерная модель использовалась для изготовления соответствующей пластиковой рельефной карты (рис.8б).

*Авторы искренне благодарят А.Евсеева, С.Камаева (ИПЛИТ РАН), В.Малинникова, А.Михайлова, В.Куркова, А.Вележева (МИИГАиК) за помощь при проведении экспериментов и исследований, а также при подготовке статьи.* ○

## 8-я Международная выставка САВЕХ'2009

В начале февраля прошла 8-я Международная специализированная выставка кабелей, проводов, арматуры, соединительных устройств, кабельных систем и техники, спецтехники для прокладки, монтажа и диагностики кабельно-проводниковой продукции САВЕХ'2009. Выставка подтвердила мнение, что кабельно-проводниковая продукция пользуется повышенным спросом даже в условиях кризиса.

Международная выставочная компания MVK, Ассоциация "Электрокабель" и ВНИИ КП организовали и провели САВЕХ'2009 в КВЦ "Сокольники". 130 компаний из 15 стран мира, включая Россию, Германию, Швейцарию, Францию, Грецию, Испанию и Турцию продемонстрировали передовые технологии в области производства всех видов кабельно-проводниковой продукции. Были представлены кабели энергетического назначения с различными видами электрической изоляции и арматуры к ним, кабели связи с медными жилами, в том числе кабели магистральной и городской связи, кабели внутренней связи и телевидения, кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией, обмоточные провода. На выставке можно было увидеть также аксессуары для монтажа, прокладки и крепежа кабелей.

ОАО "Уфимкабель" представило на выставке новый вид цифровых телефонных кабелей – кабели широкополосного доступа, имеющие высокие электрические характеристики. Продукция обладает механической защитой от грызунов – стальной оплеткой. ЗАО "Марпосадкабель", одно из ведущих промышленных предприятий Чувашской Республики, известный производитель эмальпроводов широкого диапазона и кабельной продукции с пластмассовой изоляцией, представило луженую проволоку для общепромышленного и военного (НВ) назначения. Постоянный участник прошлых выставок САВЕХ – ОАО "Амурский кабельный завод" заявило о выпуске новой для себя продукции – СИП (самонесущих изолированных проводов) до 35 кВ. Холдинг "Ункомтех" представил образцы новой продукции двух своих заводов, входящих в холдинг. Завод "Кубанькабель" вышел на выставку с прежней номенклатурой изделий и

с новинками – кабельно-проводниковой продукцией для нефтяной промышленности.

В мероприятии принимали участие производители не только кабельно-проводниковой продукции, но и ее аксессуаров. Компания МЕКА представила для посетителей выставки горячеоцинкованные лотки для прокладки кабельных трасс. ЗАО "Фестальпине Аркада Профиль" продемонстрировало специальные крепежные элементы, которые позволяют сократить сроки монтажа на 30–40%. Компания КОРОБОВ показала новинку – комплекс для прокладки высоковольтных кабельных линий до 110 кВ (узлы крепления, полка эстакадная). Узел крепления предназначен для прокладки высоковольтных кабелей из сшитого полиэтилена напряжением от 6 до 110 кВ. Широкий спектр арматуры для воздушных линий электропередачи, монтажный инструмент и оборудование для обеспечения безопасности увидели посетители стенда компании SICAME. Расширенная линейка продуктов дополнила традиционные изделия подмосковного завода "Энергокабель" – силовые кабели с пластмассовой изоляцией на напряжение 0,66–1 кВ.

В рамках деловой программы выставки состоялись семинары по обмену опытом и актуальной информацией между специалистами отрасли. В этом году момент проведения выставки совпал с кризисом мировой экономики. Перед организаторами встала задача объединения отрасли в решении вопроса импортозамещения кабельно-проводниковой продукции. Кризис ведет к ужесточению конкуренции на рынке. И, в конечном счете, победителем окажется тот, кто не снизит качества своей продукции и сможет в новых условиях предложить высокий уровень изделий по относительно невысокой цене. Кризис вызвал потребность в модернизации оборудования для более эффективного производства. Именно на выставке САВЕХ были представлены новейшие разработки российской кабельной индустрии. Выставка САВЕХ способствовала укреплению позиций российской науки, техники и производства.

*По материалам [www.cabex.ru](http://www.cabex.ru)*