



Во всем мире развитию и применению энергосберегающих технологий, что особенно актуально в нынешний период спада экономической активности, уделяется все большее внимание. К числу таких технологий относится и силовая электроника, области практических разработок которой связаны с преобразованием и коммутацией силовых электрических цепей. Возрастающая роль силовой электроники определяется еще и тем, что сейчас уже около двух третей всей вырабатываемой электроэнергии потребляется в параметрически преобразованном виде.

Для России вопросы сбережения электроэнергии, хотя производится она в достаточном количестве, стоят достаточно остро. Это связано с огромной протяженностью электрических сетей (почти 2 млн км), неизбежно влекущей немалые потери, оснащение которых к тому же более чем наполовину выработало свой ресурс. Устарела сама концепция односторонней передачи энергии, представляющая собой на сегодня, образно говоря, «набор мускулов и костей без нервной системы». Вместе с тем, потребление энергии и в социальной, и в производственной сфере объективно возрастает, изменяется характер спроса, повышаются требования к надежности энергообеспечения объектов. Эти и другие факторы вызывают необходимость

качественного обновления используемого оборудования, поиска рациональных методов распределения и подачи энергии потребителям, прозрачности методов ее доставки, формирования динамичной и эффективной связи между всеми компонентами сетей.

На практике это означает, что инновационному пути развития электроэнергетики с широким использованием достижений силовой электроники нет альтернативы, что закреплено в принятых Правительством РФ федеральных целевых программах. До 2020 г. они предусматривают реализацию ряда мер, направленных на развитие научно-технического комплекса страны, а также электронной компонентной базы и радиоэлектроники. В рамках наполнения целевых программ практическим содержанием выставочная компания «Примэкспо» дала возможность профессионалам, посетившим 6-ю по счету выставку «Силовая электроника и энергетика '2009», познакомиться с новейшими научно-техническими разработками российских и зарубежных фирм. Изделия, демонстрировавшиеся в московском Центре международной торговли, были адресованы ТЭКу, различным отраслям промышленного производства, транспортникам, связистам, предприятиям ЖКХ и других сфер экономики.

Полупроводниковые преобразователи

Полупроводниковые преобразовательные устройства пользуются сегодня нарастающим спросом. При этом структурный состав силовых преобразователей довольно широк — статические преобразователи для электротехники, собственно электроэнергетики, лазерных технологий, транспорта. На базе устройств силовой электроники на современных высокотехнологичных предприятиях создаются агрегаты бесперебойного питания, импульсные генераторы, регуляторы и стабилизаторы напряжения и тока, компенсаторы и симметрирующие устройства, наконец, приводы станков с ЧПУ.

Одним из таких предприятий является ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск, Республика Мордовия) — крупнейший российский разработчик и производитель приборов на токи до 10 кА и напряжения до 50 кВ. Компания работает на энергетическом рынке несколько десятилетий и зарекомендовала себя надежным партнером крупных предприятий в нашей стране и более чем в 50 государствах, куда поставляется ее продукция.

Предлагаемая номенклатура включает в себя, прежде всего, силовую полупроводниковую элементную базу, которая по основным типам соответствует требованиям современной техники. К новым приборам

относятся мощные полностью управляемые полупроводниковые ключи — высоковольтные IGBT-транзисторы и IGCT-тиристоры*, тиристоры с оптическим управлением и с функциями самозащиты, комплектные частотные диоды с мягким восстановлением. Линейку изделий дополнили также сверхмощные и супервысоковольтные диоды и транзисторы с повышенной эксплуатационной надежностью, диодно-тиристорные модули, ограничители напряжения.

Номенклатура изготавливаемых полупроводниковых приборов позволяет выпускать различные по назначению заказные силовые блоки и охладители к ним. Блоки проектируются и производятся по стандартным схемам преобразования (выпрямители, инверторы, регуляторы переменного тока и пр.) на основе технических требований заказчиков. Предназначены они для комплектации устройств плавного пуска и управления скоростью вращения электродвигателей, регуляторов температуры и освещенности, компенсации реактивной мощности электро-сварки, индукционного нагрева, гальваники, а также систем бесперебойного питания.

К отличительным особенностям изделий предприятия следует отнести компактность и небольшой вес, наличие изолированного охладителя, высокую плотность мощности на единицу объема и, что очень важно, надежность при работе в тяжелых режимах циклических нагрузок. По желанию заказчиков поставка силовых блоков может производиться в комплекте с вентиляторами, термодатчиками (в т. ч. с изоляцией термоэлемента 6 кВт), драйверами управления, устройствами защиты от перенапряжений, токов перегрузки и коротких замыканий.

Активно работают инженеры предприятия над совершенствованием преобразовательных приборов для электроподвижного состава ОАО «РЖД» и тяговых подстанций. Транспортникам компания представила серийный вариант **выпрямителя для тяговых подстанций В-ТПЕД-3,15к-3,3к-У1.**

Прибор, преобразующий переменный ток в постоянный, изготавливается по трем схемам выпрямления: эквивалентной 12-фазной мостовой, трехфазной мостовой и «две обратные звезды с уравнительным реактором». Эта разработка имеет достаточно простую конструкцию, а потому удобна в эксплуатации и не требует постоянного обслуживания специалистами.

Выпрямитель оснащен микропроцессорной системой диагностики силовых диодов с возможностью передачи информации по последовательному каналу RS-485. Изначально комплекс, состоящий из трех шкафов с диодами и шкафа с реле тока земляной защиты, предназначен для наружного размещения. Однако при соблюдении ряда условий его можно монтировать и в закрытом помещении. В устройстве предусмотрено естественное охлаждение.

Одним из важных направлений проектно-производственной деятельности ОКБ «Искра» (г. Ульяновск) — известного разработчика силовых полупроводниковых приборов (СПП) и мощных устройств на их основе для нужд промышленности и оборонного комплекса, является производство широкой гаммы преобразовательной техники для индукционного нагрева. С этой целью используются собственные высокочастотные преобразователи, выполненные на IGBT и MOSFET* модулях,



Магнитопроводы из аморфных и нанокристаллических материалов

ВЧ-тиристорах (или модулях) с применением современной схемотехники и конструктивных элементов. На базе преобразователей создаются системы индукционного нагрева мощностью от 3 до 320 кВт с частотой преобразования от 1 до 65 кГц и более, позволяющие с высокой эффективностью проводить объемную приповерхностную обработку металлов, плавку и некоторые другие технологические операции.

В последние годы ОКБ «Искра» совместно с одним из ведущих в области микроэлектроники предприятием России ОАО «Ангстрем» выполнило ряд научно-исследовательских и конструкторских разработок по самому перспективному направлению развития силовой электроники — расширению элементной базы силовой техники. Конструкторские решения распространялись, в частности, на совершенствование мощных полевых транзисторов (MOSFET), IGBT-транзисторов и быстро восстанавливающихся диодов (FRED) — как в дискретном, так и в модульном исполнении. Эта элементная база рассчитана на широкое применение в интеллектуальной преобразовательной технике, высокочастотных импульсных источниках питания, частотно-регулируемых электроприводах, сварочном оборудовании и системах индукционного нагрева.

Обновление номенклатуры коснулось и корпусной базы для элементов силовой электроники. Сегодня разработчики предлагают новые металлокерамические ВЧ-корпуса с безындуктивными выводами, корпуса для поверхностного монтажа по типу SMD, а также модульного исполнения приборов и микросборок.

Следует отметить, что используемым материалам изготовители уделяют особое внимание. Для НПП «Гаммамет» (г. Екатеринбург) это, по сути, самостоятельная программа в структуре производственной дея-

* IGBT — биполярный транзистор с изолированным затвором, IGCT — запираемый тиристор с интегрированным управлением.

** MOSFET — полевой транзистор металл-оксид-полупроводник (МОП).

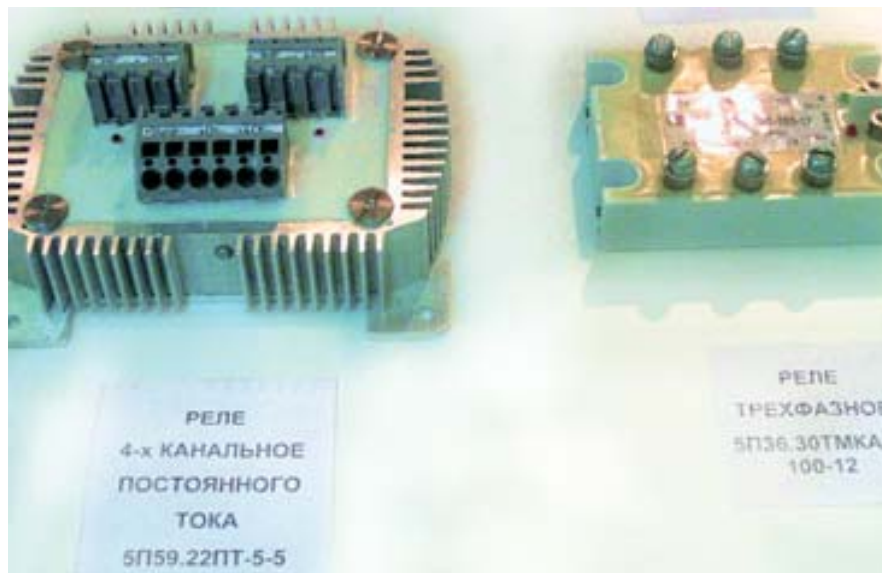
тельности. На предприятии создают аморфные и нанокристаллические сплавы на основе современной технологии скоростной закалки металлических расплавов на поверхности быстровращающегося барабана-охлаждильника.

Такая технология позволяет получать материалы с уникальными магнитными, механическими и химическими свойствами. Они обеспечивают производство широкого спектра магнитопроводов и разнообразных приборов. Среди последних — высокочастотные, согласующие, импульсные, измерительные и силовые трансформаторы, феррозонды и датчики, блоки питания, усилители низкой частоты. Подобные изделия в большом ассортименте представлены в номенклатуре выпускаемой продукции.

От транзисторов до оптронов

Инновационные проекты (предложения) для различных сфер промышленного производства размещаются сегодня в Российском унифицированном каталоге ресурсов. Здесь недавно было выставлено несколько «свежих» заявок одного из первых российских предприятий, специализация которого на разработке и производстве транзисторов и изделий на их основе была определена еще в середине прошлого века, — ФГУП ГЗ «Пульсар» (г. Москва). Предложения касаются поставок новинок заводской продукции — мощных СВЧ-транзисторов для радиолокации (типа А873А, А890А/Б/В, 2Т979Б, 2Т9118В) и ВЧ-транзисторов для радиосвязи (2Т921А/950А/950Б/951А). Во время работы выставки представители завода подробнее ознакомили специалистов с серийной продукцией, используемой в составе авиационного и судового оборудования, в системах опознавания и силовой электронике, а также с новыми ресурсными разработками.

Так, интеллектуальные **радиолокационные СВЧ-транзисторы**, предназначенные для информационно-телекоммуникационных систем и, в



Реле на стенде компании «Протон»

первую очередь, судовых локаторов, имеют выходную мощность 25–220 Вт и работают на частотах от 0,96–1,22 до 450 ГГц. Они обладают низким тепловым сопротивлением и высокой надежностью, что отчасти обеспечивается золотой металлизацией кристаллов приборов. **ВЧ-транзисторы для радиосвязи** могут «обслуживать» стационарные, передвижные и корабельные радиостанции ближней и дальней связи. Диапазон частот для них установлен в пределах 30–80 МГц. Выходная мощность приборов составляет от 3 до 250 Вт, уровень шума не превышает 15 дБ.

Технологическая база завода «Пульсар» позволяет разрабатывать и изготавливать электронные твердотельные компоненты и системы из различных полупроводниковых материалов — кремния, арсенида галлия, нитрида галлия и многокомпонентных соединений на его основе. Такие композиционные решения в силу уникальных свойств материалов обеспечивают создание современных высоконадежных многофункциональных и специализированных интегральных приемо-передающих модулей для радиолокации, интегральных микросхем различного назначения и разной степени интеграции и ряда других технических средств.

Большим спросом пользуются изделия силовой электроники. Это, в частности, кремниевые МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) переключательные транзисторы, IGBT-транзисторы, высоковольтные диоды и микросхемы (для стратегических сил сдерживания).

Когда заходит речь об оптоэлектронной технике, ассоциирующейся с яркими и мощными светодиодами и лампами, системами подсветки и заградительных огней, изделиями автоэлектроники, непременно упоминается крупнейший в России производитель этой изящной продукции завод «Протон» из Орла. Три с половиной десятилетия успешной работы позволили его коллективу сформировать отличную техническую базу, благодаря которой на предприятии реализуется полный цикл производства — от изготовления кристаллов до завершающей сборки изделий. Важнейшим перспективным направлением деятельности ОАО «Протон» является производство оптореле для поверхностного монтажа в миниатюрных корпусах SOP4/8 и транзисторных оптопар в корпусах SOP4.

Транзисторные оптопары рядом своих свойств выгодно выделяются из ряда других оптронов. Они обладают так называемой схемотехниче-

ской гибкостью, которая проявляется в том, что коллекторным током можно управлять как по цепи светодиода (оптически), так и по базовой цепи (электрически).

Выходная цепь транзисторных оптопар* может работать и в линейном, и в ключевом режиме. Механизм внутреннего усиления приборов обеспечивает получение больших значений коэффициента передачи тока, так что в системах пользования отпадает необходимость введения последующих усилительных каскадов. Важно, что при этом инерционность оптопары не очень велика и для многих случаев вполне допустима.

Выходные токи фототранзисторов значительно выше, чем, к примеру, у фотодиодов, поэтому они пригодны для коммутации широкого круга электрических цепей. Следует отметить, что эти особенности тем значительнее, что достигаются они при достаточной технологической простоте транзисторных оптопар. С учетом свойств оптронов и микросхем на их основе определились и основные направления применения техники.

Оптроны и микросхемы эффективны для передачи информации между устройствами, не имеющими замкнутых электрических цепей, для получения и отображения информации, а также с целью замены громоздких и неэффективных электромеханических изделий, включая потенциометры, реле и даже трансформаторы.

Оптопары ОАО «Протон» используются в промышленных контроллерах, оборудовании систем безопасности, источниках питания и в телекоммуникационных схемах. Сфера применения оптореле — АСУ предприятий, контрольно-измерительные приборы, интерфейсные устройства, системы связи и телекоммуникаций.

* Оптопары, оптроны — оптоэлектронные приборы, в которых имеются источник и приемник излучения с тем или иным видом оптической и электрической связи между ними, конструктивно объединенные друг с другом.

Конденсаторы для силовой электроники

Пленочные конденсаторы для силовой электроники, трехфазные конденсаторы для повышения коэффициента мощности и конденсаторные установки для компенсации реактивной мощности производит московская компания «Нюкон». Для создания изделий силовой электроники, применяемых в качестве фильтровых и демпферных устройств (шунтирующих конденсаторов для тиристорных или силовых транзисторов) в диапазоне напряжений от 500 В до 3 кВ, используются лучшие отраслевые достижения, а также уникальная технология локализованного управляемого самовосстановления. В итоге это позволяет достигать в изделиях «Нюкон» высоких показателей объемной плотности энергии, делая их одними из лучших в сегменте компактных приборов.

При использовании технологии локализованного управляемого самовосстановления конденсатор получается состоящим из нескольких десятков тысяч элементарных ячеек, каждая из которых защищена особыми предохранителями. Подобное решение позволяет отсоединить ячейку от общей цепи в случае ее короткого



Конденсаторные установки компании «Нюкон»

замыкания или электрического пробоя. При этом работоспособность конденсатора сохраняется. Применение такой технологии неизбежно сказывается на емкости прибора, но снижение в этом случае крайне незначительно. В целом уменьшение емкости конденсатора в конце срока службы не превышает 5%.

В производстве пленочных конденсаторов с полипропиленовым диэлектриком компания «Нюкон» использует «сухую» технологию. Применяемый диэлектрик имеет постоянную диэлектрическую проницаемость (2,2) и постоянный тангенс диэлектрических потерь ($2 \cdot 10^{-4}$) в диапазоне частот до 1 МГц. Благодаря этому материалу обеспечивается практическая неизменность емкости конденсатора под воздействием различных температур.

Номенклатура продукции завода включает изделия различной емкости, рассчитанные на разные рабочие напряжения, максимальные токи и температуру. К примеру, **конденсаторы серии FB2** могут выступать альтернативой приборам, изготовленным по другим технологиям, поскольку выдерживают большие значения пульсаций напряжения, имеют высокие действующие значения тока и большой срок службы. Эта серия разработана специально для фильтрации высших гармоник напряжения в цепях постоянного тока.

Конденсаторы FB2 имеют малые значения собственных потерь. В конструкции приборов применяется «сухая» технология использования металлизированной полипропиленовой пленки с локальным управляемым самовосстановлением и уже упоминавшийся особый по составу полипропиленовый диэлектрик. Последний обеспечивает высокую электрическую прочность конденсатора при рабочей температуре до 85 °С. Низкое значение индуктивности (от 22 до 35 нГн) достигается особой конструкцией выводов и корпуса конденсатора. Корпус выполняется из пластика и заполняется экологически безопасной самозатухающей полиуретановой смолой.

Системы охлаждения

Вопросы, связанные с разработкой систем охлаждения в приборах силовой электроники и радиоэлектронной аппаратуре, всегда занимали особое место. Появление более совершенных материалов и технологий, которые ведут к постоянному увеличению мощности активных элементов без заметного увеличения размеров конструкций — основного условия эффективного теплообмена — требует новых решений в области радиаторной и охладительной техники. Таких, например, какие находят в ОАО «Электровыпрямитель», специалисты которого занимаются и разработкой систем охлаждения.

Модельный ряд выпускаемых изделий представлен охлаждающими системами для СПП большой мощности — воздушными охладителями типа О193, водяными охладителями ОМ209. Для диодно-тиристорных модулей и модулей IGBT разработаны охладители-монолиты типа О55 и О56. Не так давно предприятие начало поставки высокоэффективных алюминиевых охладителей с запрессованными ребрами (серии О57) и водяной системой охлаждения (ОВ17, ОВ18 и ОВ27). Практически завершена работа над новым охладителем на основе высокоэффективного двухфазного термосифона с воздушным охлаждением ОДТ-163.

ОАО «БНТ «Прибой»» (г. Санкт-Петербург) осуществляет контрактную разработку и производство базовых несущих конструкций для различной аппаратуры (силовых установок, ВЧ-генераторов, усилителей мощности) с учетом требований к тепловому режиму эксплуатации как отдельных элементов, так и устройств в целом. Предлагаемые предприятием охладители представляют собой сборные паяные радиаторы из меди, алюминиевых и медно-алюминиевых сплавов со стандартными размерами до 300×400 мм, минимальной толщиной ребра 0,3 мм и зазорами между ребрами в 1,2 мм. Компанией разработан оригинальный процесс пайки радиаторов, при которой толщина паяного шва не превышает 12 мкм по всей длине



Охладители для силовой электронной техники ОАО «Электровыпрямитель»

ребра, а также технология запрессовки ребер в основание прибора. Такие решения обеспечивают наибольшую эффективность теплообмена.

Интересный результат получен инженерами «Прибоя» при создании единого несущего шасси для блока усилителей мощности радиопередаточных устройств. В состав такого блока входит несколько габаритных печатных схем, которые требуют принудительного охлаждения. Сами выделяющие в этом случае тепло элементы (транзисторы, балластные резисторы, микросхемы), как правило, находятся на значительном удалении друг от друга, а их суммарная площадь теплопередачи составляет около 15% от площади печатных плат, на которых они смонтированы.

Получается, что использование сборных радиаторов в качестве несущих конструкций плат нецелесооб-

разно. Выход предложен такой: следует создавать комбинированные несущие шасси, содержащие в себе фрагменты сборных или стандартных (литых реберных либо игольчатых) радиаторов, формой и размерами соответствующих конструкции и температурному режиму тепловыделяющих элементов. Практика показала, что во многих случаях (например, в предварительных усилителях блоков усиления мощности или в источниках вторичного электропитания) применение комбинированных шасси является экономически более выгодным, чем стандартных литых радиаторов.

Средства коммутации

Нет никакого секрета в том, что выставка «Силовая электроника и энергетика» является успешным и значимым для широкого круга специалистов событием. Все объясняется

тем, что организаторы деловых и выставочных мероприятий реально оценивают основные тенденции развития отрасли, проводят тщательный мониторинг рынка, а потому осуществляют такой подбор участников, который интересен представителям самых разных сфер производства, энергетики, транспорта и связи.

В самом деле, если внимательно ознакомиться с предложениями того же холдинга «НЭВЗ-Союз» из Новосибирска, то можно понять, почему его продукцией интересуются и связисты, и приборостроители, и энергетики. Благодаря успешному сотрудничеству с ведущими научными центрами (Томским институтом прочности и материаловедения СО РАН, Всероссийским электротехническим институтом, Наноцентром Томского политехнического университета и др.) предприятия холдинга создают и поставляют на рынок большое разнообразие специальной продукции.

Это, например, средства электроники — генераторная аппаратура СВЧ-диапазона для систем радиолокации и радионавигации, силовые полупроводниковые приборы (мощные кремниевые резисторы и силовые тиристоры). Одно из направлений производственной программы компании — выпуск вакуумной коммутационной аппаратуры, образцы которой были продемонстрированы на выставке.

Новосибирский электровакуумный завод — крупнейшее подразделение холдинга — представил, в частности, типовой ряд **вакуумных выключателей ВВ/ВКА-10-20/630, 1000 и 1600**. Они предназначены для эксплуатации в сетях трехфазного тока частотой 50 Гц и номинальным напряжением до 10 кВ с изолированной и скомпенсированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах. Изделия могут монтироваться в ячейках комплектных распределительных устройств внутренней и наружной установки, а также в камерах КСО.

Определяющим элементом вакуумных выключателей являются ваку-

умные дугогасительные камеры, которые обеспечивают их основные коммутационные характеристики. Такие камеры производятся на еще одной промплощадке холдинга — в ЗАО «СЭЛ» («Союз-Электроника»). В изделиях применяется контактная система, генерирующая продольное (аксиальное) магнитное поле. Камеры имеют минимальные габариты и минимальное же дополнительное поджатие контактов, что также улучшает рабочие характеристики выключателей.

Контактная система камер в зависимости от типа состоит из индукторов с одним, двумя, четырьмя либо шестью полувитками. Проходящий через индукторы ток формирует продольное магнитное поле, которое удерживает и распределяет вакуумную дугу в пределах контактной системы равномерно по всей поверхности. С целью повышения эффективности работы камер используется специальный сердечник из магнитомягкого материала, который при намагничивании создает дополнительные условия для удержания дуги в пределах контактной системы. Кстати, это решение позволяет еще больше уменьшить диаметр камер.

Кроме того, конструкция сердечника обеспечивает жесткость контактной системы, которая необходима при возникающих электродинамических усилиях и ударных нагрузках. Дугогасительные камеры ЗАО «СЭЛ» изготавливаются по наиболее эффективной технологии бесштенгельной откачки и герметизации с применением керамических изоляторов собственного производства.

Источники тока

Недавно в Индии объявили об утверждении грандиозного инновационного проекта, предусматривающего дальнейшее освоение энергии солнца для широкомасштабного получения солнечного электричества. Сегодня в мире вырабатывается 16,5 ГВт солнечной энергии в год, из них на Индию приходится 3 ГВт.

Согласно планам, эта солнечная страна уже к 2020 г. намерена получить до 20 ГВт электроэнергии ежегодно. Солнечное электричество — за счет окупаемости очень дорогого проекта — должно, тем не менее, уже в ближайшие 5 лет по цене сравняться с энергией, получаемой из ископаемого топлива. Экономисты прогнозируют в случае успеха проекта широкий поток инвестиций, который будет направлен в Индию, и значительный подъем всего промышленного производства страны, которая и сегодня демонстрирует значительные успехи во многих сферах.

Но если для территории с большим числом солнечных дней в году и хорошим климатом энергия солнца как источник электричества не есть нечто несбыточное, то в условиях России это все-таки пусть и альтернативный, но не самый главный, а скорее, дополнительный ресурс пополнения энергетического потенциала. Его будущее — в локальном применении солнечных батарей для электрификации объектов сельской местности, создания домашних солнечных систем, обустройства замкнутых инженерных сетей водоснабжения, обеспечения работы местных телекоммуникационных объектов.

На такую перспективу рассчитывают создатели солнечных модулей для автономных фотоэлектрических станций на Рязанском заводе металллокерамических приборов. Одну из последних разработок представители предприятия показали на выставке. Солнечный модуль выполнен из 36 последовательно соединенных 156-миллиметровых мультикристаллических кремниевых элементов. Модуль оснащен двумя диодами, которые минимизируют потери мощности при затемнении. Основным материалом для него служит закаленное высокопрозрачное стекло с низким содержанием оксидов железа.

*Евгений Каршилов,
фото автора*

Заявки на рекламу в еженедельнике «Снабженец» присылайте по тел/ф. (495) 232-23-18