

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Скобло Т.С., профессор, Мартыненко А.Д., доцент, Сайчук А.В.,
Демченко А.Л., инженеры, Мартыненко Д.А., студент
(Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко)

Рассмотрены вопросы развития лазерной техники в мире, использование лазерной сварки, резки и термоупрочнения в различных отраслях народного хозяйства. Обобщен опыт по применению оборудования и технологических процессов для решения широкого круга производственных задач.

Вступление. Несмотря на падение активности в области наукоёмких технологий рынок лазерных технологий в мире к 2000г достиг 70млрд. долларов США [1]. При этом только продажа лазерных установок составила 8,8млрд. Разработки и исследования связаны с созданием мощных автоматизированных лазерных технологических комплексов – АЛТК для решения широкого круга промышленных задач.

Целью публикации является обобщение опыта по применению оборудования и технологических процессов для решения широкого круга производственных задач.

В основу разработки оборудования закладываются новые физические и технологические принципы создания лазеров большой мощности (до 20кВт). Исследования проводятся в направлении изучения взаимодействия излучения с различными материалами. Создаются и обрабатываются технологические процессы (сочетание технологических операций) упрочнения и изготовления деталей различной сложности.

Характеристика и назначение лазерных комплексов.

Газовые CO₂ лазеры, создаваемые в ИТПМ СО РАН (Россия), предназначены для резки и сварки листовых материалов. Аналогичная область применения лазерных комплексов фирм TRUMF, ROFIN-SINAR. Такие лазеры выпускаются мощностью до 3-4кВт и отличаются высоким качеством излучения. Это позволяет использовать их для резки листовой стали толщиной до 15-20мм, сварки.

Промышленно выпускаются газовые лазеры и мощностью от 6кВт. Оптимальной особенностью таких установок является многомодовый характер пучка излучения. Это несколько снижает качество формируемого пучка, но позволяет разрезать листы нержавеющей стали толщиной до 45мм, хотя шероховатость разрезанной поверхности детали ухудшается.

Анализ литературных источников информации [1-4] выявил, что зарубежные газовые лазеры работают на очень чистых газах (углекислый, гелий, азот) и это приводит к большим эксплуатационным затратам.

Твердотельные лазеры выпускаются мощностью от 6кВт. Они исполь-

зуются для сварки и резки стальных изделий толщиной до 10мм. Лазеры, создаваемые в ИТПМ, отличаются экономичностью, поскольку используют рабочую смесь углекислого газа и воздуха, высокой надежностью, простотой в обслуживании. Они оснащены резонатором, который обеспечивает излучение высокого качества при любом уровне мощности (1,5; 2; 5; 10кВт).

Использование лазерных установок с мощностью 1,5кВт позволяет осуществлять раскрой материалов, сварку стали, порошковую наплавку и термическое упрочнение.

Дальнейшие направления исследований в области нового оборудования будут направлены на создание мощных CO₂ лазеров (до 20кВт) с высоким качеством излучения, которое позволит осуществлять качественную резку листовых черных и цветных металлов, а также соединение материалов, не свариваемых традиционными методами. Планируется также создание лазерных технологических комплексов для развития различных отраслей промышленности. В промышленных условиях чаще всего используются технологические лазеры CO₂ и твердотельные YAG лазеры [3].

Как показал анализ, приведенный ниже (рис. 1), применение лазерных технологий особенно эффективно в электронной промышленности, включая микроэлектронику, электротехнику и производство печатных плат. Чаще всего публикации касаются применения лазерных технологий в автомобильной промышленности. В последнее время появились публикации, касающиеся состояния и перспектив использования таких технологий и в судостроении [2].

1. диодные
2. CO₂ < 500 Вт
3. CO₂ > 500 Вт
4. эксимерные
5. непрерывные YAG > 100 Вт
6. непрерывные YAG < 100 Вт

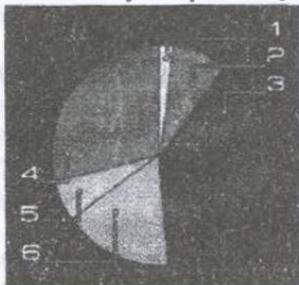


Рисунок 1. Мировой рынок лазеров в 2000г

Распределение по отраслям применения лазерных технологических устройств - ЛТУ (рис. 2) показывает явное преимущество на настоящий момент фактически двух отраслей. Это в первую очередь электронная отрасль, включающая микроэлектронику, электротехнику и производство печатных плат, и автомобильную промышленность.

Лазерное излучение обеспечивает высокую концентрацию энергии, значительно превосходящую другие традиционные источники энергии, используемые для резки и сварки, чем и определяются основные особенности технологических процессов и их основного преимущества - локального и быстрого ввода тепловой энергии в зону обработки и, соответственно, низких деформаций судовых металлоконструкций [4, 5]. Подробно физические и технологиче-

ские особенности лазерной резки (ЛР) и сварки (ЛС), рассмотрены в этих работах.

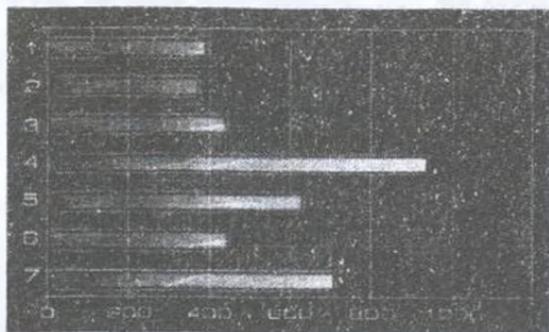


Рисунок 2. Распределение мирового рынка ЛТУ по отраслям-пользователям: 1 - автомобильная промышленность; 2- электротехника; 3 - производство печатных плат; 4 - микроэлектроника; 5 - обработка других металлов; 6 - обработка других не металлов; 7 - мелкотоварное производство

Определяющим видом лазерной обработки, позволяющим радикально модернизировать технологию сборочно-сварочных работ в судостроительном производстве является лазерная резка, которая позволяет на порядок повысить точность изготовления заготовок и, соответственно, снизить объем наплавленного металла при сварочных работах, что, в свою очередь, снижает в 5-10 раз трудоёмкость сварочных, а затем и рихтовочных работ по исправлению деформаций. А это, в свою очередь, уменьшает на 10-30% срок строительства, а также и вес металлоконструкций, материалоемкость за счёт увеличения шага рёбер жесткости или уменьшения толщины использованного металла.

Резка деталей корпусов судов является одной из основных технологических операций корпусообработывающего производства, оказывающих непосредственное влияние на качество и трудоёмкость изготовления корпуса судна. Основными параметрами процесса вырезки деталей, влияющими на конкурентоспособность продукции, являются:

- точность вырезки деталей, определяющая объем пригоночных работ при сборке корпусных конструкций (или возможность исключения пригоночных работ в случае изготовления деталей "в чистый размер");
- качество кромок вырезанных деталей, определяющее необходимость (или отсутствие необходимости) их зачистки или механической обработки перед сваркой конструкций;
- производительность вырезки деталей;
- объем и состав вредных выбросов в окружающую среду, световое излучение и шум от резки, определяющие затраты на обеспечение экологической чистоты процессов и соблюдение требований охраны труда.

Лазерная резка позволяет достигать точности 0,2-0,4мм на длине до 10м, при ширине реза 0,2-0,4мм. Дефекты на поверхности разрезанных кромок, в т.ч. и величина граты, ЗТВ - не превышают 0,1-0,3мм. Точность изготовления заго-

товок и величина дефектов обработки измеряются при лазерной резке десятками миллиметра, в то время как при традиционных способах разброс размеров и дефекты кромок достигают миллиметра и более.

Анализ и сравнение затрат для различных видов резки, их сопоставлением на 1пог.м. реза стали толщиной 5, 10, 15 и 20мм, выполненные ведущими европейскими специалистами в области разработки технологий и оборудования для резки и сварки - "MESSER GRIESHEIM", ФРГ показывают, что при резке стали толщиной 5мм стоимость 1м реза составляет около 1DM, при этом, лазерная резка более дешева и предпочтительна, даже без учёта повышения качества заготовок. Лазерная резка будет дешевле или одного уровня и на толщинах 10 - 15мм. А с учётом дополнительной экономии она становится более предпочтительна и на толщине 20мм. А это, как известно, покрывает 50-80% ассортимента используемых сталей в судостроении. Кроме того, на этом же оборудовании можно и резать более толстые стали, хотя стоимость резки 1м будет несколько дороже, чем при автогенной или плазменной резке, а также можно выполнять маркировку и разметку на той же позиции.

Специалисты "MESSER GRIESHEIM" отмечают также, что при современном, без складского хозяйства, мелкосерийном (до единичного) производстве изделий всегда предпочтительнее быстрые способы, такие как лазерная или плазменная резка. Высокое качество кромок реза даёт возможность непосредственной дальнейшей обработки деталей. Прежде всего, лазерная резка обеспечивает необходимое качество, с небольшой тепलोдеформацией, точным обеспечением заданных размеров и вертикальными кромками реза. Этим исключается последующая механическая обработка. Точное соблюдение заданных размеров является предпосылкой того, что последующие этапы производства деталей, такие как сварка, могут быть автоматизированы. На поверхности реза лазер оставляет минимальную, толщиной лишь в несколько слоёв атомов, зону закалки. Азотирование поверхности реза при этом не происходит.

Лазерная резка и сварка в европейском судостроении до 90-х годов имела ограничение по технической возможности и экономической целесообразности - только в 90-х годах появились промышленные лазеры и установки с суперимпульсными режимами и гауссовым пучком для высококачественной и экономичной резки мощностью до 3кВт, а сейчас на рынок выходят уже такие же по качеству 6 кВт-ые лазеры. Сварка в судостроении стала возможна благодаря созданию промышленных лазеров мощностью до 20-30 кВт. Стоимость же лазерного технологического оборудования за 10-15 лет уменьшилась в 1,5-2 раза при значительном повышении его качества и надёжности [5].

Лазерная резка внедряется в практику значительно быстрее, чем сварка. В мире работает уже около 10 000 установок для ЛР и каждый год их количество увеличивается приблизительно на 1000шт. Основным их преимуществом отмечается - незначительный нагрев обрабатываемых кромок материала, отсутствие необходимости в последующей обработке кромок после резки и сварных швов после ЛС.

Германия занимает ведущее положение в мире по разработке и промышленному применению лазерной техники [5].

Одной из первых попыток в западном судостроении, к сожалению неудачной, но поучительной - было внедрение Бременским институтом лазера мощностью 2,5кВт для резки судостроительной стали толщиной до 16мм и размером листов 3x12м, со скоростью около 1м/мин, листов из хромоникелевых сталей толщиной до 8мм, алюминиевых сплавов толщиной до 5мм на верфи Schichau-Seebeckwerk, ФРГ. По результатам работ в 1992/95г.г. было сделано заключение, что несмотря на очевидные преимущества лазерных технологий: уменьшение деформаций и снижение объема дополнительных работ, новые конструктивные возможности при монтаже закрытых помещений, как например, двойного дна и бортовых ганков, а также улучшения условий труда, разработанная специальная установка обладает рядом существенных недостатков, не обеспечивает необходимой точности и надёжности работы и не может быть рекомендована к применению в судостроении. Основными трудностями при внедрении ЛТО было: пыленасыщенный воздух на верфи, влажность, колебания температуры от - 10° до + 35°, очень большие размеры обрабатываемых листов.

Верфь Jos. L. Meyer (Papenburg, ФРГ) первой в Германии в 1994году успешно применила лазерную резку, а затем сварку легких панелей палубного настила, переборок и палубных надстроек судов спецназначения 20кВт-м ЛТК портального типа производства "MESSER GRIESHEIM" (ФРГ) [10]. Лазером из листов предварительно вырезают заготовки требуемого контура, выполняют в них, если необходимо нужные отверстия. Затем два параллельно смонтированных лазера мощностью по 18 кВт каждый сваривают два листа размером 3x20м с проставками. Лазерная обработка предупредила коробление листового металла, неизбежное при др. видах термической резки и сварки тонкого листа, и устранила необходимость в рихтовке. В зависимости от типа судна затраты на такую дополнительную обработку составляют 5-25% полной стоимости изготовления стальной конструкции. Кроме того, при сварке 20кВт-м CO₂ - лазером было значительно сокращено время изготовления конструкции, снижен расход присадочного материала. Резка лазером при подготовке кромок под сварку выполнялась с высокой точностью, так же точно вырезаются отверстия, контуры и сверления.

Успешным и эффективным был опыт применения в 1993/94г.г лазерной установки Lascontur 2501 фирмы "MESSER GRIESHEIM", ФРГ, с CO₂ - лазером RS/700 SM мощностью 1,7 кВт фирмы Rofin Sinar, ФРГ на ведущей военноморской верфи Великобритании Vosper Thornycroft UK Ltd (VT) при производстве корпусных работ постройки головных корветов. Внедрение лазерной резки способствовало повышению производительности. По сравнению с традиционной плазменной резкой лазер обеспечивает более высокое качество реза в сочетании с отсутствием зоны теплового влияния и минимальной деформации листа. Поэтому во многих случаях лазер исключает необходимость дорогостоящей последующей механической обработки.

Поэтому лазерную резку часто называют механической обработкой.

С использованием 5% мощности лазерного источника производилась маркировка корпусных деталей с нанесением их порядковых номеров, нулевых точек, линий установки шпангоутов и отбортовки. Высокая точность и малая

ширина реза позволили использовать ЛТУ кроме контурной резки также для вырезки всех круглых отверстий диаметром до 3мм вместо их сверления и пробивки.

ЛТУ использовалась также для изготовления деревянных или металлических шаблонов, на ведущей военно-морской верфи Великобритании Vosper Thornycroft UK Ltd применяемых при изготовлении корпусных конструкций. Отмечается возможность точной пригонки после ЛР. Высокая точность лазерной резки и разметки способствовала получению некоторых очень важных преимуществ при изготовлении корпусных конструкций. Все корпусные детали подгонялись друг к другу с минимальными зазорами, обеспечивая получение качественных сварных швов. Применение лазера устранило необходимость ручной маркировки, обеспечив этим дальнейшее повышение точности и стабильности формирования сварных швов. Точность пригонки фактически устранила необходимость в контуровке корпусных деталей в корпусозаготовительных цехах, при этом снижение шума в цехе - ещё одно существенное преимущество лазерных технологий.

В условиях жёсткой конкуренции на мировом рынке судостроения верфям Германии для поддержания стоимости своей продукции на требуемом уровне необходимо повышение производительности на 30-40%. Одним из основных путей достижения этой цели рассматривается рационализация и внедрение поточных линий с односторонней сваркой и автоматического монтажа элементов жёсткости, перегородок и балок. Применение робототехнических устройств эффективно, но сдерживается недостатками программного обеспечения.

В качестве перспективных направлений рассматривается внедрение лазерных технологий и роботизация монтажа судовых конструкций. На некоторых верфях, занимающихся постройкой специальных судов, уже полностью ориентированы на лазерную технологию резки. Определяющими этот выбор называются следующие особенности ЛР: малая ширина реза, определяемая только диаметром сфокусированного пучка (0,2-0,3мм), незначительной зоной термического влияния вдоль кромок реза, широкий диапазон обрабатываемых материалов, используемых в судостроении, в т.ч. дерево и неметаллические материалы. Новая технология позволяет изготавливать судокорпусные детали с высокой точностью, на длине 16м обеспечивается допуск $\pm 0,5$ мм. Такая точность упрощает работы по подготовке изделий к сварке, в т.ч. и при изготовлении роботов, полностью исключаются последующие пригоночные работы. Необходимо учитывать факторы, влияющие на точность резки: технические эксплуатационные характеристики машин, параметры процесса резки, состояние материалов, в т.ч. наличие внутренних напряжений.

В 1997 году на верфи Odense Lindo Steel Shipvard в Дании при резке стальных листов до 20мм и сварке - при толщине до 15мм было отмечено значительное снижение деформаций листов за счёт минимального теплового воздействия на судовые конструкции и исключение необходимости рихтовки. Лазерная установка для резки листов размером 3x16м толщиной до 25мм с 5-осевой головкой позволяет обрабатывать объёмные конструкции. CO₂-лазер мощностью 6кВт

крепится и перемещается на портале, поэтому длина обрабатываемых листов и рабочей зоны может без проблем быть увеличена до 30м и более. Планируется использование двух кВт-х лазеров для резки и 25кВт-го лазера для сварки листов и объёмных конструкций.

Несомненным лидером во внедрении лазерных технологий в европейском судостроении является немецкая фирма "MESSER GRIESHEIM", которая обладает наиболее богатым опытом в лазерных и традиционных технологиях [5, 8]. Несколько уступает ей известная в Европе и мире шведская фирма ESAB.

Немецким филиалом этой фирмы - ESAB-Hancock для судостроения предлагаются лазерные установки Alpharex AXB моделей 5000 и 7000 с многопроцессорным числовым регулятором NCE 520 и комплексной базой данных, отвечающая требованиям стандарта VD 13441: на длине 12м должна обеспечиваться точность 0,4 мм, замеряемая лазерным интерферометром - по всем осям машины. Установка Alpharex AXB модели 7000 позволяет резать листы толщиной до 20мм и размером 4x12м. Модель 5000 имеет рабочую зону в 2раза меньше (около 1,5м). При замене лазерного излучателя на более мощный - 3кВт скорость резки можно увеличить на 10%. Т.е. при увеличении мощности в 2 раза производительность и технологические возможности увеличатся примерно вдвое, в случае использования лучших лазеров - фирм Fanuc, Rofin Sinar, Trumpf, которые в основном и используются в западноевропейском судостроении на лазерных установках фирм "MESSER GRIESHEIM" и ESAB-Hancock. В данном случае почти не происходит увеличение пятна фокусировки и другие параметры лазерного излучения ухудшаются незначительно. К сожалению, при использовании лазеров отечественного производства качество излучения и технические параметры будут ухудшены существенно и это нужно будет учитывать [3-5].

Можно предполагать, что в ближайшие годы лазерная резка будет вытеснять в судостроении (и других отраслях промышленности) традиционные способы и особенно там, где нужна высокая точная резка в "размер". На толщинах до 15-25мм она станет доминирующей. Повышению точности будет способствовать использование тех же лазерных источников, которые используются для лазерной разметки и маркировки.

При оценке преимуществ нового процесса обработки материалов наряду с чисто экономическими показателями следует принимать во внимание высокие качественные характеристики лазерной резки. Отсутствие коробления и грата устраняет необходимость в дополнительных операциях механической обработки кромок и рихтовки заготовок после резки, а также возможность изготовления деталей на окончательный размер под сборку и резкое сокращение времени изготовления деталей, что особенно ценно при необходимости срочной поставки изделий.

Успешным опытом лазерной резки и сварки объёмных конструкций богата и зарубежная автомобильная промышленность, а поскольку в ней применяются толщины на порядок меньше, чем в судостроении, то и широкое внедрение лазерных технологий началось на десяток лет раньше. Лазерные технологии позволяют существенно повышать точность изготовления автомобиля и за-

метно снижать его массу за счёт применения лазерной резки для изготовления "подогнанных заготовок".

Как и в автомобилестроении, в судостроении на первое место достоинств лазерной технологии выходит точность и качество процесса, снижение массы и безопасность изделий.

По сведениям датских экономистов, годовая экономия за счет внедрения лазерной резки и сварки при постройке двух танкеров-пятидесятитысячников составляет 83000 долларов США. Как утверждают западноевропейские эксперты, за счет широкого внедрения лазерных технологий в судостроение общие расходы, связанные со сварочными работами, могут быть уменьшены на 50%.

Использование лазерной сварки и резки позволило фирме "Messer Griesheim" снизить на 5-25% затраты на изготовление палубных секций, переборок, и надстроек на верфи Jos.L.Meyer GmbH в Паленбурге (ФРГ). Экономия достигается благодаря точной резке. Так, трудоёмкость постройки корпуса пассажирского судна массой 7500т, изготовленного из элементов толщиной 5-6мм, снижена на 14-18%. Дополнительный эффект получен благодаря уменьшению затрат на электроэнергию и за счёт сокращения продолжительности постройки судна.

Использование лазерной сварки наиболее эффективно применительно к конструкциям, в наибольшей степени подверженным сварочным деформациям, так как наибольший экономический эффект будет достигнут именно за счет снижения их объема (до 25% трудоемкости всех сборочно-сварочных работ).

Применение лазерной сварки с компьютерным управлением позволило при сборке больших корпусных секций массой до 600т избавиться от больших допусков и выполнять судовые конструкции с допуском в несколько мм.

Применение с 1995года лазерной сварки для изготовления трёхслойных панелей размером 3х10м, обладающих повышенной жёсткостью и прочностью, на верфи Jos.L.Meyer GmbH в Паленбурге (ФРГ) позволило снизить вес металлоконструкций по сравнению с обычными - до 40%.

Из данных [10] следует, что в Японии уже сейчас используется в промышленности столько же лазеров, сколько в Западной Европе и США вместе взятых. Внедрение лазерных технологий в судостроении способствует значительному увеличению эффективности производства и существенно усиливает позиции судостроительных предприятий в конкурентной борьбе за рынок. Лазерная сварка сопоставима по удельным затратам с традиционными способами сварки, даже без учёта уменьшения деформаций, затрат на рихтовку и прочих преимуществ [9].

В работе [4], выполненной ещё в 1983/85г.г. приведено сравнение технико-экономических аспектов ЛС большой мощности, в сравнении с традиционными способами сварки на Ижорском заводе. Так для сварки трубного узла АЭС из стали 08X18H10T диаметром 300мм и толщиной стенки 12мм при использовании аргонодугового метода требовалось выполнить 4-5 проходов со скоростью обработки порядка 15м/ч, с технологическими перерывами между ними (для остывания и зачистки сварных швов), что в итоге определяло норму времени на стык - 2-2,5 часа. Лазером такое соединение сваривалось за 1,5-

2минуты за один проход при мощности излучения 10кВт и скорости сварки 60м/ч и более [3, 5, 10].

Лазерная сварка позволяет повысить точность контуров сварных конструкций, снизить массу изделий, повысить ресурсные и механические характеристики, стабильность механических свойств, применять рациональные заготовки, в т.ч. для деталей сложного профиля с перепадом толщин до 1:10, повысить производительность труда за счёт выполнения на одном рабочем месте нескольких аппаратурно-совместимых операций.

Вывод. Лазерные технологии позволяют по новому проектировать и производить судовые конструкции, в т.ч. с использованием новых сотовых и многослойных, нахлесточных соединений, выйти на новый технологический уровень заготовительного и сборочно-сварочного производства, существенно повысить их качество и точность, снизить трудоёмкость, вывести судостроительное производство на новый высокоинтеллектуальный уровень, максимально соответствующий современным требованиям по автоматизации, надёжности и безопасности, экологии и культуре, уменьшить отставание от западных производителей и улучшить экспортные возможности.

Список литературы:

1. Игнатов А.Г. АОЗТ «Лазер Информ Сервис», 2006, – 4с.
2. Обзор: О состоянии и перспективах применения лазерных технологий в судостроении. 2006, - 8с.
3. Игнатов А.Г., Суздаев И.В. Состояние и перспективы применения лазерного технологического оборудования // Судостроительная промышленность. Серия: СВАРКА. - 1989, вып.7. - С.3-18.
4. Отчёт. Лазерное технологическое оборудование для обработки материалов в СССР и за рубежом / Обзор // А.Г. Игнатов, А.И. Скрипченко, В.И. Лукьянов, и др. - Л.: Лазер-Информ. - 1989. - 225 с.
5. Отчёт о НИР. Исследование технологии лазерной резки и сварки металлов и сплавов. Моделирование применения высококонцентрированных источников энергии в перспективных технологических процессах постройки морских судов. - СПб.: ЦНИИ ТС. - 1999.- Т.1 - 172с, т.2 - 77с.
6. Игнатов А.Г. Работы по лазерной сварке энергомашиностроительных и судостроительных сталей и сплавов больших толщин в России и за рубежом. // Лазер-Информ. - М.: ЛАС.- 1998, № 148-149. - С.10-13.
7. CO₂ - лазеры в судостроении / D.Rassel // Лазер-Информ.- М.: ЛАС.-1997, № 127. - С.4-7.
8. Проспекты фирм "MESSER GRIESHEIM" (ФРГ), ESAB (Швеция), Grumpf (ФРГ), Rofin-Sinar (ФРГ), United Technologies Industrial Lasers (США), АО "БЛАСТЕР", АП "Кристалл", НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, НИЦТЛ, ГП "Ижевский механический завод".
9. Опыт использования лазерных технологий в судостроении / В.Д. Горбач, О.Г. Соколов, В.М. Левшаков, В.Л. Чабан, Л.А. Васильев, А.Г. Игнатов. - Судостроение. - 2000, №1.-С. 49-53.