**Корабельные газотурбинные энергетические установки**

И.Г. Захаров, доктор технических наук, профессор, контр-адмирал; Я.Д. Арефьев, доктор технических наук, профессор, контр-адмирал; Н.А. Воронович, кандидат технических наук, капитан 1 ранга; О.Ю. Лейкин, кандидат технических наук, капитан 1 ранга

В настоящее время энергетические установки большинства надводных кораблей флотов развитых стран оснащены газотурбинными двигателями (ГТД). Газотурбинные двигатели входят в состав как единых газотурбинных энергетических установок (ГТЭУ), так и комбинированных дизель-газотурбинных энергетических установок (ДГТЭУ).

Основными преимуществами ГТД являются: высокая экономичность, большие агрегатные мощности при малых массе и габаритах, приспособленность к автоматизации, высокая надежность, простота конструкции и обслуживания, высокая технологичность, возможность агрегатного ремонта. Все эти качества были достигнуты в результате упорных и длительных поисков ученых и конструкторов. И только сегодня, при достаточно высоком уровне развития газотурбостроения, можно оценить, сколь высок вклад отечественных ученых и инженеров в создание высокоэффективных корабельных газотурбинных установок, не имеющих альтернативы не только в настоящее время, но и в обозримом будущем.

Первой серьезной попыткой создания корабельного газотурбинного двигателя была работа инженер-механика Российского флота П.Д.Кузьминского, который еще в 1892г. предложил и изготовил оригинальный двигатель с камерой сгорания, охлаждаемой водой, и турбиной радиального типа. Эта конструкция, называемая ныне в литературе турбиной Юнгстрема, была предложена на 14 лет раньше, чем это сделали братья Юнгстрем (Швеция, 1906г.). Двигатель П.Д.Кузьминского был двигателем с горением при постоянном давлении.

Увлечение в 20-х годах нашего столетия строительством ГТД с горением при постоянном объеме во многом может быть объяснено отсутствием возможности создания осевого или центробежного компрессора с достаточно высоким КПД при принятой степени повышения давления, в то время как использование цикла с горением при постоянном объеме позволяло добиться повышения давления за счет сгорания топлива в закрытом объеме. Уровень науки в области теории создания турбомашин, особенно компрессоров, был столь низким, что на каком-то этапе утвердилось мнение о невозможности достижения необходимого КПД турбомашин, когда двигатель с горением при постоянном давлении мог быть работоспособным.

В эти же годы В.М.Маковский утверждал, что применение прерывистого горения носит неустойчивый характер, что ГТД присущ непрерывный процесс подачи рабочего тела. Своим трудом, написанным в 1920г. и изданным в 1925г., он активизировал деятельность советских исследователей и конструкторов в решении проблемы создания ГТД, работающего с горением при постоянном давлении. И только создание научного задела в области аэродинамики и прочности турбомашин, особенно компрессоров, и исследования различных схемных решений процессов горения, выбор и разработка материалов, работоспособных при высокой температуре, позволили практически подойти к реализации идеи газотурбинного двигателя.

Выдающийся вклад в развитие корабельного газотурбостроения внес Г.И.Зотиков, сотрудник 1 -го ЦНИИ МО. Им был разработан и изложен в монографии “Проблема турбины внутреннего сгорания. Турбина равного давления” (1933г.) и ряде статей принципиально новый теоретический подход к сравнительной оценке циклов газотурбинных двигателей и обоснован вывод, что вместо ожидаемых выгод от турбины с горением при постоянном объеме можно получить одни убытки. Поэтому он настоятельно рекомендовал остановиться в настоящее время на турбине с горением при постоянном давлении. Это утверждение Г.И.Зотиков обосновал термодинамическими расчетами, а также разработкой теории расчета температуры лопаток, запасов прочности в дисках и лопатках, выбором конкретных материалов для их изготовления, обоснованием эффективных способов уменьшения потерь и достижения высокого КПД турбин. Его труды стали обоснованной программой создания первого отечественного корабельного ГТД, а правильность их основных положений подтверждена всем ходом последующего развития газотурбостроения.

В 1935-1941гг. под научно-техническим руководством Г.И.Зотикова начались работы по созданию турбины внутреннего сгорания опытной (ТВСО) - корабельного ГТД мощностью 3500 л.с. Двигатель создавался по циклу с промежуточным охлаждением и регенерацией. Степень повышения давления Пк=8, начальная температура газа 1173°К (900°С), компрессор центробежный, двухступенчатый, турбина одноступенчатая с диффузором, лопатки турбин охлаждались водой. Однако война прервала эти работы.

В период Великой Отечественной войны продолжались работы по проектированию корабельного ГТД. Это позволило сразу после окончания войны приступить к разработке ГТУ-42 мощностью 14000л.с., применительно к строящемуся в те годы сторожевому кораблю проекта 42. В 1948г. технический проект был закончен. Коллективу под руководством Г.И.Зотикова, куда входили Л.А.Маслов, В.И.Козловский, Д.М.Кудреватый, Е.И.Русанов и другие специалисты, пришлось решать целый комплекс новых научных задач. К наиболее выдающимся результатам можно отнести разработку метода расчета по данным продувок плоских решеток и создание осевого компрессора, имевшего при степени повышения давления Пк=4,5 КПД более0,9. При испытаниях компрессора были экспериментально подтверждены высокие характеристики, и в дальнейшем этот компрессор использовался как модель для создания целого ряда компрессоров, как для корабельных ГТД (М-2, М-З, Д-2, ГТУ-6), так и для ГТД народнохозяйственного назначения.

В конце 40-х годов специалистами 1-го ЦНИИ МО была обоснована перспективность применения газотурбинных двигателей на кораблях ВМФ и выполнен ряд НИР в обоснование технического задания (ТЗ) на создание корабельных газотурбинных установок. Возглавил эти работы Г.Н.Богданов-Катьков. В 1951г. было разработано ТЗ на создание первой отечественной газотурбинной установки УГТУ-1. Для сокращения сроков разработки и постройки этой установки в качестве прототипа был выбран авиационный турбовинтовой двигатель конструкции С.А.Колосова. УГТУ-1 имела мощность 4000л.с., ресурс 100ч, расход топлива 410г/л.с.ч. В 1952г. межведомственная комиссия под председательством Л.В. Гастева по результатам стендовых испытаний в г.Казани рекомендовала УГТУ-1 к установке на опытной торпедный катер проекта 183. Государственные испытания катера показали достаточно надежную работу установки, что позволило комиссии рекомендовать ее к внедрению на большую серию катеров. В акте государственной комиссии отмечено, что газотурбинный двигатель имеет перспективу применения его на быстроходных катерах при условии получения большой мощности в одном агрегате, превосходящей мощность дизелей, при одновременном повышении экономичности и моторесурса, а также получении всережимности его работы и реверса. Практически это была программа развития корабельного газотурбостроения.

Кроме того, испытания УГТУ-1 на корабле выявили несколько серьезных проблем, таких как: использование более тяжелых, чем авиационный керосин, сортов топлива и применение материалов, коррозионно-стойких в среде морского воздуха, и продуктов сгорания топлива, обеспечение ударостойкости и др. Решение всех указанных проблем определило необходимость создания специальных корабельных двигателей.

Для разработки, испытаний и серийного производства корабельных газотурбинных двигателей и агрегатов 1-м ЦНИИ МО было обосновано создание на строящемся “Южном турбинном заводе” в г. Николаеве базы по проектированию и производству корабельных установок. Главным конструктором завода и начальником вновь организованного специального конструкторского бюро по газотурбинным установкам (СКБ ГУ), впоследствии НПП “Машпроект” им. С.Д.Колосова, был утвержден С.Д.Колосов. В дальнейшем конструкторское бюро возглавляли Я.Х.Сорока и В.И.Романов.

Отдельным направлением газотурбостроения в этот период было создание для противолодочных кораблей проектов 204 и 35 газотурбокомпрессоров (ГТК) Д-2 (1960г.) и Д-З (1964г.) мощностью 15000-18000л.с. и ресурсом 2000ч, подающих сжатый воздух от отдельно стоящих компрессоров в гидромотор.

Таким образом, за первые 10лет с момента организации базы корабельного газотурбостроения были созданы двигатели и агрегаты первого поколения как для малых, так и для больших кораблей, при этом мощность агрегатов возросла примерно в 10раз, удельный расход топлива сократился в 1,5раза, ресурс увеличен в десятки раз. Серийный выпуск газотурбинных двигателей и агрегатов позволил создать корабли различных классов. Советский ВМФ по использованию газотурбинных двигателей занял ведущее положение в мире.

Усилия конструкторов, ученых и специалистов ВМФ по созданию корабельных газотурбинных агрегатов первого поколения (М-2, Д-2, М-З) были высоко оценены государством. С.Д.Колосов, Я.Х.Сорока, Б.А.Гребнев, В.В.Ващиленко удостоены Ленинской премии. Впервые в мире газотурбинная установка М-З была поставлена на большой противолодочный корабль проекта61.

В 1965-1966гг. началось создание газотурбинных двигателей и агрегатов второго поколения. Выполненный комплекс работ по улучшению аэродинамики, повышению КПД компрессоров и турбин, снижению потерь в трактах позволили, при практически неизменных параметрах цикла, повысить экономичность (220-240г/л.с.ч.), мощность единичных двигателей (18000-20000ч). Для улучшения маневренности кораблей впервые в мире были решены проблемы газового реверса двигателей. В целях увеличения дальности плавания кораблей созданы газотурбинные установки с применением в агрегатах маршевых двигателей для обеспечения экономичного режима на малых и боевом экономических ходах и основных (ускорительных) двигателей для полных ходов. Агрегат М-5 для корабля проекта 1134Б состоял из одного маршевого ГТД мощностью 6000л.с. и двух основных двигателей по 20000л.с. Для корабля проекта 1135 был создан агрегат М-7 в составе двух маршевых ГТД по 6000л.с. и двух форсажных ГТД по 18000л.с. С целью дальнейшего повышения экономичности в этом агрегате применена межредукторная передача, обеспечивающая работу одним маршевым двигателем на два гребных винта.

Агрегаты М-5 и М-7 не имеют аналогов в мировой практике, в них впервые были внедрены реверсные силовые турбины, двухскоростные редукторы, межредукторная передача, быстродействующие шинно-пневманические муфты и ряд других прогрессивных технических решений. За создание газотурбинных двигателей и агрегатов второго поколения М-5 и М-7 большая группа специалистов судостроительной промышленности и ВМФ в 1974г. была удостоена Государственной премии СССР. Лауреатами премии стали В.И.Романов, А.М.Агранович, Л.У.Батырев, Ф.Ф.Беляев, В.Я.Григоренко, В.В.Гартвиг, В.П.Коновалов, Б.Ю.Тлехас, Е.В.Петров, К.М.Василец, Н.А.Клименко, В.Ф.Урусов.

Период 60-х годов характерен возросшим вниманием к кораблям с динамическими принципами поддержания: на подводных крыльях и воздушной подушке. Специфика указанных кораблей потребовала создания для них специальных ГТД и агрегатов, близких по массогабаритным характеристикам к авиационным, но отвечающих всем требованиям, вытекающим из тяжелых условий применения на быстроходных кораблях. Достигнутый к этому времени уровень корабельного газотурбостроения позволил приступить к решению проблемы создания этого нового класса кораблей. В 1970г. был создан корабль на воздушной подушке проекта 1232 с уникальным агрегатом ДТ-4. Этот агрегат состоит из двух легких, мощностью по 18000л.с., двигателей и трансмиссии, состоящей из 18 планетарных и угловых редукторов восьми типов, обеспечивающей передачу мощности одновременно на четыре нагнетателя и на четыре воздушных винта, а также механическую связь нагнетателей и винтов правого и левого бортов.

Не менее уникальной является созданная в этот же период установка М-10 для кораблей на подводных крыльях проектов 1141 и 1240, состоящая из газотурбинного двигателя мощностью 20000л.с. и угловой редукторной передачи типа “колонка” для привода винтов. Исследования 1-го ЦНИИ МО и ЦНИИ им.академикаА.Н.Крылова показали реальную возможность унификации угловых редукторных передач для трех разных типов кораблей.

Опытная эксплуатация первых кораблей на воздушной подушке и подводных крыльях показала необходимость решения целого ряда специфических вопросов, а именно: обеспечение работоспособности ГТД и стабильности его характеристик в условиях интенсивного забрызгивания морской водой воздухоприемных устройств, в условиях низких и высоких температур наружного воздуха от -40°С до +40°С, обеспечение работоспособности разветвленной трансмиссии при волнении в условиях недостаточно “жесткого” корпуса, повышения надежности, пожаробезопасности и др.

Большой вклад в решение проблемы создания и внедрения двигателей и агрегатов второго поколения внесли специалисты ВМФ и МСП: И.А.Потапочкин, В.И.Николаев, Г.Г.Жаров, И.А.Сорокин, М.А.Богун, Б.В.Захаренко, В.П.Зимин, А.И.Айол, Л.З.Колтун, Г.А.Федяков и другие. Главный конструктор агрегатов для кораблей на воздушной подушке Л.М.Тройнич удостоен Государственной премии.

Таким образом, к началу 70-х годов завершился период создания и освоения газотурбинных двигателей и установок первого и второго поколений, характерный достижением температуры газа 870°С, степени повышения давления 12, удельного расхода топлива 220г/л.с.ч.

В начале 60-х годов на базе большого объема проектных и экспериментальных работ, выполненных ЦКБ под руководством Р.Е.Алексеева и 1-го ЦНИИ МО, была подтверждена возможность создания кораблей-экранопланов (КЭП) достаточно большого водоизмещения. Одной из основных проблем создания КЭП является выбор типа и параметров двигателей главной энергетической установки, т.к. эффективность ГЭУ в значительной степени определяет эффективность корабля-экраноплана. В целом ГЭУ должна обеспечивать как режимы длительного околоэкранного движения с максимальной экономичностью, так и кратковременные стартовые режимы, требующие суммарную мощность в 3-4 раза выше. Энерговооруженность КЭП во много раз превосходит энерговооруженность водоизмещающих кораблей и достигает на взлетных режимах около 600-650 л.с. на одну тонну веса корабля, что приводит к необходимости создания легких двигателей с большой агрегатной мощностью (до 15-17т тяги). В противном случае, на корабле потребуется установить большое число двигателей, что приводит к трудностям их размещения и увеличению аэродинамического сопротивления. Этим условиям отвечали только авиационные двигатели, но потребовался комплекс работ по их конвертации, разработке мероприятий, позволяющих надежно эксплуатировать авиационные двигатели в морских условиях и исключающих взаимное влияние близко расположенных силовых установок. Таким образом, в энергетических установках этих типов кораблей должны гармонично сочетаться весьма противоречивые требования, присущие одновременно энергетическим установкам кораблей и самолетов.

Следует отметить, что указанные проблемы и задачи были решены отечественными специалистами в достаточно короткий срок. Так, уже в 1965г. экраноплан КМ (корабль-макет), получивший на западе название “Каспийский монстр”, был предъявлен на всесторонние испытания. Последующий тщательный анализ показал, что из числа серийных авиационных двигателей наиболее приемлемые характеристики и параметры ГЭУ КЭП имеют двухконтурные турбореактивные двигатели для обеспечения стартовых режимов и турбовинтовые двигатели для обеспечения околоэкранного движения. Для главной энергетической установки первого КЭП “Орленок” были приняты в качестве стартовых двигателей двухконтурные ТРДД НК-8-4 и для околоэкранных режимов -турбовинтовой двигатель НК-12МА. Оба двигатели - конструкции Н.Д. Кузнецова. Последующими работами была решена задача наиболее полного удовлетворения противоречивых требований по экономичности при условии применения единого двигателя в составе ГЭУ КЭП. Так, на КЭП “Лунь” ГЭУ состоит из 8турбореактивных двухконтурных двигателей ПК-87.

Наиболее весомый вклад в исследования, разработку и доводку энергетических установок для кораблей-экранопланов внесли Р.Е.Алексеев, Н.Д.Кузнецов, П.А.Булыгин, А.П.Петров, В.М.Лапшин, Г.С.Перевозкин.

В конце 60-х годов 1-м ЦНИИ МО совместно с Военно-морской академией и НПП “Машпро-ект”, а также ЦНИИ им.академикаА.Н.Крылова выполнен комплекс научно-исследовательских работ по определению путей дальнейшего совершенствования ГТД и установок. Было доказано, что основным направлением улучшения всех основных характеристик является повышение параметров цикла и создание ряда унифицированных (для водоизмещающих кораблей и кораблей с динамическим поддержанием) ГТД третьего поколения. Предусматривалось разработать три унифицированных двигателя мощностью 4000-5000, 10000-12000 и 20000-24000л.с., при этом температура газа должна составлять 1100-1200°С, степень повышения давления 17-22, удельный расход топлива 170-180г/л.с.ч.

Выполнение подобной задачи требовало решения целого ряда сложных инженерно-технических проблем. В частности: создание жаропрочных коррозионно-стойких для морских условий сплавов и покрытий, высокоэффективных систем охлаждения деталей двигателей и в первую очередь рабочих лопаток, разработки методов и средств глубокой очистки воздуха от солей морской воды. НПП “Машпроект”, ЦНИИКМ “Прометей” совместно с институтами АНУССР в начале 70-х годов был создан коррозионно-стойкий жаропрочный сплав, послуживший основой для получения сплавов с повышенными прочностными характеристиками. Созданы уникальные установки и отработана технология нанесения покрытий, в частности, электронно-лучевое напыление четырехкомпонентного коррозионно-стойкого покрытия и теплозащитного керамического. Внедрены электронно-лучевая сварка и пайка сплавов, применяемых в двигателях. Работа по созданию материалов и покрытий для газотурбинных двигателей удостоена Государственной премии СССР. Лауреатами премии стали В.И.Романов, О.Г.Жирицкий, А.М.Симонов, О.С.Костырко, Н.И.Матюшенко, Г.Ф.Мяльница и другие.

Одновременно выполнялся большой комплекс работ по совершенствованию систем охлаждения лопаток. Была отработана и внедрена “вихревая” система охлаждения рабочих лопаток, обеспечивающая перепад температур между газом и металлом более 200°С.

Для разработки эффективных средств защиты двигателей от солей морской воды были созданы измерительные средства и начаты систематические измерения водности воздуха, поступающего в ГТД, на всех классах кораблей. Полученная информации послужила основой для разработки требований к чистоте воздуха и средств очистки. Первоначально требования к очистке воздуха от солей морской воды были направлены на обеспечение стабильности характеристик двигателей и необходимого времени непрерывной работы между промывками проточной части. Выполнение этих требований достигалось применением в основном одноступенчатых жалюзийных сепараторов, улавливающих крупнодисперсную влагу. Однако для двигателей третьего поколения, имевших температуру более 1000°С, необходимо было ужесточить требования по солесодержанию до 0,07-0,03мг соли на килограмм воздуха на входе в двигатель. При этих условиях и при использовании указанных сплавов и покрытий в значительной мере исключались высокотемпературная и низкотемпературная горячая коррозия лопаток турбин и обеспечивался ресурс. Столь высокие требования могли быть обеспечены путем применения специальных высокоэффективных многоступенчатых устройств с использованием не только жалюзийных сепараторов, но и фильтров, и вихревых сепараторов. Такие системы были созданы и показали высокую эффективность в период испытаний и последующей эксплуатации кораблей. Особый вклад в разработку и внедрение систем очистки воздуха внесли И.Г.Утянский, Ю.К.Пятанов, Г.П.Панасюк, В.И.Голованов и другие.

В 1981-1982гг. завершилось создание первых двух унифицированных ГТД третьего поколения М-70 мощностью 10000-12000л.с. и М-75 мощностью 5000л.с. Экономичность двигателей была повышена за счет увеличения температуры газа перед турбиной, степени сжатия в компрессоре, улучшения аэродинамики и повышения КПД компрессоров и турбин, удельный расход топлива составил 170-190г/л.с.ч. Удельная масса ГТД составила 0,2-0,3кг/л.с. за счет применения высоконагруженных одноступенчатых турбин, двухопорного ротора турбокомпрессора высокого давления (вместо трехопорного), противоточной камеры сгорания, новых технологий и т.д. Двигатель М-70 при практически одинаковой мощности с ГТД М-62 имел на 15% большую экономичность, в 4 раза меньшую массу и в 1,5 раза меньшие габариты.

Серийный выпуск М-70 и М-75 обеспечил строительство новых кораблей проектов 1206, 1209, 12061, 12322, 1241.1, 11451. 1164 и др.

Наиболее весомый вклад в создание ГТД третьего поколения внесли главные конструкторы В.И.Игнатенко, А.М.Агранович, Л.М.Тройнич, специалисты 1-го ЦНИИМО и ВМФ В.С.Князев, Н.А.Клименко, В.М.Лапшин, С.П.Кактыш, И.А.Сорокин, В.Н.Бараш, Л.В.Гандзиошин, сотрудник ЦНИИ им.академикаА.Н.Крылова В.В.Гартвиг.

Особым направлением повышения экономичности ГТД является утилизация тепла уходящих газов. Исследования, выполненные в 1-м ЦНИИ МО совместно с ЦНИИим.академикаА.Н.Крылова и НПП “Машпроект”, показали, что применение утилизации тепла отработавших в ГТД газов в паровом теплоутилизационном контуре (ТУК) позволяет при заданной мощности установки увеличить ее экономичность на 20-30%. Первый опыт применения ТУК был получен при создании агрегата Т-1 для корабля комплексного снабжения “Березина”. Эксплуатация корабля показала, что в такой установке сохраняются все преимущества газотурбинной установки, однако резко увеличиваются масса и габариты из-за неудовлетворительных массогабаритных характеристик утилизационного котла. Поэтому в дальнейшем усилия были направлены на отработку высокоэффективных оребренных поверхностей нагрева, что позволило в 1980г. впервые в мире создать компактную, высокоэкономичную установку для боевого корабля проекта 1164. Утилизация тепла в паровом контуре была применена и в газотурбогенераторе ГТГ-1250У. При этом пар использовался на бытовые нужды корабля. Непосредственное участие в обосновании эффективности применения ТУК, отработке на стендах и внедрении на кораблях принимали специалисты 1-го ЦНИИМО и ЦНИИим.академикаА.Н.Крылова.

Одновременно с началом создания ГТД первого поколения на заводе “Экономайзер” было организованно новое для корабельной энергетики направление по созданию газотурбогенераторов (ГТГ) для электроэнергетических систем кораблей среднего и большого водоизмещения.

В 1-м ЦНИИ МО на основе исследований динамических характеристик была обоснована целесообразность применения для газотурбогенераторов блокированных одновальных схем, когда одна и та же турбина приводит во вращение и компрессор и, через редуктор, генератор. Несмотря на то, что эта рекомендация шла в разрез с устоявшимся мнением и опытом ряда зарубежных фирм, время подтвердило ее справедливость. Ныне все корабельные ГТГ в нашей стране и за рубежом создаются по одновальной схеме.

Первый газотурбогенератор ГТУ-З мощностью 300кВт был установлен для проверки в натуральных условиях на корабле проекта 41. Результаты испытаний позволили рекомендовать газотурбогенераторы для установки на надводные корабли. В 1966г. начат серийный выпуск ГТУ-6А. В дальнейшем в результате большого объема опытно-конструкторских работ, с учетом опыта эксплуатации, были созданы унифицированные ГТГ мощностью 1250, 1500, 1600кВт. ГТГ отличаются простотой конструкции, ресурс до капитального ремонта составляет 50000ч, качество электроэнергии соответствует самым жестким требованиям корабельного оружия. Унифицированными ГТГ оснащены корабли проектов 61, 1134Б, 1155, 1144, 1164. Наиболее весомый вклад в создание ГТГ внесли главные конструкторы С.Я.Ошеров, В.П.Борисов, Г.М.Левин, Б.Г.Викторов, Л.М.Ронкин, а также специалисты ВМФ.

Таким образом, к концу 80-х - началу 90-х годов были созданы три поколения газотурбинных двигателей и установок, что обеспечило строительство более 30 проектов кораблей от малых КВП “Скат” массой 27 т до ударных крейсеров типа “Слава” водоизмещением 10000 т.

В 1934-1941гг. в СССР велись работы по созданию корабельного ГТД ТВСО, но Англия первой установила авианосный ГТД на катер в 1947г., а СССР - в 1952г. Однако Англия и США отстали от Советского Союза: с началом серийного производства кораблей с ГТУ; с постройкой кораблей полностью с газотурбинными установками (“Комсомолец Украины” с установкой М-З принят в 1962г., в Англии фрегат “Амазон” проекта 21 - в 1974г., в США только в 1975г. сдан первый корабль типа “Спрюенс” проекта 00-963); с отработкой и внедрением газового реверса (в СССР внедрен в 1971-1972гг., в США работы окончились безрезультатно); с созданием установок с утилизацией тепла в паровом цикле для боевых кораблей (в СССР установка М-21 принята в 1980г., в США программа “RASER” для кораблей типа “Arligh Durke” окончилась испытанием трех образцов).

Таким образом, СССР первым начал создавать серийные корабли с газотурбинными установками и к началу 90-х годов превосходил США по количеству кораблей и суммарной мощности ГТУ.

Высокое качество корабельных ГТД позволило широко использовать их в народном хозяйстве на газоперекачивающих станциях, электростанциях, судах морского флота, компенсировав в большой степени затраты государства на научное обеспечение и их создание.