УДК 629.3.03:62-8:621.438.2

К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

[1]Андреенков А.А., [1]Дементьев А.А.

[1] ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,

Москва, e-mail: andreyandre@yandex.ru, w1941w@yandex.ru

Энерговооруженность является важным показателем технического уровня современных наземных транспортно-технологических систем – для специальных машин особенно. Во многом благодаря непосредственному удобству выработки мощности на борту динамического объекта тепловыми двигателями, последние являются основным типом энергетических установок. Доминирование поршневых двигателей внутреннего сгорания в условиях постоянного ужесточения показателей и совершенствования технических параметров не может не сопровождаться обращением внимания разработчиков техники на двигатели иных конструкций. В этой связи практический интерес представляют научно-технические работы по созданию энергетических установок с тепловыми двигателями, способными конкурировать с поршневыми двигателями внутреннего сгорания. Так, принцип действия свободной силовой газовой турбины, реализованный в авиационных газотурбинных двигателях, находится в поле зрения разработчиков автотракторных двигателей продолжительное время, с плодотворными периодами работ по тематике автомобильных газотурбинных двигателей. Выполненные исследования, и в стране и за рубежом, были ознаменованы большим теоретическим и практическим опытом, реализованным в разработках и обобщенным в изданиях; были выявлены как выгодные преимущества автомобильных газотурбинных двигателей, так и установлены неотложные мероприятия и перспективные направления их совершенствования. В связи с крупной юбилейной датой начала работ по отечественным автомобильным газотурбинным двигателям приводится исторический экскурс с анализом тенденций и разработок.

Ключевые слова: автотранспорт, поршневой двигатель, газотурбинный двигатель, микротурбина

TO THE SIXTIETH ANNIVERSARY OF THE DOMESTIC AUTOMOTIVE GAS TURBINE ENGINE

[1]Andreyenkov A.A., [1]Dementyev A.A.

[1] *Moscow Polytechnic University, Moscow, e-mail: andreyandre@yandex.ru, w1941w@yandex.ru*

The energy-armament is an important indicator of the technical level of the modern ground transportation and technological systems, particularly for special machines. The heat engines are main type of power installations for the mobile objects, due to the direct convenience of energy production on the board. In conditions of continuous toughening of indicators and improvement of technical parameters of dominating piston internal combustion engines the developers have been paying attention to other constructions engines. There is practical interest in scientific and technical work to create the heat engine powerplants, which capable of competing with piston internal-combustion engines. Long time implemented in aviation the gas-turbine engines power turbine operation principle has been existing in the field of the automotive engines developers view, there were productive periods of work on the subject of automotive gas-turbine engine. In the course of performed researches, both at home and abroad, the rich theoretical and practical experience were attained, implemented in the developments and generalized in the publications; also the advantageous of automotive gas turbine engines were identified, the urgent measures and the promising directions for their improvement were established. Due to the large anniversary date of the beginning of works on domestic automobile gas-turbine engines the historical excursion is presented in the article with the analysis of tendencies and developments.

Key words: automotive transport, piston engine, gas-turbine engine, microturbine

Термин «вооружение» в современном контексте обоснованно интегрирует в себе понятие «энерговооруженность», важность которого в эпоху «тотальной машинерии» вполне осознали еще в Первую мировую войну, а в последующем, при подготовке и в ходе Второй, транспонировали в лаконичный тезис о современной войне, как о «войне моторов».

Актуальность последнего сохраняется и в настоящем, когда человечество, грезя о перспективах перехода к постиндустриальному обществу, столкнулось с информационными, кибернетическими, экономическими, финансовыми и политическими войнами и с методами их современного ведения. Для «боевых действий» такого рода, как легко заметить, обязательным условием является невозможность осуществления какого-либо масштабного открытого силового проникновения на территорию противника – имеют место между странами (блоками, союзами и т.п.), способными сохранить и поддержать посредством высокоразвитого вооружения свой статус «паритет-оппонента». Таким образом, интенсивные действия, долгосрочного характера, предпринимаются и в прилегающих регионах, и в зонах интересов, и среди союзных и дружественных субъектов с учетом нюансов «национального колорита» и политической конъюнктуры, сообразно общей стратегии истощения ресурсов и ослабления «статуса». И в этой связи представляется сомнительным, что научно-техническое развитие раз и навсегда смогло отменить принцип «стенка на стенку», «коктейли Молотова» или танковые дуэли, как бы те не ушли в историю отдельных высокоразвитых стран.

Превосходство в энерговооруженности средств, военных и гражданских, транспортных грузовых или пассажирских, всегда было и будет приоритетным направлением – это «волновало и волнует умы», поскольку, обусловливая скорость и мобильность, создает абсолютное и подчас решающее преимущество во времени, а также позволяет наверстать упущенное и перехватить инициативу при ответных действиях.

Поэтому представилось целесообразным посредством исторического экскурса обратить внимание на объективные критерии и аспекты, обосновывающие выбор для наземного средства газотурбинной энергетической установки.

Следует начать с эпохи авторалли и заездов на рекорды скорости. По прошествии более столетия с начала «погони за жар-птицей» неслыханные в свое время свершения предстают несколько анекдотично: участникам соревнования в 1894 году по маршруту Париж–Руан–Париж предписывалась средняя скорость 16-17 километров в час! Но на следующий год, дерзнув снять ограничение скорости на гонках Париж–Бордо–Париж, «порогом безумия» представлялись 30 километров в час! – Что и озвучил победитель гонок Эмиль Левассор, показав на 1150 километрах дистанции среднюю скорость 24,42 километра в час.

Но, так или иначе, происходящее было бесспорным стимулом «мировой» инженерной мысли: постановка инженерной задачи, поиск решения и обобщение результатов, распространение практического опыта на серийные модели – все послужило развитию автомобильной техники и автомобильной промышленности, способствуя техническому прогрессу. А некоторые имена – зарубежные, увы! – и сейчас на виду и на слуху: заслуженно

красуются на логотипах мировых брендов – достойная реклама фирмы (торговой марки) и залог ее прочной репутации. Имена других, чьи достижения явились не менее революционными и новаторскими, повсеместно внедрялись и подхватывались массами, став «классикой», сохранившей актуальность и в настоящем, как-то померкли с течением лет – этих талантливейших инженеров-первопроходцев, пионеров автомобилестроения помнят в очень узком кругу специалистов...

Наземное транспортное средство – сложное, «интегральное» техническое устройство, в котором существует взаимная связь между его характеристиками и характеристикой энергетической установки. В плане долгосрочности и удобства получения механической энергии на борту динамического объекта, «пальма первенства» массово завоевана тепловыми двигателями за более чем два с половиной века их развития [11]. А поршневые двигатели внутреннего сгорания, в первую очередь турбодизели удерживают позиции в этом качестве, несмотря на рыночное продвижение «альтернативных» по поиску ниш и их заполнению [12].

Из истории двигателестроения известно, сохранение доминирующих позиций в условиях ужесточения экологических норм и конкуренции, как между производителями, так и со стороны тепловых двигателей других конструкций, требует постоянной работы по повышению технических параметров, характеристик и показателей, которая начинается еще на этапе термодинамического анализа обратимого цикла [10]. Но технические решения, предлагаемые для поршневых двигателей, имеют высокую сложность и стоимость [8].

Поэтому к тепловым двигателям иных схем обращаются, как правило, когда неоспоримые преимущества «склоняют чашу весов» в их пользу, перевесив или нивелировав существующие недостатки [2].

Общеизвестно, один из первых технических способов преобразования энергии потока – гидроэнергии или энергии ветра – в механическую работу, имеющим тысячелетнюю историю, является выработка механической энергии с помощью гидротурбины – водяной или воздушной (рабочее тело в обоих случаях несжимаемое), что получило теоретические основы расчета и профилирования лишь в середине восемнадцатого века благодаря гению Леонарда Эйлера. Здесь реализуется весьма благоприятная характеристики крутящего момента, принципиальная для свободной силовой турбины, механически связанной с полезной нагрузкой: максимальный крутящий момент при заторможенном положении ротора, а с ростом оборотов турбины момент уменьшается практически линейно. Применительно к двигателю, при данной характеристике отношение максимального крутящего момента к значению на номинальном режиме – коэффициент приспособляемости – оказывается весьма существенным, что благоприятно для наземного транспортного средства.

Развитие паровых машин – поршневых двигателей внешнего сгорания –

ознаменовалось их использованием в качестве двигателей транспортных средств. А в стремлении повысить агрегатную мощность и скорость, обратили внимание на паротурбинные установки, которое, по мере их совершенствования, все более усиливалось.

Так, если в конце девятнадцатого века паротурбинные установки на гражданских морских судах (винтовая характеристика) считались неоправданным «расточительством»: конструкции тех лет имели большой расход топлива сообразно развитию технического уровня и состоянию материаловедения, которые не позволяли реализовать высокие температуры цикла и получить паровую турбину высокой эффективности, – то к исходу первого десятилетия двадцатого века ставку на паровые турбины делали не только в военных ведомствах: лучшие коммерческие пассажирские лайнеры стали турбоходами.

Но именно покорение воздуха и господство в нем заставили, как ничто иное, работать инженерную мысль в направлении разработки новых конструкций тепловых двигателей для энергоемких летательных аппаратов, с аэродинамическим принципом подъемной силы.

Тридцатые годы прошлого века стали началом отсчета эпохи турбореактивной авиации: в 1930 году английский инженер-конструктор Фрэнк Уиттл, «отец турбореактивного авиационного двигателя», запатентовал свое детище, а на пять лет позже свой – немецкий инженер-конструктор Ханс-Иоахим Пабст фон Охайн.

Примечательно, немецкий реактивный самолет поднялся в небо почти на два года раньше британского, 27 августа 1939 года (и на год раньше итальянского – в Италии к турбореактивной тяге был свой интерес). Казалось бы, успехи – «на лицо», но... Положение дел в нацистской Германии в общем раскрывают слова Юлиана Семенова: «было все: четкая слаженность звеньев партийного, военного и государственного аппарата, прекрасно поставленная агитация, демагогически отточенная пропаганда, молодежные и женские объединения, физкультурные общества и буффонадные спортивные празднества, красивые парады и отрепетированные народные волеизъявления, все это было. Не было только одного: не было взаимного доверия». В таких условиях, в любой сфере деятельности, первостепенным и первоочередным становилось защитить и выгородить себя любыми средствами: и сбор компромата на оппонентов, и стремление перестраховаться и заручиться мнением высоких покровителей – все это, накаляя нервозность, не способствовало здоровой конкуренции, что не могло не сказаться на ходе и результативности работ. Так и обозначившееся лидерство оказалось весьма непродолжительным: продемонстрированное партийным бонзам Третьего рейха и «руководству авиации» не получило «непосредственного одобрения» и, следовательно, поддержки, что отразилось на финансировании...

Представляется, что успеху британцев способствовало не только превосходство параметров двигателей фирмы Уиттла – последние в техническом плане оказались лучше: в

процессе совершенствования двигателя тягу увеличили повышением рабочих температур и оборотов турбомашин. (Приемлемый уровень напряжений обеспечивался благодаря выбору используемого материала и конструктивным мероприятиям, ставшим хрестоматийными: высокотемпературный алюминиевый сплав центробежного компрессора, охлаждение диска турбины [6], [7].) Когда стало очевидным, что накопившиеся задачи по перспективным двигателям не по силам отдельной фирме, даже широко сотрудничающей с другими, а требуют централизованного подхода двигателестроительных гигантов, правительство Великобритании волевым решением национализировало Power Jets Ltd., подняв решение накопившихся проблем на принципиально иной технический уровень.

Вполне закономерно, что, учитывая накопленный опыт, в Великобритании с середины 40-х годов в газотурбинной тематике открыли работы по турбовальным газотурбинным двигателям (со свободной силовой турбиной); изначально разработчики позиционировали двухвальные газотурбинные двигатели в качестве вспомогательных силовых установок или многоцелевых двигателей, что также позволяет применить их на автомобилях [14]. Успеху способствовала «кооперация» с промышленно развитыми странами-союзниками.

Квинтэссенцией сотрудничества Blackburn Aircraft Ltd. (Великобритания) и Turbomeca (Франция) стал полет первого в мире газотурбинного вертолета в 1955 году и начало серийного выпуска модели Aérospatiale Allouette II с газотурбинным двигателем Turboméca Artouste I в следующем. По 1975 год этих многоцелевых вертолетов, получивших высокую оценку, было выпущено, включая – с модификациями двигателя, более 1300 штук [9].

Представляется, что именно технический прорыв по созданию вертолетных двигателей и приобретший систему практический опыт их разработки стали отправной точкой для массового вовлечения в тематику газотурбинных двигателей для наземных транспортно-технологических систем. С середины 50-х, в течение почти двух десятилетий, почти все крупнейшие мировые двигателе- и автомобилестроители, так или иначе, участвовали в работах по созданию автомобильных газотурбинных двигателей (не считая множества отдельных конструкторов-энтузиастов).

Отечественная автомобильная промышленность уделяла весьма серьезное внимание газотурбинным двигателям, но – с некоторым запаздыванием от западных разработчиков.

В 1958 г. газотурбинный двигатель ТурбоНАМИ-053 был установлен (вместо дизеля ЯАЗ-206 мощностью 180 л.с.) на шасси междугородного автобуса ЗИС-127 – это первая отечественная экспериментальная газотурбинная машина, ведущий конструктор М.А. Коссов. Мощность двигателя составила 350 л.с. при 17000 об/мин тяговой турбины, а масса (сухой вес 550 кг) была вдвое меньше, чем у используемого дизеля [13, с. 134].

Двигатель ТурбоНАМИ-053, не имевший теплообменника, являлся первым в стране

экспериментальным отечественным автомобильным газотурбинным двигателем. «Этот двигатель не предполагалось развивать в качестве промышленного образца, и его назначение заключалось, в обеспечении возможности изучения автомобильной силовой газотурбинной установки при максимальном приближении к эксплуатационным условиям» [5, с. 286].

Целью работ являлось получение объективной информации при проведении всесторонних ходовых испытаний. Поэтому в салоне автобуса было оставлено только десять сидений, остальное пространство занимали приборы и оборудование. Снаряженная масса автобуса 13000 кг, а полученная максимальная скорость составила 130 км/час [5, с. 287]. Собственно лимитирующим фактором являлись шины, не рассчитанные на такой режим движения. Коробка передач, разработанная на ЗиЛе, имела передаточное число первой передачи 3,27, второй – 1,15, заднего хода – 2,75. Система электровоздушного управления переключала передачи при повороте рукоятки на щитке приборов водителя. Разгон автобуса с места до 50 км/час занимал 14 секунд, а до 100 км/час – 85 секунд.

Общий пробег 15500 км при работе двигателя без демонтажа с автобуса и ремонта в течение 260 час. Двигатель легко запускался при низкой температуре окружающего воздуха. Температура рабочих газов перед турбиной турбокомпрессора на рабочем режиме 850º С (видимо, это – компромиссное решение, поскольку уже были зарубежные разработки со значениями более 900º С). После более суток простоя при температуре -20º С запуск занимал 20-30 секунд. Двигатель работал на любом топливе – автомобильном бензине, керосине, разных сортах дизельного топлива.

Таким образом, в ходе испытаний были непосредственно зафиксированы основные преимущества, в общем характерные для микротурбин автотракторного назначения [1]. Но поскольку данный двигатель изначально не проектировался как собственно автомобильный, то было указано на неприемлемо высокий – авиационный – уровень расхода топлива, на присутствие высокочастотных составляющих в шуме всасывания воздуха компрессором.

Видимо, опыт «шведской модели»: в придерживающейся нейтралитета, высокоразвитой, со стабильным экономическим приростом, но имеющей сложные климатические и рельефные условия Швеции в 1966 году на вооружение стали принимать основные боевые танки, оснащенные комбинированными силовыми установками с газотурбинными двигателями – не могли принять во внимание. – По вопросу повышения энерговооруженности бронетанковых единиц, а также улучшения боевых и эксплуатационных характеристик в июле 1967 года было проведено совещание у секретаря ЦК партии Д.Ф. Устинова и принято решение о разработке газотурбинной силовой установки для танка Т-64. Концепция отразилась в совместном постановлении руководящих органов страны от 16 апреля 1968 года о проведении опытно-конструкторских работ по

газотурбинному двигателю мощностью 1000 л.с. [3]. Как обсуждалось, на вооружение страны впоследствии должна быть принята только одна разработанная модель газотурбинного танка и начат ее выпуск.

В 1970 году под руководством главного конструктора Николая Сергеевича Попова в КБ-3 Кировского завода на основе газотурбинного варианта танка Т-64А с двигателем ГТД-1000Т, разработанным ЛНПО имени В.Я. Климова, был выполнен в металле опытный «объект 219» [4]. По завершении необходимых этапов разработки, 6 августа 1976 года он был принят на вооружение под индексом Т-80 – это первый в мире серийный танк с газотурбинным двигателем (трехвальная схема без регенерации), неотъемлемым гарантом общепризнанных, высоких динамических качеств машины.

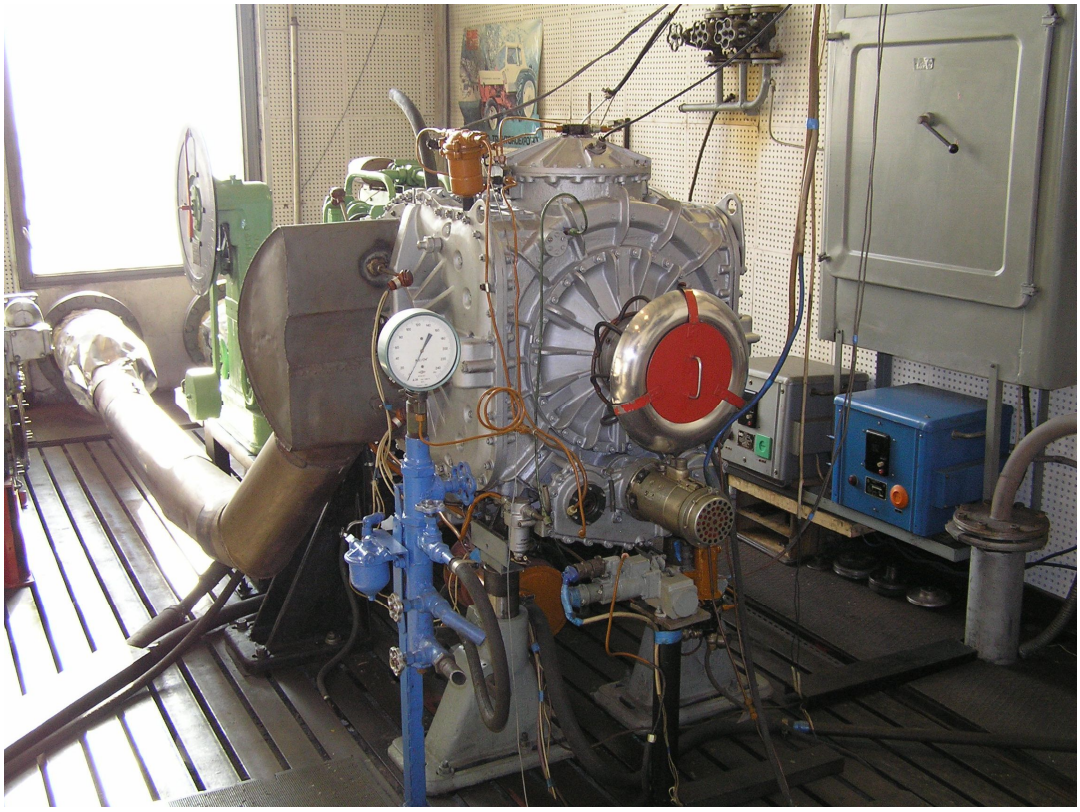

Рисунок 1 – Регенеративный автомобильный газотурбинный двигатель на испытательном стенде в лабораторном боксе Московского Политеха.

Несколько позже приступили к газотурбинной тематике на таких гигантах страны, как Ярославский моторный завод и Горьковский автомобильный завод. На Горьковском автозаводе специальное конструкторское бюро под руководством Вениамина Михайловича Костюкова активно занималось (до середины 90-х годов) разработкой автомобильных газотурбинных двигателей (рис. 1). В созданных по двухвальной схеме образцах газотурбинных двигателей семейства ГАЗ, мощностью от 380 до 600 л.с., чтобы обеспечить расход топлива на уровне характеристик автотракторных двигателей, использовались регулируемый сопловой аппарат тяговой турбины и дисковые регенераторы (или

регенератор).

По настоящее время образцы этого семейства автомобильных газотурбинных двигателей остаются непревзойденными отечественными разработками, представляя собой базу для дальнейшего продвижения работ по данному направлению.

Список литературы

1. Андреенков А.А., Дементьев А.А. Аспекты использования на автотракторной технике энергоустановок с поршневыми и газотурбинными двигателям // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2018. - №3. - С. 9-13.

2. Андреенков А.А., Дементьев А.А., Костюков А.В. Поршневые и газотурбинные энергетические установки для наземных транспортно-технологических средств. - М.: Московский Политех, 2017. - 80 с.

3. Князев М. История создания [Танк Т-80] // Русские танки. - 2010. - №3. - С. 4-7.

4. Князев М. Танк Т-80Б // Русские танки. - 2010. - №3. - С. 8-9.

5. Коссов М.А. Автомобильные газотурбинные двигатели. - М.: Машиностроение, 1964. - 364 с.

6. Костюков А.В., Андреенков А.А. Расчет на прочность дисков малоразмерных турбомашин. - М.: Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2012. - 88 с.

7. Костюков А.В., Дементьев А.А., Андреенков А.А. Осевые турбины транспортных ГТД. - М.: Московский Политех, 2016. - 56 с.

8. Скибин В.А., Солонин В.И., Темис Ю.М. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Самолеты и вертолеты. Том 4-21. Авиационные двигатели. Книга 3. - М.: Машиностроение, 2010. - 720 с.

9. Хрипач Н.А., Лежнев Л.Ю., Шустров Ф.А. и др. Системы повышения эффективности работы автомобильных энергоустановок. - Ставрополь: Логос, 2017. - 38 с.

10. Шатров М.Г., Иванов И.Е., Пришвин С.А. и др. Теплотехника. - М.: Издательский центр «Академия», 2011. - 288 с.

11. Шатров М.Г., Морозов К.А., Алексеев И.В. Двигатели автотракторной техники. - М.: Кнорус, 2016. - 400 с.

12. Шатров М.Г., Морозов К.А., Алексеев И.В. и др. Автомобильные двигатели. - М.: издательский центр «Академия», 2010. - 464 с.

13. Шугуров Л.М. Автомобили России и СССР. Часть 2. - М.: ИЛБИ, 1994. - 160 с.

14. Чумаков Ю.А. Теория и расчет транспортных газотурбинных двигателей. - М.: ИНФРА-М; Форум, 2012. - 448 с.