

## 115 лет со дня рождения Владимира Васильевича Уварова, 65 лет со дня образования кафедры газовых турбин в МГТУ им. Н.Э. Баумана

# 09, сентябрь 2014

Иванов В. Л.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Россия, МГТУ им. Баумана

\*[serg7573@pochta.ru](mailto:serg7573@pochta.ru)

Имя Владимира Васильевича Уварова, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, профессора, первого заведующего кафедры газовых турбин МГТУ им. Н.Э. Баумана хорошо известно газотурбинистам мира. Его вклад в теорию и практику авиационного, транспортного и стационарного газотурбостроения во многом определил современный облик и тенденции развития газотурбинных двигателей и газотурбинных установок различного назначения. Его энергия, знания, целеустремленность, подвижничество и творческий труд явились той искрой, из которой родилась одна из авторитетнейших школ отечественного газотурбостроения – школа газотурбинистов-бауманцев.

**Ключевые слова:** газотурбостроение, высокотемпературный турбовинтовой авиационный двигатель, Уваров В.В., авиационная газотурбинная установка

Владимир Васильевич Уваров родился 4 августа 1899 года в Тамбове в семье работника железной дороги. После окончания тамбовского реального училища в 1917 году Владимир Васильевич становится студентом Высшего технического училища (ныне Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана). Для целеустремленного студента лучшей научной школы трудно было придумать. Здесь учили не только тому, как создать современную инженерную конструкцию, а главное тому, как разработать и создать конструкцию будущего, облика которой еще зачастую не существует. «Техническая дальnozоркость и чуткость преподавательского персонала нашего Училища к новому, прогрессивному замечалась даже нами, студентами» - написал В.В. Уваров в одной из своих статей.

Не случайно педагогический состав и выпускники МВТУ(МГТУ) сыграли лидирующую роль в развитии многих отраслей отечественной и мировой техники. Так авиационно-аэродинамическое направление, развиваемое профессором Н.Е. Жуковским, объединило целую плеяду талантливых ученых и молодых выпускников Училища, для которых характерным было тесное сочетание теоретических разработок и их практическая реализация. Например, в 1918 году принимается решение Совета обороны молодой советской

республики о постройке партии аэросаней для Красной армии. По предложению Н.Е. Жуковского для реализации этого решения в Училище создается специальная комиссия под руководством профессора Н.Р. Брилинга, в состав которой входят выпускники-ученики Н.Е. Жуковского А.Н. Туполев, Б.С. Стечкин, А.А. Архангельский, А.А. Микулин. Аэросани были сконструированы, построены и сыграли большую роль в оборонных мероприятиях и при освоении северных территорий. Профессор И.И. Сидорин в 1920 году явился инициатором разработки и организатором производства отечественного алюминия для авиации, заместителем председателя государственной комиссии по производству цельнометаллических самолетов.



**Рис.1.** Владимир Васильевич Уваров.

На базе воздухоплавательного кружка, организованного Н.Е. Жуковским в Училище создается авиационное отделение, где с 1921 года вводится курс теории авиационных (тогда поршневых) двигателей. С 1923 года по инициативе профессора Е.М. Ошуркова в Училище вводится курс лекций по паровым турбинам, хотя исследованиями по данной теме в Училище начали заниматься значительно раньше. Еще в 1907 году профессор Н.Р. Брилинг проводил аэродинамические испытания турбинных лопаток и определил коэффициент скорости активных лопаток паровой турбины. Позднее он сыграл важную роль в формировании интереса студентов (в числе которых был и В.В. Уваров) к турбинам, вовлекая их в научные исследования по турбинам. Спустя много лет Владимир Васильевич

вспоминал: «Доклады наших профессоров мы посещали охотно, и когда однажды профессор Л.К. Рамзин рассказал о газовой турбине Г. Хольцварта, это произвело сильное впечатление, мы ничего подобного ещё не слышали...»

В 1924 году В.В. Уваров с отличием окончил Училище и был оставлен на преподавательскую работу. Ему было поручено чтение теплогидравлической части курса паровых турбин. Кроме того В.В. Уварову было предложено сотрудничество в автомобильной лаборатории НАМИ, где Н.Р. Брилинг был директором. Там В.В. Уварову поручают подготовить доклад по газовым турбинам для заседания коллегии НАМИ. По результатам обсуждения коллегия принимает решение об организации в Училище лаборатории НАМИ по газовым турбинам, работающим по циклу  $p=const$ . Под общим руководством Н.Р. Брилинга и практическим В.В. Уварова небольшая группа молодых преподавателей-выпускников Училища в период с 1925 по 1929 год выполняет расчетно-теоретические исследования газотурбинных циклов и экспериментальное исследование теплообмена при истечении высокотемпературного газа из охлаждаемого соплового канала газовой турбины. Эти годы явились началом творческого пути Владимира Васильевича как педагога, ученого, конструктора, изобретателя, экспериментатора, научного фантаста и одновременно реалиста. В 1929 году В.В. Уваров выходит на контакт с авиационной промышленностью.

Период 1930-1940 годов на мировой арене характеризовался подготовкой ко Второй мировой войне, в которой одна из важнейших ролей отводилась авиации. К этому времени самолеты были оснащены хорошо освоенными, высокоэффективными поршневыми двигателями, мощность которых доходила до 1 000...1 800 кВт. При таких двигателях скорость бомбардировщика составляла 400...450 км/ч, а скорость истребителя примерно на 50 км/ч больше. При высотности около 5 км самолет представлял собой прекрасную цель для зенитной артиллерии. Для повышения скоростных и высотных характеристик требовался существенно более мощный двигатель, но при этом с низкой удельной массой, что для поршневого двигателя (рост мощности осуществлялся увеличением числа цилиндров) казалось мало вероятным. По мысли В.В. Уварова проблему высотности и скоростных качеств самолета можно решить на основе газотурбинного двигателя, удельная масса которого будет намного меньшей при существенно большей мощности.

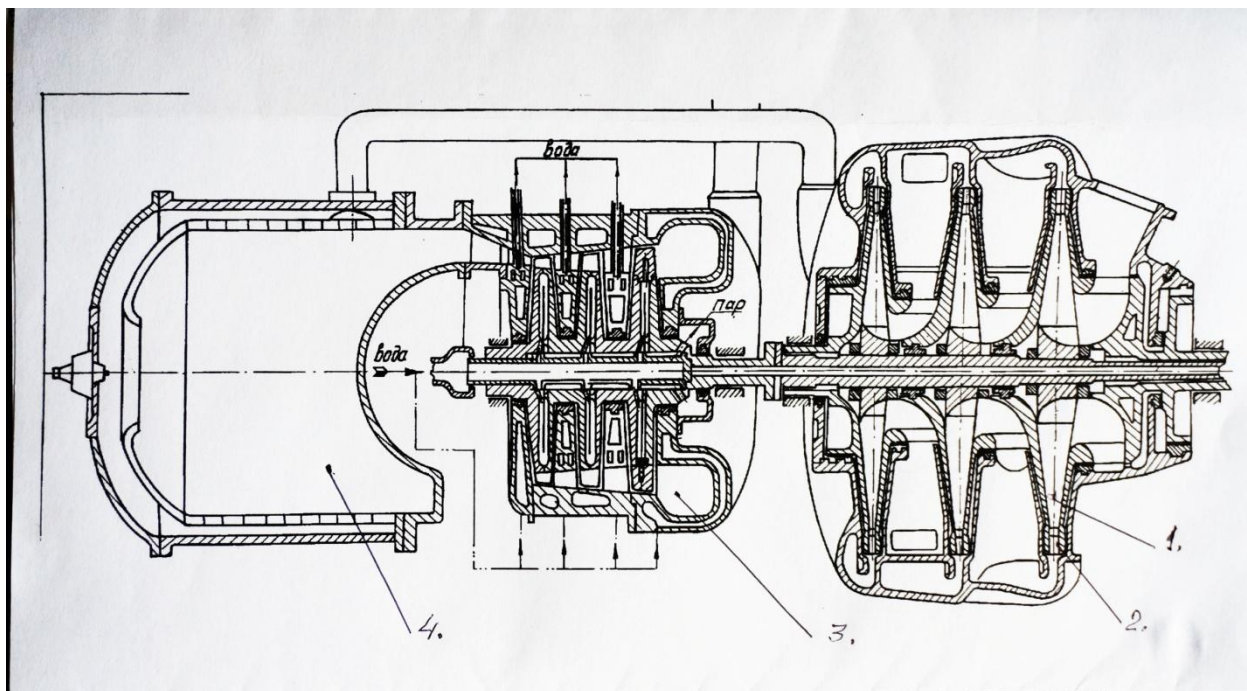
В связи с расширением фронта работ в 1930 году исследования бауманцев переносятся во Всесоюзный теплотехнический институт (ВТИ), где под руководством В.В. Уварова сначала создается «Газовая группа», а в 1933 году на ее базе объединенная лаборатория МВТУ-ВТИ «Газотурбинные двигатели».

Одновременно В.В. Уваров продолжает педагогическую работу в МВТУ, где с 1931 года сначала в качестве факультативного, а затем обязательного он читает курс «Газовые турбины». Одновременно его приглашают преподавать такой же курс в Военно-воздушной академии РККА (впоследствии Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского). Среди студентов Училища и слушателей академии формируется группа энтузиастов газотурбинного двигателя, которая начинает пополнять первоначальный небольшо-

численный состав газовой группы. Их учеба сочетается с практической работой в лаборатории, в ходе которой выполняются поисковые теоретические расчеты, пионерские проектные разработки, выполняются эксперименты. Дипломные проекты носят конкретный характер. Так В.Х. Абианц, в будущем доктор наук, известный ученый–газотурбинист, проектирует газовую турбину с винтом (так первоначально был назван турбовинтовой двигатель) для самолета «Максим Горький». Предлагаемая В.В. Уваровым тематика дипломных проектов охватывала тот круг проблем, над которым работала лаборатория. В проектах рассматривались двигатели для самолетов разной высотности, скорости, грузоподъемности. Но характерным для всех была высокая температура газа перед турбиной и турбина с охлаждаемыми лопатками. Владимир Васильевич много часов проводил с дипломантами. В ходе выполнения любого из проектов решались актуальные теоретические и конструкторские задачи, результаты которых шли в копилку еще не существующей теории расчета и проектирования газотурбинного авиационного двигателя. Молодые инженеры - бывшие дипломники В.В. Уварова пополняют коллектив лаборатории, становятся его сподвижниками на многие годы. Их имена позднее стали хорошо известны газотурбинистам страны. Это были М.И. Востриков (1932 г.), Я.Т. Ильичев (1933 г.), Б.А. Уваров (1934 г.), В.Х. Абианц (1935 г.), А.А. Лакштовский (1936 г.), П.К. Казанджан (1936 г.), О.И. Голубева (1937 г.), А.Г. Романов (1940 г.), В.Е. Михальцев, А.Ф. Пронкин, С.М. Шляхтенко (1941 г.). В предисловии к монографии «Газовые турбины и газотурбинные установки» (1970 г) В.В. Уваров пишет: «...учитель не только учит, но и учится у своих учеников, и с этой точки зрения предлагаемую книгу можно рассматривать как совместный труд автора с огромным числом ... учеников, которые получили свои дипломы за более чем сорокалетний период его работы в МВТУ».

В начале всех работ В.В. Уваров выдвинул следующую концепцию разработки еще никому неизвестного авиационного двигателя. Это - газовая турбина с передачей мощности на воздушный винт. В связи с низкой газодинамической эффективностью компрессора и турбины того времени температура газа перед турбиной принимается высокой (до 1500К), компрессор центробежный (как наиболее освоенный), а высокая температура газа вынуждает ввод водо-паровой системы охлаждения лопаток турбины. После успешного испытания полнокомплектного варианта одноступенчатого турбокомпрессора Владимир Васильевич предложил оригинальную схему двигателя, представленную на рис. 2. Компрессор двигателя трехступенчатый центробежный, лопаточные диффузоры ступеней которого заменены лопатками радиальной активной воздушной трехступенчатой турбины с передачей мощности последней на редуктор воздушного винта. Камера сгорания противоточная с воздушным охлаждением. Турбина трехступенчатая с оригинальной схемой водопарового охлаждения с саморегулированием радиуса «зеркала» воды на выходе из каналов охлаждения лопаток турбины.

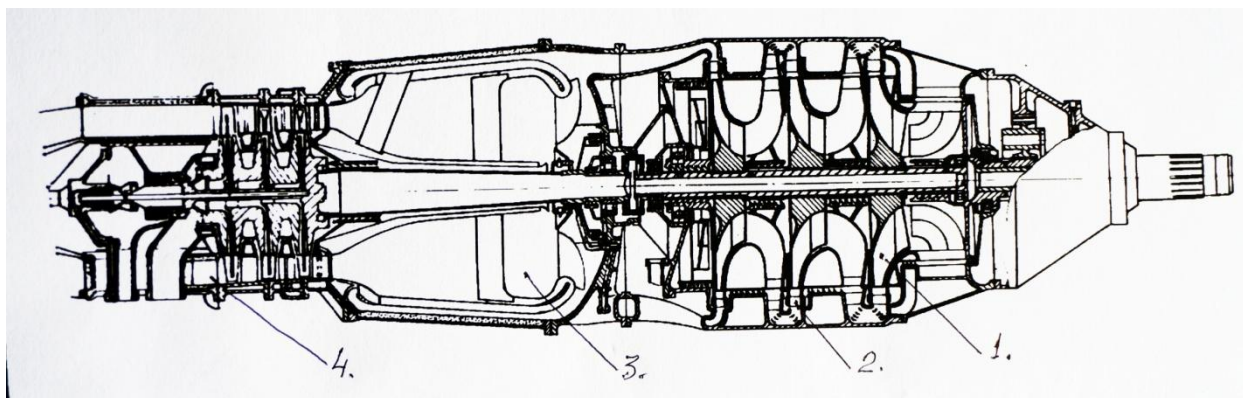




**Рис. 2.** Авиационная газотурбинная установка с винтом ГТУ-3: 1-центробежный компрессор, 2-воздушная радиальная турбина, 3- высокотемпературная газовая турбина, 4-противоточная камера сгорания.

В 1934 году на заседании коллегии Совета труда и обороны, проходившего под председательством маршала Тухачевского состоялся доклад Владимира Васильевича «О перспективах применения авиационной газовой турбины в авиации и о первых результатах испытания первой в мире полнокомплектной высокотемпературной газотурбинной установки». На заседании присутствовали авторитетные конструкторы поршневых авиационных двигателей. Не все из них смогли оценить и принять роль газовой турбины в авиации. Так известный конструктор авиационных дизельных двигателей А.А. Чаромский посчитал В.В. Уварова фантастом, а газовую турбину не нужной для авиации игрушкой. В том же году состоялся доклад подобного содержания на НТС ЦИАМ. Работы уваровского коллектива были признаны крайне актуальными и было рекомендовано форсировать работы над ГТУ-3. В период 1935-1939 г.г. первый в мире высокотемпературный турбовинтовой двигатель был спроектирован, построен на Коломенском паровозостроительном заводе и там же поставлен на испытательный стенд.

В 1940 году все работы по созданию турбовинтового двигателя были перенесены в ЦИАМ, где был спроектирован и к 1946 году построен высокотемпературный турбовинтовой двигатель Э-3080 мощностью 740 кВт с температурой газа 1473 К. Дальнейшие работы, связанные с испытаниями этого двигателя и направленные на создание более совершенной модели Э-3081 (рис. 3) мощностью 2200кВт были перенесены на авиационный завод № 41, где В.В. Уваров был назначен главным конструктором. К сожалению, эта пионерская работа опередила свое время и оказалась тогда не востребовавшей. Однако она послужила отличной стартовой площадкой для последующего развития отечественного авиационного газотурбостроения.



**Рис. 3.** Турбовинтовой высокотемпературный авиационный двигатель Э 3081: 1-центробежный компрессор, 2-воздушная радиальная турбина, 3-противоточная камера сгорания, 4- высокотемпературная камера сгорания.

Период 1945-1949 годов отмечен дальнейшим становлением и развитием газотурбинной специальности в МВТУ, происходившей в недрах кафедры «Паровые двигатели», где одновременно велась подготовка и инженеров-паротурбинистов, и инженеров-газотурбинистов и где под руководством В.В. Уварова выполнялись пионерские дипломные проекты по стационарным газотурбинным установкам. В эти годы арсенале кафедры появился воздушно-реактивный двигатель, послуживший объектом лабораторных испытаний для студентов-газотурбинистов.

В 1948 г решением Правительства СССР в ряде ВУЗов страны организуется подготовка специалистов для ракетно-космической и авиационной промышленности. В МВТУ открывается факультет реактивной техники (факультет РТ, позже переименованный в факультет № 34). Летом 1948 года производится первый набор на 1 курс. На старшие курсы переводят студентов с других родственных специальностей. На факультете организуется подготовка инженеров по четырем специальностям: РТ1 – воздушно-реактивные двигатели, РТ2 – конструкция и прочность летательных аппаратов, РТ3 – твердотопливные двигатели, РТ4 – жидкостные реактивные двигатели. В начале 1949 года создается кафедра РТ1, заведующим которой был избран профессор, доктор технических наук В.В. Уваров. Созданием кафедры завершился многолетний цикл становления и официальной легализации газотурбинной специальности в МВТУ. С этого момента кафедра начинает подготовку специалистов по прямоточным воздушно-реактивным, турбореактивным, турбовинтовым, турбовальным, турбореактивным двухконтурным двигателям в рамках факультета РТ а также по транспортным газотурбинным двигателям различного назначения, стационарным газотурбинным установкам для энергетики, трубопроводного транспорта газа, энерготехнологических для промышленных предприятий в рамках факультета тепловых и гидравлических машин. Это явилось лучшим признанием научной школы газотурбинистов МВТУ - научной школы профессора В.В. Уварова.

Если до 1949 года научная школа Уварова объединяла научно значимую, но достаточно малочисленную группу его первых учеников и соратников. С этого момента влияние его научных идей и его научной школы на развитие газотурбостроение многократно

усиливается. Кафедра и лаборатория газовых турбин объединяет единомышленников, каждый из которых, получив заряд творческой энергии от Учителя еще на студенческой скамье, тоже становится генератором новаторства. Однако всех их на каждом конкретном временном периоде объединяет генеральная творческая идея Учителя, которая часто является результатом совместного творчества. Отличительной чертой Владимира Васильевича была способность не только проникнуться новой идеей, не только разработать всю доказательную базу, но и способность яростно сражаться с оппонентами, отстаивая свою правоту, правоту кафедры газовых турбин МВТУ.

Как норма, в кафедральных научных работах принимают участие успешные студенты старших курсов. Их курсовые и дипломные проекты становятся составной частью научно-исследовательской или проектно-конструкторской работы кафедры. Такие выпускники, приходя на производство становятся «агентами» внедрения и распространения научных разработок кафедры.

В публичной лекции «Газовые турбины», прочитанной в лектории обществ «Знание» в Политехническом музее в 1954 г. и вызвавшей большой общественный резонанс В.В. Уваров так сформулировал видение кафедры на пути развития газовых турбин:

- генеральный путь - это повышение температуры газа перед турбиной при соответствующей оптимизации параметров термодинамического цикла;
- газотурбинная установка - это установка большой мощности для крупной энергетики (а не малой мощности, как это принято было считать);
- газотурбинная установка для газотурбовоза на каменном угле, как альтернатива паровозу;
- для крупной мощности безрегенеративная газотурбинная установка по циклу с промежуточным сгоранием и промежуточным охлаждением.

В этот период времени научные работы кафедры были направлены на разработку газотурбовоза, работающего на пылеугольном топливе, а также на исследование и развитие способов охлаждения лопаток высокотемпературной турбины, на повышение эффективности входного устройства центробежного компрессора, на повышение эффективности выходного диффузора газовой турбины введением охлаждения его стенок, на эффективное сжигание пылеугольного топлива в камере сгорания ГТУ, на разработке турбоциклонного способа очистки продуктов сгорания пылеугольного топлива от твердодольных взвесей. Несколько позже, при изменении топливного баланса в связи массовой добычей природного газа, сжигание твердого топлива в ГТУ стало не актуальным. Но наработки тех лет оказались востребованными и продолженными в связи с современной ориентацией на более широкое использование каменного угля при экологически чистой энергетике, а также при термической переработке (газификации) твердых бытовых и промышленных отходов со сжиганием генераторного газа в камере сгорания ГТУ. Интересно отметить, что впервые идея газотурбинного локомотива (газотурбовоза) была озвучена В.В. Уваровым в 1926 г. в докладе на заседании кружка теплотехников Училища.

Как при жизни первого заведующего (В.В. Уваров ушел из жизни 9 октября 1977 г.) так и в последующие годы кафедра всегда отслеживала вектор востребованности и развития газотурбинных установок различного назначения. Это находит отражение как в направленности научно-исследовательских работ, так и в содержании материалов учебного процесса. Например, в 1955 г из цехов Коломенского паровозостроительного завода вышел последний паровоз, созданный в СССР - век паровой машины закончился. По инициативе главного конструктора паровозов Л.С. Лебедянского конструкторское бюро паровозостроителей было переориентировано на производство газотурбинного локомотива – газотурбовоза. По взаимной договоренности Л.С. Лебедянского и В.В. Уварова, поддержанной руководством Училища в МВТУ создается совместное (коломенский тепловозный завод – кафедра газовых турбин) конструкторское бюро, в котором начинается проектирование газотурбинного двигателя для газотурбовоза. Штатные преподаватели и научный персонал кафедры выполняют роль консультантов и заместителей руководителей тематических групп: компрессорной, камер сгорания, турбинной, систем регулирования, теплообменных аппаратов и систем охлаждения. В ходе совместной работы и посредством специальных лекций происходит процесс формирования газотурбинистов из паровозников. Главным конструктором двигателя (от МВТУ) является В.В. Уваров. Двигатель проектируется под тяжелое жидкое топливо. В этом проекте используются оригинальные разработки кафедры: был смоделирован один из лучших отечественных осевых компрессоров, в конструкцию турбины заложен принцип «холодного» корпуса и «изотермического» ротора, воздушное охлаждение дисков турбины с использованием вращающихся дефлекторов при миллиметровых зазорах между дефлектором и диском и т.д. Многолетняя надежная эксплуатация созданных коломенцами трех газотурбовозов на железной дороге СССР показала перспективность и экономическую эффективность их использовании, особенно для вождения большегрузных поездов по железным дорогам типа БАМ. В ходе дальнейших совместных работ были рассмотрены более совершенные и более экономичные схемы ГТД. Но после смерти Л.С. Лебедянского дальнейшие работы заводом были свернуты (роль личности лидера в истории техники). Интересно отметить, что уже в наши дни в бытность выпускника кафедры д.т.н. Ю.С. Елисеева на должности генерального директора ФГУП ММПП «Салют» предприятие по заказу РЖД создало ГТД для маневренного газотурбовоза, работающий на жидком пропане.. Через несколько лет, когда Ю.С. Елисеев был переведен на СНТК им. Н.Д. Кузнецова, там был создан ГТД мощностью 8 000 кВт для грузового газотурбовоза, топливо - сжиженный природный газ. Сейчас один газотурбовоз находится в опытной эксплуатации и используется для вождения состава в 100 цистерн сжиженного природного газа на многотысячные расстояния. По результатам опытной эксплуатации РЖД заказала серию таких локомотивов.

В конце 1950-х и в 1960 годы большой цикл совместных работ по системам охлаждения высокотемпературных газовых турбин проводится с Южно-турбинным заводом судовых газотурбинных двигателей (г. Николаев), с ленинградским заводом Экономайзер, в Про-



блемной лаборатории кафедры разрабатываются и обосновываются новые системы охлаждения лопаток, разрабатываются методы их расчета и проектирования.

Научная школа - это источник плодотворных идей, выдвигаемых лидером и его сподвижниками, идей, которые направлены на создание и развитие принципиально новых технических объектов. Выдвигаются не только идеи, но их доказательная перспективность и пути создания объекта. Жизнеспособность научной школы характеризуется преемственностью, продолжением начатых работ и генерацией новых идей на основе все возрастающего опыта. За 65 лет работы кафедра коснулась самых различных направлений развития и использования газотурбинных двигателей, газотурбинных установок. Так одной из принципиально значимых была идея изотермо-адиабатного цикла (впоследствии по праву названным циклом Уварова). Технический проект газотурбинной установки ГТУ-200-750 по циклу Уварова, выполненный по Постановлению Правительства СССР совместно с Харьковским турбогенераторным заводом доказал возможность создания ГТУ мощностью 200 МВт и выше с КПД порядка 40% при расходе воздуха на входе в компрессор 456 кг/с и температуре газа перед турбиной 1023 К. При увеличении температуры газа до 1400 К (достаточно умеренной по современным меркам) мощность поднимется до 400 МВт при КПД 52%. Тогда, в 1960-х годах критики работы сломали немало копий, доказывая нереальность ГТУ на такую мощность а теперь газотурбинные энергетические установки мощностью порядка 200 МВт и выше не вызывают эмоций. Сегодня идея карнотизации цикла (приближение цикла энергоустановки к циклу Карно путем, предложенным В.В. Уваровым) популярна во всем мире и, например, фирма Siemens уже серийно производит ГТУ с промежуточной камерой сгорания.

В 1960-х годах кафедра включается в активные разработки газотурбинных установок замкнутого цикла (ЗГТУ) космического назначения. В лаборатории кафедры создается единственная в нашей стране действующая экспериментальная ЗГТУ. На сегодняшний день весь мир признал, что при уровне энергопотребления в десятки киловатт необходимо от солнечных батарей переходить ЗГТУ.

В 1970-х годах кафедра принимает активное участие в комплексе работ атомной промышленности, направленных на создание приводного циркулятора гелия для гелиевой петли высокотемпературного газоохлаждаемого реактора Разрабатываются теория проектирования газотурбоциркулятора, метод оптимизации параметров теплообменных аппаратов ЗГТУ, выполняются эскизные проекты гелиевой ЗГТУ для реактора интегральной компоновки в железобетонном корпусе, а также с реактором модульной компоновки в металлическом корпусе. Позднее разрабатывается концептуальный проект энергетической ЗГТУ большой мощности для реактора типа БРЕСТ.

Последний цикл работ по ЗГТУ, относящийся к началу 21 столетия направлен на разработку ЗГТУ мегаваттной мощности для космического летательного аппарата большой массы и длительного полета. Это различные схемные решения энергоустановки и поисковые разработки радиационных излучателей теплоты (от массы и площади поверхности ко-

торых зависит предельная мощность энергоустановки). Кафедра имеет тесные связи с промышленностью и ведущими НИИ, всегда откликается на их запросы

За шестидесятипятилетний период своего существования кафедра газовых турбин (официальное название - "Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки") подготовила более 2500 инженеров -газотурбинистов, пользующихся "спросом", большое количество докторов и кандидатов наук. Среди выпускников кафедры – академики, член-корреспонденты РАН и отраслевых академий. Многие выпускники кафедры внесли выдающийся вклад в развитие отечественной ракетно-космической, авиационной и наземной газотурбинной энергетики. А идеи Владимира Васильевича Уварова, его подход к учебному процессу, высокая профессиональная требовательность, научная принципиальность и преданность науке - это тот маяк, который ориентирует научно-педагогическое кредо кафедры и научной школы Владимира Васильевича Уварова в бурном потоке развития образования, науки и высокотехнологичной промышленности.