



# НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

---

## ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

### **Аннагелдиев Довлетгелди**

Преподаватель Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,  
г. Ашхабад Туркменистан

### **Шукуров Тиркеш**

Преподаватель Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,  
г. Ашхабад Туркменистан

### **Овезалиев Байрамберди**

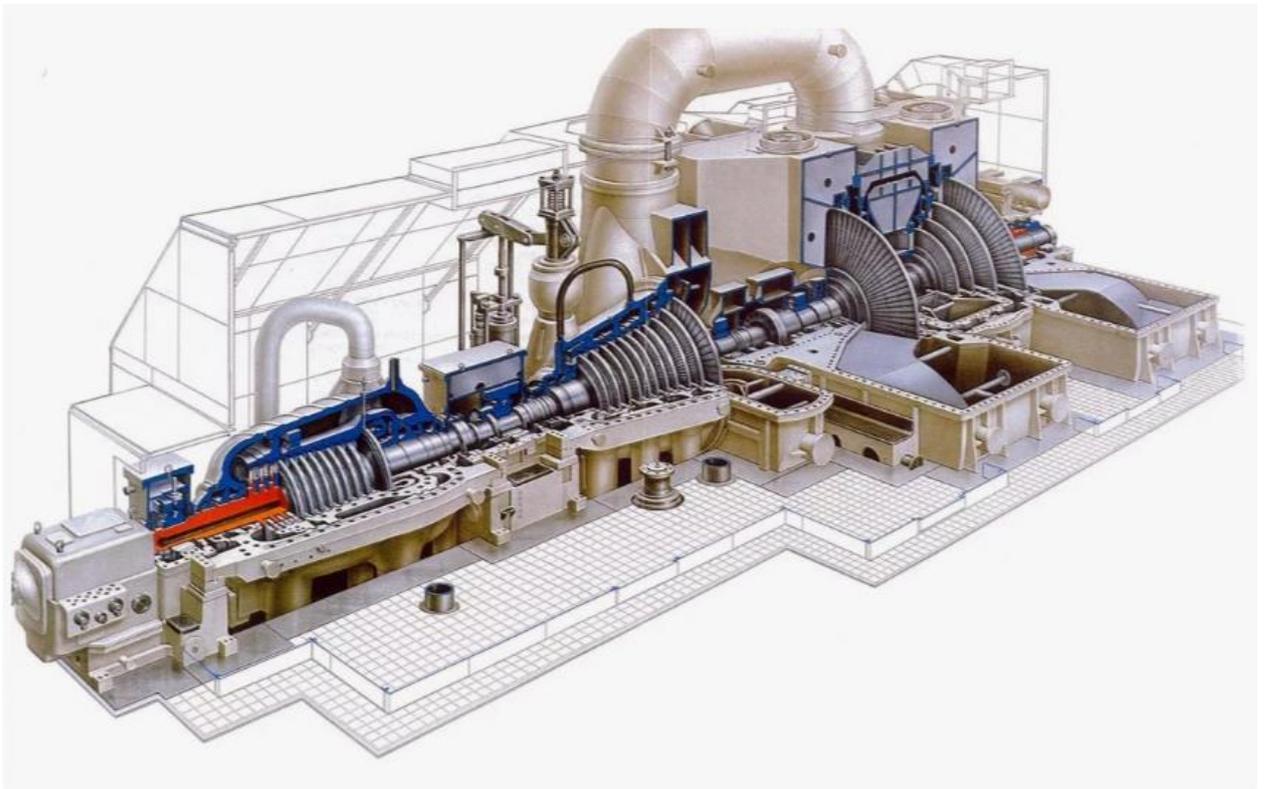
Преподаватель Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,  
г. Ашхабад Туркменистан

### **Недилов Манегулы**

Студент Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,  
г. Ашхабад Туркменистан

Когда в конце электроэнергетики, XIX века зарождалась современная основным двигателем для привода электрогенераторов была паровая машина. Но очень скоро, за первое десятилетие следующего столетия, на новых тепловых электростанциях паровая машина была практически полностью вытеснена паровой турбиной. Этот новый двигатель при выработке электроэнергии обладал перед паровой машиной неоспоримыми преимуществами. Но главная причина заключалась в том, что паровую турбину удалось быстро усовершенствовать, обеспечив необходимый промышленности уровень эффективности и надежности. С тех пор и почти до конца XX-го столетия паротурбинные установки (ПТУ) господствовали на всех тепловых электростанциях мира, с той поры и по сей день тепловые электростанции — основной производитель электроэнергии, на которой утвердилась современная цивилизация (доля гидроэнергетики никогда не была выше 15–20 %). Только в области малых и средних мощностей, да в автономной энергетике и в так называемой децентрализованной энергетике, оставалась ниша, уверенно занимаемая тепловыми электростанциями с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

В середине столетия возник принципиально новый вид тепловых электростанций — атомные электростанции, но и на них также стали использовать паротурбинные установки для привода электрогенераторов.



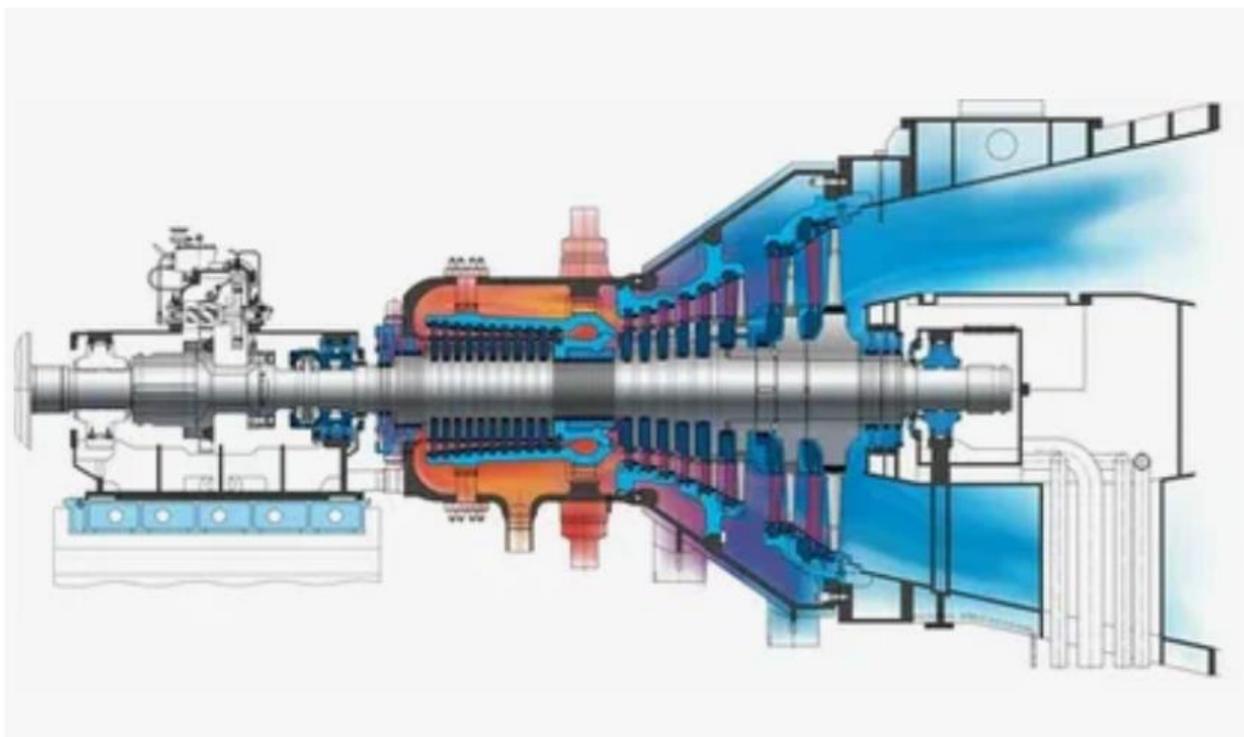
За сто лет паротурбинные установки достигли высокого уровня технического совершенства и надежности; их к.п.д. увеличился с 20 % примерно до 42–44 %; единичная мощность серийных ПТУ возросла от 1 МВт (в 1900 г.) до 500–800 МВт, а мощность отдельных образцов превысила 1500 МВт.

Ситуация резко меняется в конце XX века, когда также, практически за одно десятилетие, происходит смена приоритетов. В наращивании энергетических мощностей электростанций главенствующая роль переходит к газотурбинным установкам (ГТУ) и, главное, к созданным в результате прогресса ГТУ парогазовым установкам (ПГУ).

Так, на электростанциях США с начала 90-х годов XX века более 60 % вводимых и модернизируемых мощностей уже составляют ПГУ, а в некоторых странах в отдельные годы их доля достигала 90 %. Наряду с ПГУ в большом количестве строятся также простые ГТУ, используемые для покрытия пиковых нагрузок. Суммарная мощность газотурбинных установок, заказанных и установленных в 1999–2000 гг., достигла 120 тыс. МВт (против 8 тыс. МВт в начале 80-х годов). При этом значительная часть ГТУ (более 60 %) предназначались для работы в составе крупных бинарных ПГУ со средней мощностью порядка 350 МВт.

Теоретические основы применения парогазовых технологий были достаточно подробно изучены у нас в стране еще в начале 60-х годов прошлого века [6, 8, 13]. Уже в ту пору стало ясно: генеральный путь развития теплоэнергетики связан именно с парогазовыми технологиями. Однако для их успешной реализации были необходимы надежные и высокоэффективные газотурбинные установки. Именно существенный прогресс газотурбостроения определил качественный скачок теплоэнергетики, свидетелями которого мы являемся. Ряд зарубежных фирм успешно решили задачи создания эффективных стационарных ГТУ в ту пору, когда отечественные «головные и ведущие» организации в условиях «командной» экономики, с завидным упорством (и малыми силами) занимались продвижением наименее перспективных из парогазовых технологий.

Если в 60-х годах прошлого столетия КПД газотурбинных установок находился на уровне 24–32 %, то в конце 80-х годов лучшие зарубежные стационарные ГТУ уже имели КПД при автономном использовании 36–37 %, что позволяло на их основе создавать парогазовые установки, КПД которых достигал 50 %. К началу нового века КПД ГТУ достиг 40 %, а ПГУ на их основе — 60 %. Ближайшей и реальной перспективой стало получение КПД 65 % и более. Для паротурбинных установок только в случае успешного решения в обозримый период ряда сложных научных проблем, связанных с генерацией и использованием пара сверхкритических параметров, можно надеяться на КПД не более 46–49 %. Таким образом, по экономичности ПГУ безнадежно проигрывают ПГУ.



Существенно проигрывают паротурбинные электростанции также по стоимости и срокам строительства. В 2005 г. на мировом энергетическом рынке стоимость 1 кВт установленной мощности на ПГУ мощностью 200 МВт и более составляла 500–600 \$/кВт, а для ПГУ меньших мощностей стоимость была в пределах 600–900 \$/кВт. Стоимость мощных ГТУ составляет 200–250 \$/кВт, с уменьшением единичной мощности их стоимость растет, но не превышает обычно 500 \$/кВт. Заметим, что реальные цены ПГУ зависят не только от мощности газовых и паровых турбин, но и от конструктивных особенностей и комплектации. Так, например, многовальные установки, в которых каждая газовая и паровая турбины приводят в действие отдельный электрогенератор, стоят на 8–10 % дороже, чем одновальные, где все турбины работают на один генератор. Удельная стоимость теплофикационных ПГУ на 10–15 % выше, чем у конденсационных. В целом реальная удельная стоимость сооружения электростанций с ПГУ по сравнению с публикуемыми усредненными ценами может оказаться выше на 60 %. Однако, это все равно ниже, чем у конденсационных паротурбинных электростанций (КЭС), где стоимость установленного киловатта колеблется в пределах 2000–3000 \$/кВт, или атомных (АЭС), где аналогичный показатель 2500–3500 \$/кВт

Значительно сокращаются сроки строительства и ввода в действие тепловых электростанций. Для АЭС они в лучшем случае составляют 7–8 лет, а иногда 10–12, для КЭС — 3–5 лет, в то время как для ПГУ-ТЭС пуск в эксплуатацию на полную мощность обычно осуществляется не более чем через 2 года после заключения контракта или через 20 месяцев после начала сооружения. Такие сроки достигаются за счет комплектной модульной поставки энергетического оборудования и строительных конструкций высокой заводской готовности. При строительстве ряда крупных парогазовых тепловых электростанций (ПГУ-ТЭС) в странах Азии и Латинской Америки предусматривалась возможность автономной работы ГТУ. Это позволяло начинать выработку электроэнергии еще до полного завершения строительства паросиловой части ПГУ, ускоряя таким образом окупаемость капитальных затрат.

Наиболее короткие сроки ввода в эксплуатацию (до 45–60 дней после прибытия оборудования) достигаются путем сооружения автономных газотурбинных тепловых электростанций с ГТУ средней мощности при комплектовании их современными конвертированными авиационными газотурбинными двигателями. Пакетное, модульное исполнение и высокая заводская готовность данного типа энергооборудования позволяют свести к минимуму объем строительно-монтажных работ на объекте, которые часто сводятся только к подключению коммуникаций и инженерных сетей.

Важную роль в достижении высокого технического уровня новейших ГТУ и ПГУ сыграла широкая техническая и производственная кооперация основных зарубежных фирм производителей газовых турбин.

В настоящее время на мировом рынке парогазовых технологий задают тон, определяют технический уровень и стоимостные показатели новейшего оборудования три транснациональные компании: General Electric (США), Siemens Westinghouse (Германия, США) и Alstom (Франция, Швейцария, Швеция). Они имеют теснейшие технические, производственные и финансовые связи с энергомашиностроительными фирмами Японии, Италии, Англии и Бельгии, а также с ведущими производителями авиационных газотурбинных двигателей

подавляющее большинство ГТУ, работающих независимо или в составе ПГУ, рассчитаны на работу на природном газе. Жидкое топливо иногда используется в ГТУ малой мощности, а также в ограниченном числе ГТУ средней и большой мощности, предназначенных для работы в нефтедобывающих странах Ближнего Востока и Центральной Америки. Но в последние годы в мировой энергетике существенно активизировались работы по использованию в парогазовых технологиях твердого топлива. За рубежом накоплен опыт эксплуатации демонстрационных ПГУ на твердом топливе с использованием ГТУ различных типов. Указанные тенденции связаны с тем, что газ является ценным технологическим сырьем для химической промышленности, где его использование часто более рентабельно, чем в энергетике.

В России сосредоточено до 40 % разведанных мировых запасов угля. Традиционно отечественная энергетика ориентировалась на твердое топливо, доля которого в топливном балансе полвека назад достигла 78 %. Однако, за последние 40 лет в стране произошла переориентация, и теперь значительная часть централизованного производства тепла и электроэнергии вырабатывается за счет газообразного топлива. Так, в 2005 году доля газа в топливном балансе электростанций России составила уже 71,1 %. Особенно интенсивно росло потребление газа в европейских районах, где его доля в суммарном расходе топлива ТЭС увеличилась до 84,6 %.

При этом увеличение потребления газа шло на традиционных паротурбинных блоках путем простого замещения газом угля и мазута. В результате потребление газа в теплоэнергетике резко увеличилось, а эффективность его использования, если и увеличилась, то незначительно. Работы по использованию твердого топлива в парогазовых технологиях были остановлены у нас в стране более тридцати лет назад, а те технические решения, на которые они ориентировались, теперь безнадежно устарели.

Еще в 60-х годах прошлого века отечественные наука и практика в области теплоэнергетики отвечали мировому уровню развития. Если отдельные виды энергетического оборудования (в частности, ГТУ) и уступали зарубежным образцам, то незначительно, а некоторые типы паровых турбин, производимых в нашей стране, были лучше зарубежных.

Прогресс в области газотурбостроения в середине XX века, связанный с успехами в авиации, оказал влияние на развитие стационарного газотурбостроения. Ведущие зарубежные фирмы приступают к выпуску энергетических ГТУ, единичная мощность которых уже скоро превышает 100 МВт. Пока ГТУ сильно уступают по КПД паротурбинным установкам, потому используются в основном для покрытия пиковых нагрузок. С конца 60-х гг. прошлого века газотурбостроение развивается динамично, и совершенство энергетических ГТУ быстро возрастает, прежде всего, за счет создания эффективных систем охлаждения и повышения на этой основе начальной температуры газа.

Практически с первых шагов газотурбостроения рассматривались варианты комбинированных парогазовых установок, сочетающих в рамках единой тепловой схемы паровую и газовую турбины.



Идея комбинированных установок была сформулирована основоположником термодинамики С. Карно, который писал в 1824 г.: «Воздух представляется более пригодным, чем пар, для использования движущей силы падения теплорода при высоких градусах; при низких градусах водяной пар может быть более подходящим». Полагаем, что «нестандартная» терминология не помешает читателю понять смысл сказанного. Дальнейшее развитие идей комбинирования паровых и газовых термодинамических циклов мы находим в трудах выдающегося ученого начала XX века А. Стодолы, на трудах которого в области паровых и газовых турбин в значительной мере шло развитие всего турбиностроения, по крайней мере, первой половины предыдущего столетия.

По-видимому, первую парогазовую установку, которая по современным представлениям вполне могла эффективно работать, начал строить в 1892 г. П. Д. Кузьминский, имя которого выше мы упоминали в связи с зарождением отечественного газотурбостроения. К сожалению, преждевременная кончина (в 1900 г.) не позволила ему завершить успешно начатое дело. В начале XX в., когда эффективность ГТУ оставалась еще крайне низкой, был ряд мало удачных попыток создания парогазовых установок, в которых малую эффективность ГТУ той поры пытались компенсировать работой паровой турбины. Обычно в этой связи называют комбинированную установку Хольцварта-Шюле. Фирма Броун Бовери соорудила эту установку в 1908 г. и до 1930 г. доводила и модернизировала, пока не признала продолжение работ бесперспективным.