

1.1 Понятие турбомашины, ее отличительные особенности и место в современном мире

Турбомашина – устройство, в котором происходит преобразование энергии за счет постоянного обтекания элементов вращающегося ротора потоком жидкости или газа, движущимся с высокой скоростью [1,3,4,6,7]. Данные устройства также могут называться *лопаточными машинами* (что характерно для русскоязычных источников [1, 10,17]). Термины *турбомашина* и *лопаточная машина* являются синонимами.

В турбомашинах механическая энергия может, как подводиться к потоку жидкости или газа, так и отбираться от него. В первом случае подведенная энергия расходуется на сообщение ему импульса, заставляя поток перемещаться в заданном направлении (например, по трубопроводу) и/или повышение давления рабочего тела. Во втором случае в механическую энергию преобразуется имеющаяся кинетическая и/или потенциальная энергия потока.

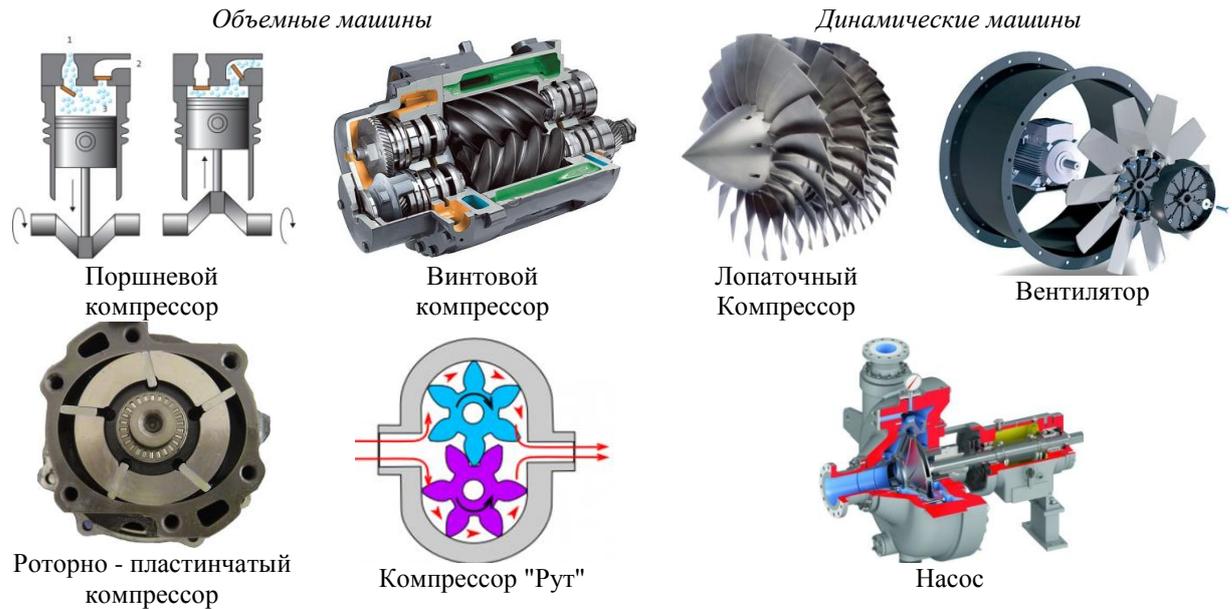
Известно большое число устройств, выполняющих схожие функции. В частности, для сжатия и проталкивания рабочего тела могут применяться поршневые, плунжерные, мембранные, винтовые, ротационные и другие типы компрессоров и насосов (рисунок 1.1.1) [3, 8, 18, 22, 28]. Механическая энергия от сжатого пара или воздуха может быть получена в паровой машине [8, 28] (рисунок 1.1.1). Как видно, главным "конкурентом" турбомашин являются объемные машины, принцип действия которых основан на изменении объема замкнутого пространства, в котором находится рабочее тело. Сопоставление основных характеристик компрессоров различных типов показано на таблице 1.1.1.

Несмотря на то, что существует большое число устройств схожего назначения, по сравнению с ними турбомашины получили широкое распространение. С чем это связано?

1. Энергообмен в турбомашинах происходит непрерывно (по сравнению, например, с машинами объемного действия, которые работают с изолированными порциями газа). В результате массовый расход рабочего тела увеличивается в несколько раз, что при равной удельной работе существенно увеличивает мощность машины. В случае, если для решения поставленной технической задачи увеличение мощности не требуется, данное обстоятельство позволяет существенно уменьшить размеры машины. Благодаря существенному увеличению расхода рабочего тела турбомашины имеют выдающиеся удельные параметры (массу, объем, габаритные размеры) [3].

2. В одном агрегате расход и мощность может достигать практически не ограниченных значений. Как видно из таблицы 1.1.4, расходы рабочего тела в турбомашинах меняются от долей грамма до тысяч тонн, а мощность от нескольких Ватт до тысяч МВт.

Механическая энергия подводится к потоку



Механическая энергия отбирается от потока

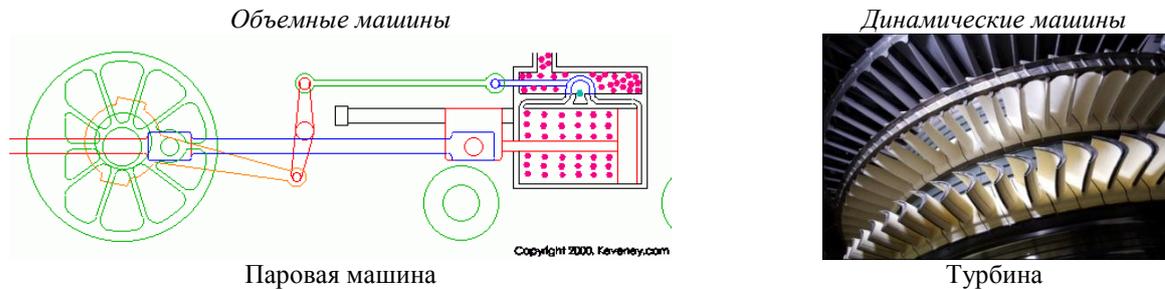


Рисунок 1.1.1 - Различные устройства для преобразования энергии [8]

3. Турбомашин обладают высоким КПД, значение которого может превышать 90% (см. таблицу 1.1.1).

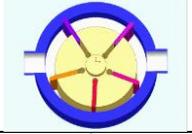
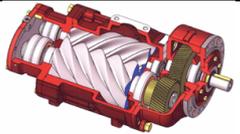
4. Рабочие органы турбомашин уравновешены (неуравновешенность масс приведет к их разрушению). Небольшая остаточная неуравновешенность, связанная с неточностью изготовления, устраняется при балансировке. Уравновешенность существенно уменьшает переменные нагрузки на конструкцию и вибрации [3, 20]. Это в свою очередь упрощает и удешевляет фундамент машины и ее монтаж [3, 21, 20, 18].

5. Рабочие органы турбомашин движутся (вращаются) с большой окружной скоростью. Это возможно из-за того, что, в отличие от машин объемного действия, элементы ротора и статора не находятся в контакте. Увеличению скорости вращения ротора способствует его уравновешенность относительно оси вращения.

Согласно уравнению Эйлера (раздел 2.6), чем больше будет окружная скорость, тем больше отбираемая или подводимая к потоку удельная работа. Значение окружной скорости в некоторых типах турбомашин может превышать 600 м/с (табл. 1.1.1) и ограничено

только прочностью элементов ротора, испытывающими растяжение от центробежных сил [1, 3, 20,19,10]. Развитие новых конструкционных материалов в будущем сможет отодвинуть эту границу в сторону больших значений окружной скорости.

Таблица 1.1.1 - Сравнение различных типов сжимающих устройств [18, 3, 5, 21]

		Схема	Максимальная степень повышения давления ступени	Максимальная скорость движения рабочего органа, м/с	Максимальный КПД, %
Компрессор объемного действия	Поршневые		20	10	95
	Роторно – Пластинчатые		4	30	60
	Рут		1,8	100	90
	Винтовые		5	150	82
Компрессор динамического действия	Центробежные		8	600	86
	Осевые		2	500	94

6. Высокая надежность и простота эксплуатации. Турбомашины имеют высокий ресурс, который для самых напряженных газотурбинных установок достигает десятков тысяч часов [3, 20, 21]. На сегодняшний день эксплуатация газотурбинных двигателей производится «по техническому состоянию». Например, для современного ближнемагистрального самолета, с типовой продолжительностью полета 2,5 часа, ресурс «холодной» части составляет свыше 30000 полетных циклов (ПЦ) (свыше 75000 часов). Ресурс горячей - более 15000 ПЦ (свыше 35000 часов) [20]. Для промышленных ГТУ типовым является требование ресурса 100 000 часов.

7. Рабочее тело на выходе турбомашин имеет более равномерные параметры, из-за чего пропадает необходимость в использовании ресиверов [3].

8. В турбомашине рабочее тело изолировано от узлов трения (например, подшипников). По этой причине моторное масло практически не попадает в проточную часть [3, 18,

21].

9. Турбомашины хорошо согласуются с генераторами, электродвигателями и друг с другом.

Таким образом, следует отметить, что турбомашины имеют массу важных достоинств. Тем не менее, они не лишены недостатков. К ним следует отнести следующее:

1. Турбомашины имеют низкую эффективность при малых расходах рабочего тела (менее 1 кг/с) [3, 2, 7, 20].

2. Лопаточные компрессоры имеют на своей характеристике зоны неустойчивой работы, где их работа не возможна или сильно затруднена (рисунок 1.1.2) [1, 4, 17, 18, 21, 20].

3. Объемные машины позволяют получить существенно большие степени повышения давления в одной ступени [3].

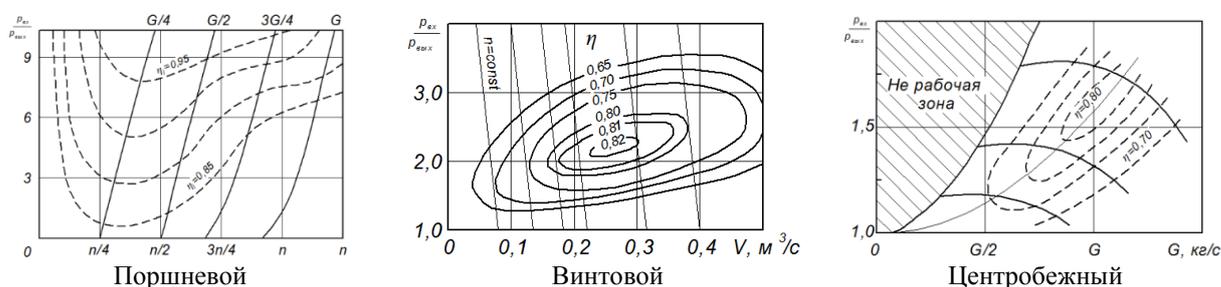


Рисунок 1.1.2 - Характеристики различных типов компрессоров [18]

Сравнение основных характеристик лопаточных машин и машин объемного действия показано в таблице 1.1.3.

Отмеченные преимущества турбомашин позволяют существенно улучшить качества изделий, в состав которых они входят. Для примера в таблице 1.1.3 приводится сравнение характеристик дизельного двигателя, в основе которых лежат машины объемного действия и ГТУ, построенной на базе турбомашин. Видно, что ГТУ, при равной выходной мощности, имеет на порядок меньшие объем и массу [4, 22]. Тем не менее, не стоит утверждать, что турбомашины однозначно превосходят другие типы машин. В действительности, каждая из них имеет свою нишу. Областью применения турбомашин являются устройства, для которых характерны большие мощности, расходы рабочего тела и малые степени изменения давления в одной ступени. В случаях, когда расходы рабочего тела невелики, а степени повышения давления значительны, применяются машины объемного действия. Также является справедливым утверждение, что разные типы турбомашин имеют различные области применения (рисунок 1.1.3 и 1.1.4) [7, 9, 3].

Основные области применения турбомашин приведены на рисунке 1.1.5. Наиболее характерные примеры применения турбомашин более подробно приведены в разделе 1.4. Диапазоны изменения основных параметров турбомашин даны в таблице 1.1.4.

Таблица 1.1.2 - Сопоставление характеристик турбомашин с машинами объемного действия [4]

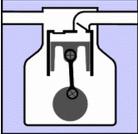
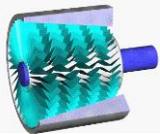
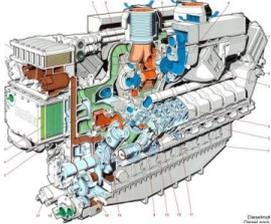
	Объемные машины 	Турбомшины 
Принцип действия	Изменение размеров изолированного объема	Обтекание потоком лопаток
Частота вращения ротора	< 20 000 об/мин	< 500 000 об/мин
Степень повышения давления в одной ступени	высокая	низкая
Расход рабочего тела	низкий	высокий
Тип движения рабочего тела	прерывистый	непрерывное
Стоимость установки одинаковой мощности	высокая	низкая

Таблица 1.1.3 - Сопоставление параметров дизеля и ГТУ с одинаковой мощностью [4, 22]

	MTU 16V 595 TE70L 	MTU TF50 
тип	Дизель	Газотурбинный
Мощность, кВт	3925	3800
Частота вращения, об/мин	1750	16000
Длина, м	3,98	1,39
Ширина, м	1,66	1,89
Объем, м ³	18,96	1,29
Масса, кг	13000	710

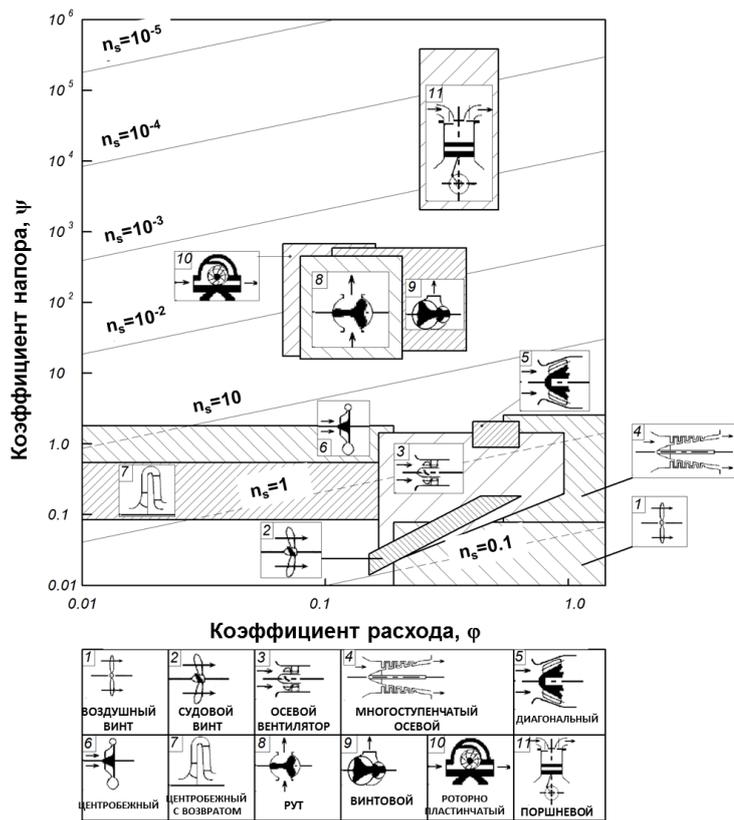


Рисунок 1.1.3 - Области применения разных сжимающих устройств [9]

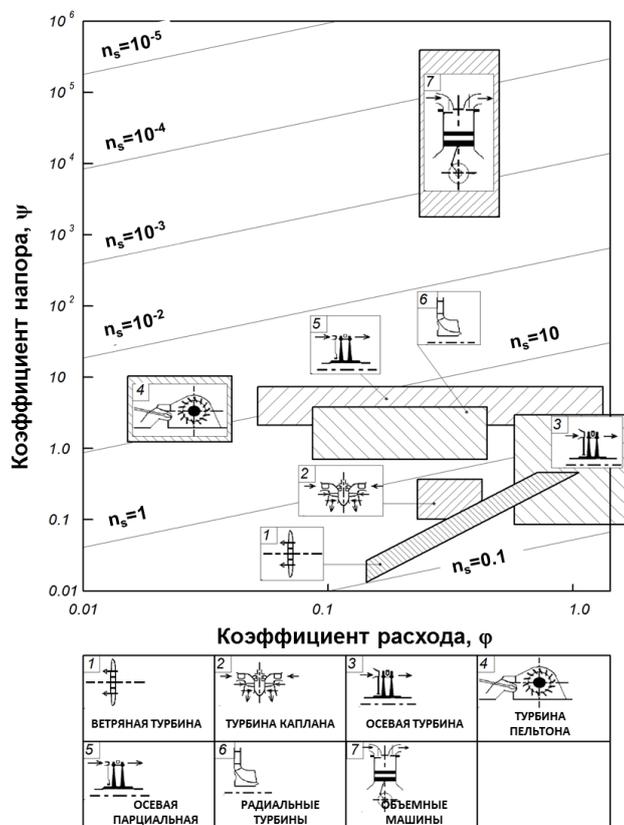


Рисунок 1.1.4 - Области применения разных устройств для получения механической работы [9]

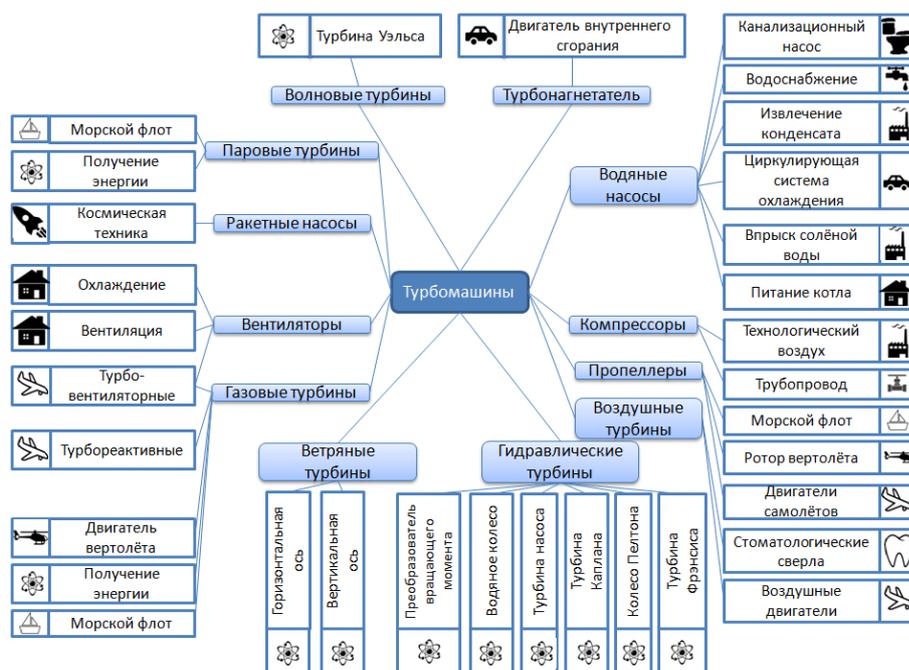
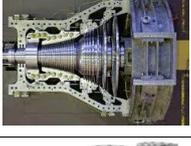


Рисунок 1.1.5 - Области применения турбомашин [5, 7]

Таблица 1.1.4 – Диапазоны изменения основных параметров турбомашин [5,7, 8]

Параметр	Минимальное значение		Максимальное значение	
Размеры		4мм (стоматологический наконечник)	100м (ветряная турбина)	
Частота вращения		6 об/мин (ветряная турбина)	450 000об/мин (стоматологический наконечник)	
Массовый расход		0,001кг/с (стоматологический наконечник)	700 000кг/с (Турбина Франциска)	
Мощность		3Вт (стоматологическое сверло)	1200МВт (Паровая турбина)	
Степень повышения давления насоса		1000Па (насос системы охлаждения ДВС)	30 000МПа (насос питания котла)	
Степень Повышения давления компрессора		1,00 (вентилятор)	100 (многоступенчатый центробежный компрессор)	