МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(национальный исследовательский университет)»

Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

О.В. БАТУРИН

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН»

САМАРА 2011

1. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАЗДЕЛУ «БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН. МЕСТО ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

1.1 Важнейшие формулы раздела *№1*

Формула тяги ВРД (Стечкина):

$$\mathrm{P} = G(\upsilon \cdot c_c - V_{\text{п}}).$$

Идеальная работа компрессора:

$$L_{\text{к}} = \mathrm{c_p T_в^*}\left(\pi_{\text{к}}{}^{*\frac{k-1}{k}} - 1\right).$$

Идеальная работа турбины:

$$L_{\text{т}} = \mathrm{c_p T_г^*}\left(1 - \frac{1}{\pi_{\text{т}}{}^{*\frac{k-1}{k}}}\right).$$

Мощность ДВС:

$$\mathrm{P_e} = \mathrm{K} \cdot \frac{\mathrm{H}_u}{l_0} \cdot \frac{V_h}{\tau} \cdot i \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{к}} \cdot n.$$

Окружная скорость:

$$\mathrm{u} = \omega \cdot r = \frac{\pi D n}{60}.$$

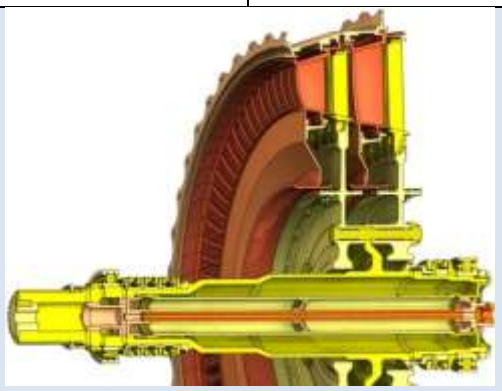
Соотношение между абсолютной, относительной и окружной скоростями (Уравнение треугольника скоростей):

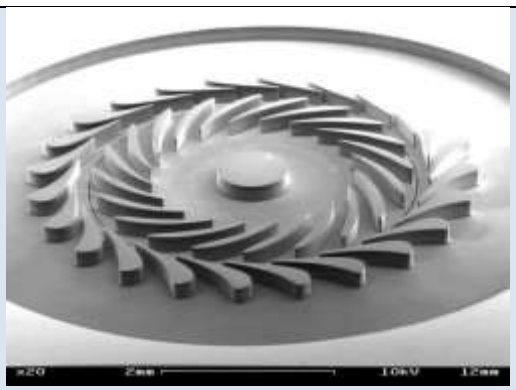
$$\bar{\mathrm{c}} = \bar{w} + \bar{u}.$$

1.2 Тестовые задания

№1	За счет чего осуществляется энергообмен в лопаточной машине?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	За счет изменения объема рабочего тела	За счет взаимодействия потока со специально профилированными лопатками	За счет проталкивания рабочего тела лопатками	За счет того, что поток давит на лопатки
№2	Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростремительная турбина	Осевой компрессор	Центробежный компрессор
№3	Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростремительная турбина	Осевой компрессор	Центробежный компрессор

№4	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой ком-прессор	Центробежный компрессор
№5	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой ком-прессор	Центробежный компрессор
№6	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой вентиля-тор	Центробежный компрессор

№7	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой ком-прессор	Центробежный компрессор
№8	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой ком-прессор	Центробежный компрессор
№9	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой ком-прессор	Центробежный компрессор

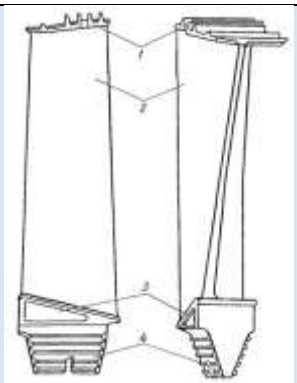
№10	 Определите, что за лопаточная машина изображена на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбина	Центростреми-тельная турбина	Осевой ком-прессор	Центробежный компрессор
№11	 Классифицируйте изображенную на рисунке лопаточную машину по направлению движения рабочего тела?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центростреми-тельная	Центробежная	Диагональная
№12	 Классифицируйте изображенную на рисунке лопаточную машину по направлению движения рабочего тела?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центростреми-тельная	Центробежная	Диагональная

№13	 Классифицируйте изображенную на рисунке лопаточную машину по направлению движения рабочего тела?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центростреми-тельная	Центробежная	Диагональная
№14	 Классифицируйте изображенную на рисунке лопаточную машину по направлению движения рабочего тела?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центростреми-тельная	Центробежная	Диагональная
№15	 Классифицируйте изображенную на рисунке лопаточную машину по направлению движения рабочего тела?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центростреми-тельная	Центробежная	Диагональная

№16	 Классифицируйте изображенную на рисунке лопаточную машину по направлению движения рабочего тела?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центростреми-тельная	Центробежная	Диагональная
№17	Какие функции выполняет замок лопатки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Повышает КПД	Антивибраци-онную функцию	Снижает массу	Крепит лопатку в диске
№18	 Какой элемент пера лопатки отмечен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Входная кромка	Выходная кром-ка	Спинка	Корытце

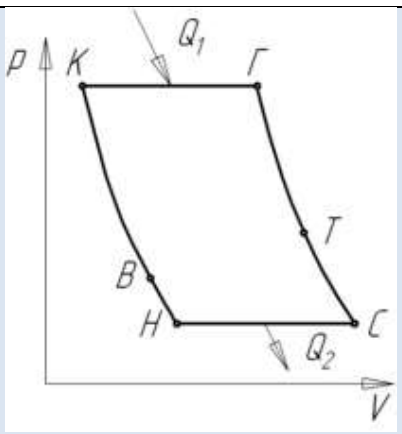
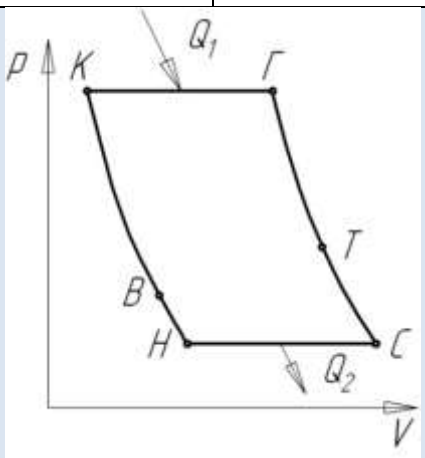
№19	 Какой элемент пера лопатки отмечен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Входная кромка	Выходная кромка	Спинка	Корытце
№20	 Какой элемент пера лопатки отмечен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Входная кромка	Выходная кромка	Спинка	Корытце
№21	 Какой элемент пера лопатки отмечен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Входная кромка	Выходная кромка	Спинка	Корытце

№22	 Какой элемент пера лопатки отмечен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Входная кромка	Выходная кромка	Спинка	Корытце
№23	 Определите тип замка лопатки, изображенной на рисунке			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Елочный	Ласточкин хвост	Нет замка	Шарнирный
№24	 Определите тип замка лопатки, изображенной на рисунке			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Елочный	Ласточкин хвост	Нет замка	Шарнирный

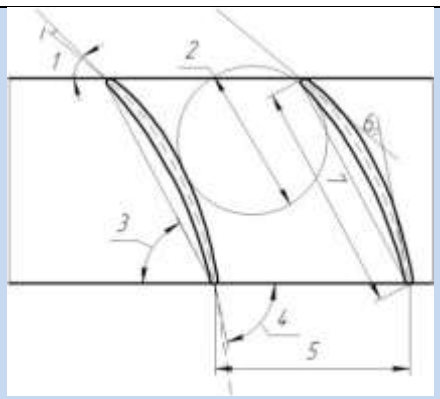
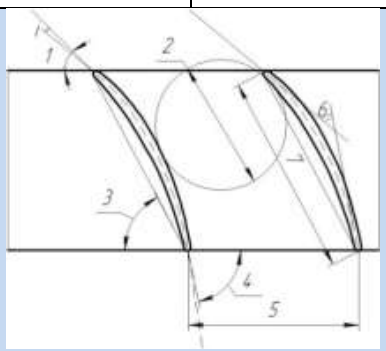
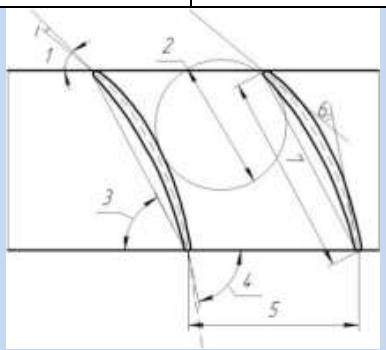
№25	 Определите тип замка лопатки, изображенной на рисунке			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Елочный	Ласточкин хвост	Нет замка	Шарнирный
№26	 Определите тип замка лопатки, изображенной на рисунке			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Елочный	Ласточкин хвост	Нет замка	Шарнирный
№27	 Определите тип замка лопатки, изображенной на рисунке			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Елочный	Ласточкин хвост	Нет замка	Шарнирный

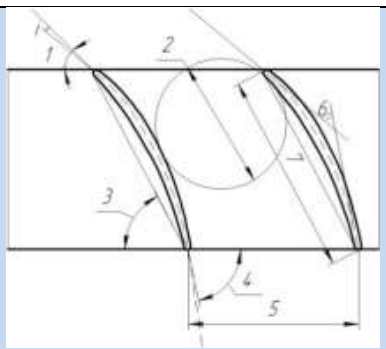
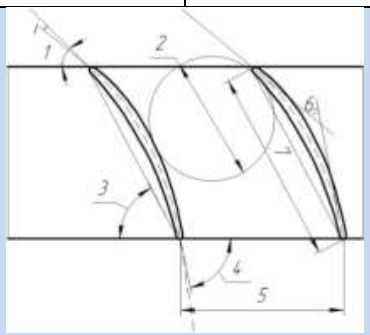
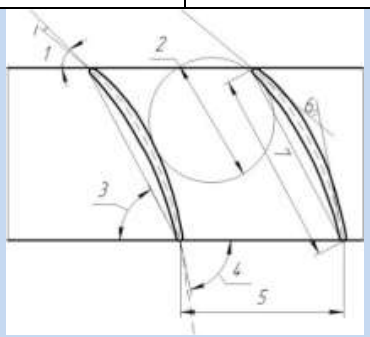
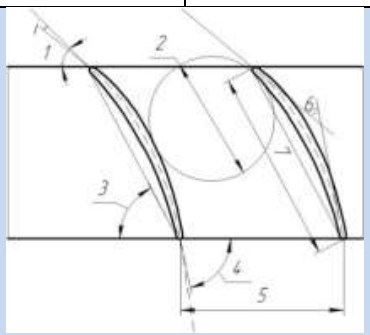
№28	 Определите тип замка лопатки, изображенной на рисунке			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Елочный	Ласточкин хвост	Нет замка	Шарнирный
№29	Как называется рабочее колесо с лопатками, выполненными зацело с диском?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Blisk	*Blink*	*Blade*	*Bulk*
№30	Каким образом установка бандажной полки сказывается на КПД ступени осевого компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	КПД увеличивается	КПД уменьшается	КПД снижается	Зависит от конкретных условий
№31	Каким образом установка бандажной полки сказывается на КПД ступени осевой турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	КПД увеличивается	КПД уменьшается	КПД снижается	Зависит от конкретных условий
№32	Для чего используется улитка в компрессоре?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Дополнительного повышения давления	Сбора потока и передачи его в единый коллектор	Для повышения КПД компрессора	Для уменьшения числа ступеней компрессора

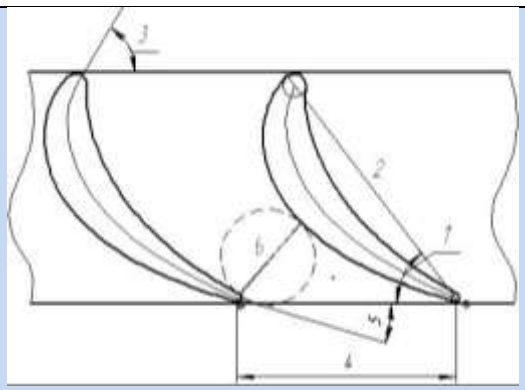
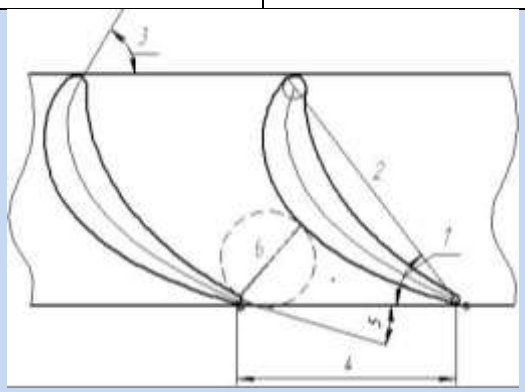
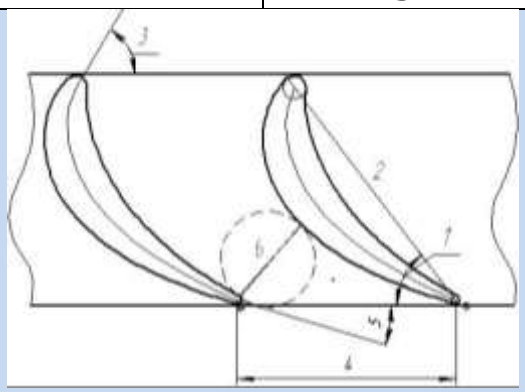
№33	Для чего используется улитка в турбине?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Для торможения потока	Для подогрева потока	Для ускорения потока	Для ускорения потока и равномерного подвода по окружности
№34	Для чего в ступени турбины устанавливается выходной диффузор?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Для увеличения температуры	Для увеличения работы турбины	Для увеличения КПД турбины	Для увеличения массы турбины
№35	Какой из перечисленных типов турбомашин позволяет достичь наибольшего КПД при больших расходах рабочего тела (свыше 10кг/с)?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбомашина	Центробежная турбомашина	Центростремительная турбомашина	Диагональная турбомашина
№36	Какой из перечисленных типов турбомашин позволяет достичь наибольшего КПД при небольших расходах рабочего тела (менее *1кг/с*)?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая турбомашина	Центробежная турбомашина	Центростремительная турбомашина	Диагональная турбомашина
№37	Какой из перечисленных типов компрессора позволяет получить максимальную степень сжатия?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевой компрессор	Центробежный компрессор	Центростремительный компрессор	Диагональный компрессор

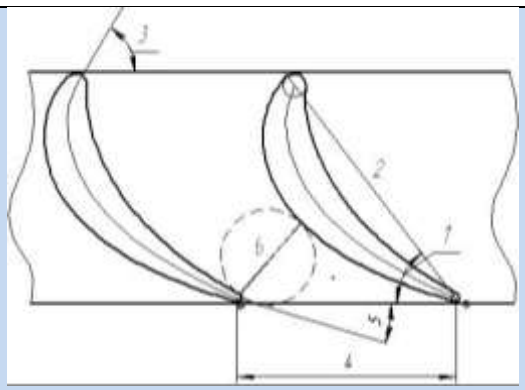
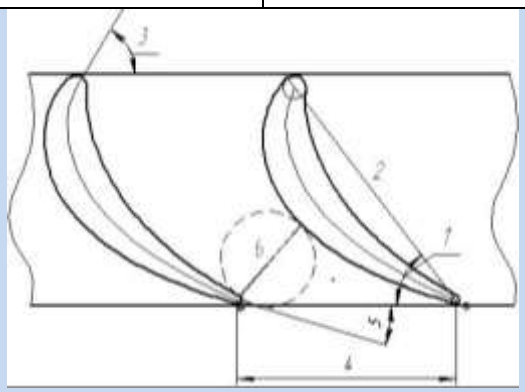
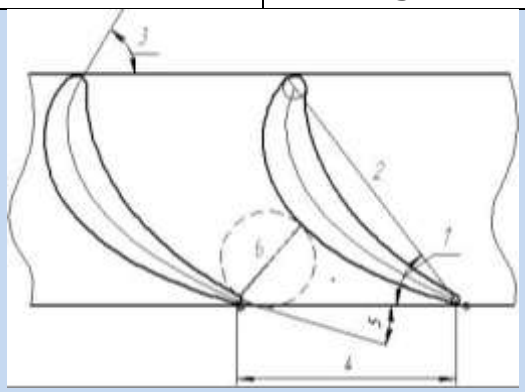
№38	 Какой участок цикла Брайтона соответствует сжатию в компрессоре?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	С-Н	В-К	К-Г	Г-Т
№39	 Какой участок цикла Брайтона соответствует расширению в турбине?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Н-В	В-К	К-Г	Г-Т
№40	Какой лопаточный венец устанавливается первым в ступени осевого компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Рабочее колесо	Наплавляющий аппарат	Сопловой аппарат	Улитка
№41	Какой лопаточный венец устанавливается первым в ступени осевой турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Рабочее колесо	Наплавляющий аппарат	Сопловой аппарат	Улитка

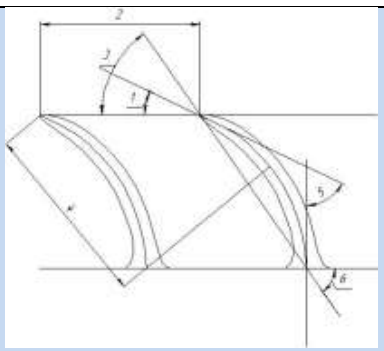
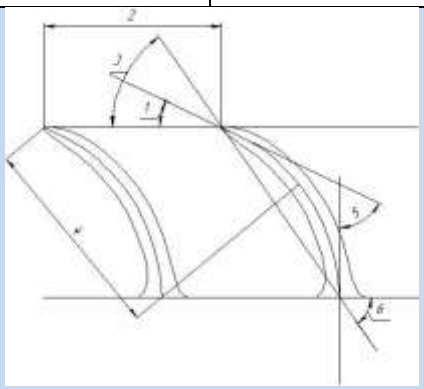
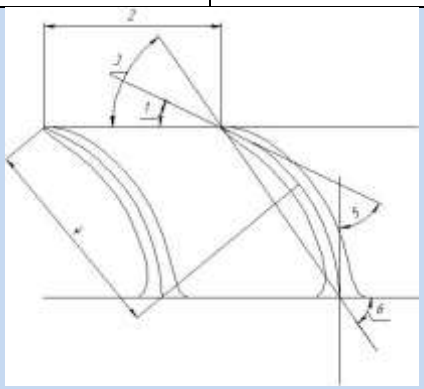
№42	Какая из форм записей параметра означает «статическое давление на выходе из РК»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	p_0^*	p_2	p_1	p_2^*
№43	Какая из форм записей параметра означает «полное давление на выходе из РК»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	p_0^*	p_2	p_1	p_2^*
№44	Какая из форм записей параметра «абсолютная скорость на входе в СА»			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_0	w_1	c_1	c_{1s}
№45	Какая из форм записей параметра означает «относительная скорость на выходе из РК»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_0	w_1	w_2	w_3
№46	Какая из форм записей параметра означает «абсолютная изоэнтропическая скорость потока на выходе из СА»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_1	c_{1s}	w_1	c_{1u}
№47	Какая из форм записей параметра означает «температура потока на выходе из РК заторможенная в относительном движении»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	T_2^*	T_{2w}^*	T_2	T_1^*
№48	Какая из форм записей параметра означает «осевая проекция абсолютной скорости на входе в РК»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_{1u}	c_1	c_{1a}	w_{1u}
№49	Какая из форм записей параметра означает «окружная составляющая относительной скорости на выходе из РК»?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	w_{2u}	w_{2a}	w_2	c_{2u}

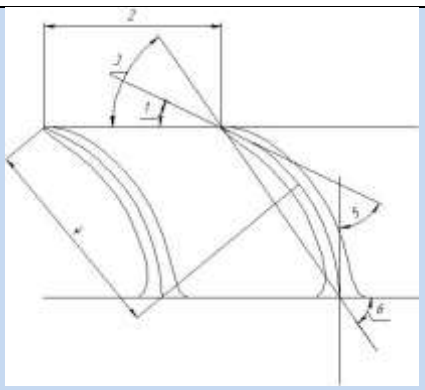
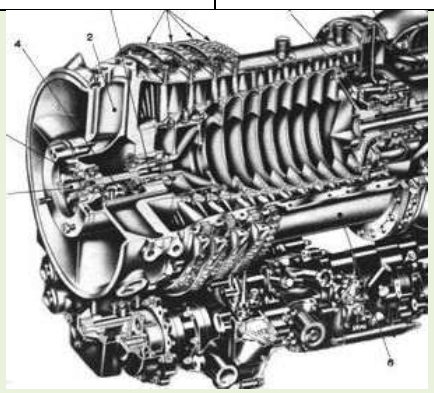
№49	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает угол установки профиля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	4	6
№50	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает конструктивный угол лопатки на входе?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	4	6
№51	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает конструктивный угол лопатки на выходе?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	4	6

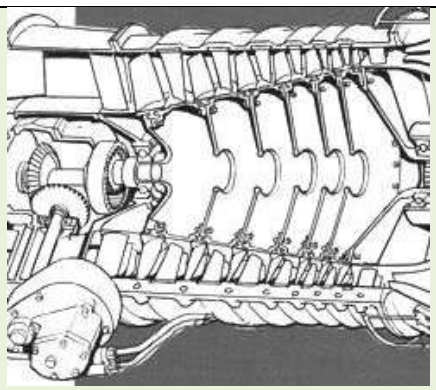
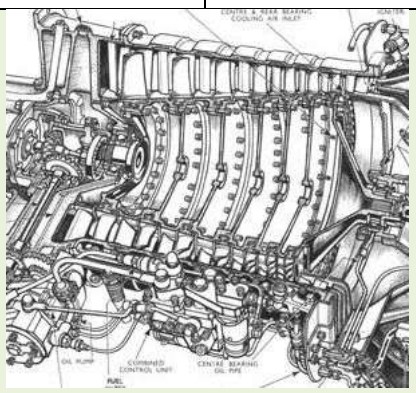
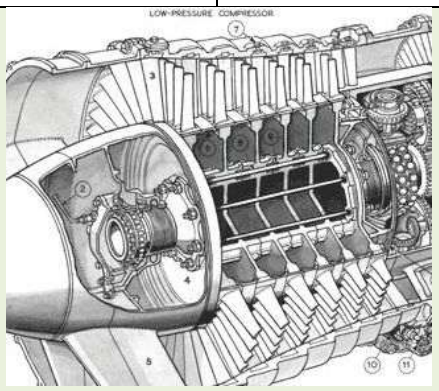
№52	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает угол изгиба профиля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	4	6
№53	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает хорду?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	5	7
№54	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает горло решетки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	5	7
№55	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает шаг решетки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	5	7

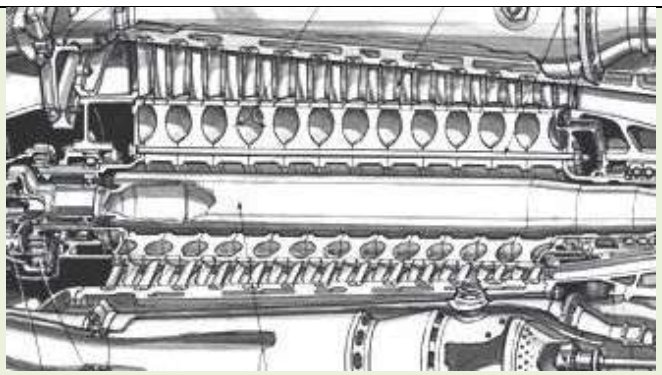
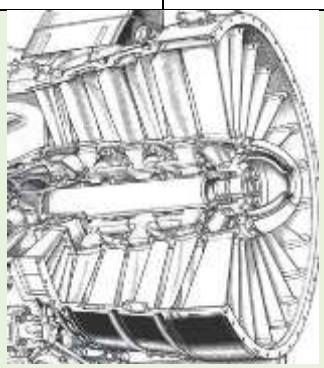
№56	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает шаг решетки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	4
№57	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает угол установки профиля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	4
№58	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает хорду профиля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	4

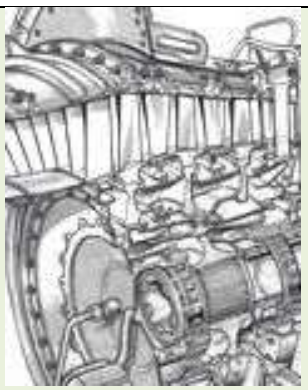
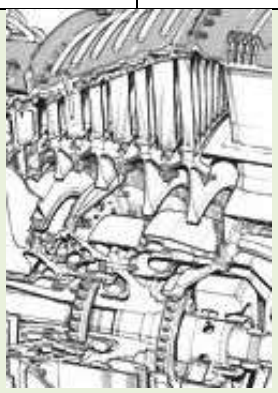
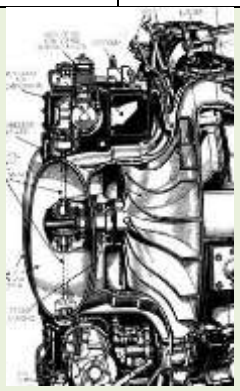
№59	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает конструктивный угол профиля на входе?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	4
№60	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает горло решетки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	4	5	6
№61	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает конструктивный угол профиля на выходе?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	4	6	5	1

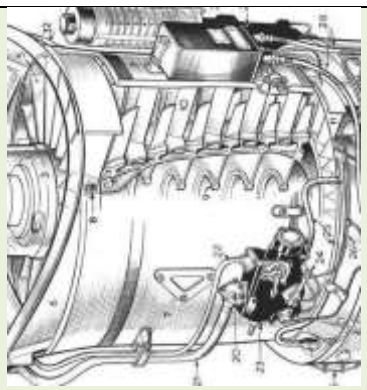
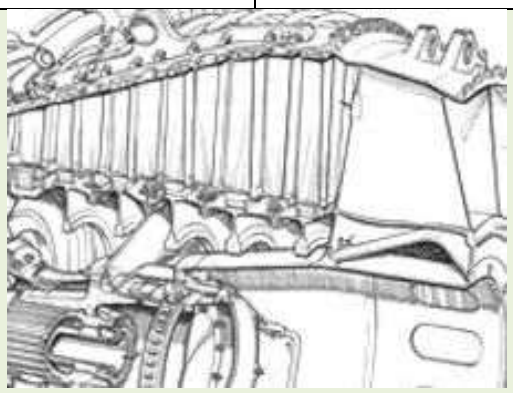
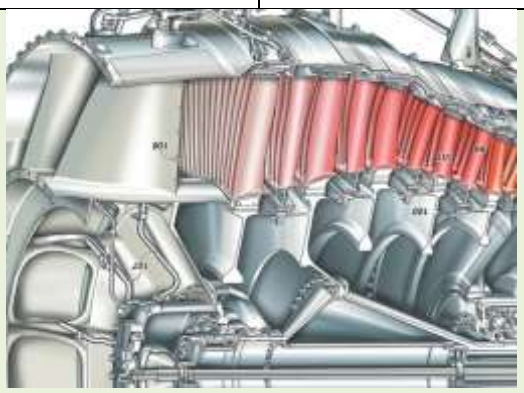
№62	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает конструктивный угол профиля на входе?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	2	3	4	5
№63	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает хорду профиля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	2	3	4	5
№64	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает шаг решетки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	2	3	4	5

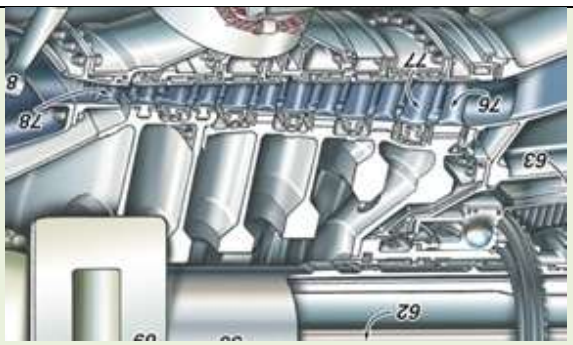
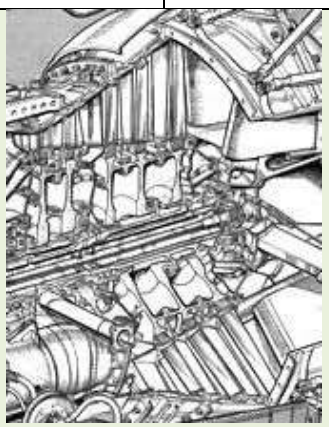
№65	 Какой из обозначенных на рисунке размеров показывает угол установки профиля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	2	3	4	5
№66	Какие функции выполняет бандажная полка в венце осевого компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Повышает КПД	Антивибрационную функцию	Снижает массу	Улучшает протекание характеристик
№67	Какие функции выполняет бандажная полка в венце осевой турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Повышает КПД	Антивибрационную функцию	Снижает массу	Улучшает протекание характеристик
№68	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	5	8	10	12

№69	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	7	9
№70	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	5	7	10
№71	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	6	9

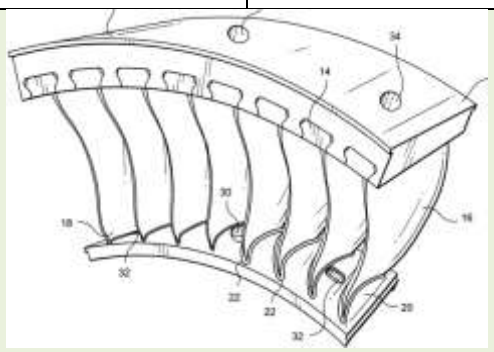
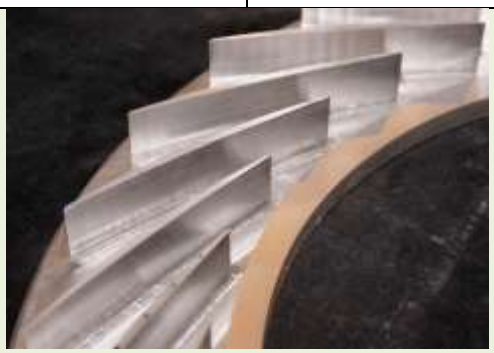
<table>
<tr><td rowspan="3">№72</td><td colspan="4"> 
Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины</td></tr>
<tr><td>А</td><td>Б</td><td>В</td><td>Г</td></tr>
<tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td><td>12</td></tr>
<tr><td rowspan="3">№73</td><td colspan="4"> 
Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины</td></tr>
<tr><td>А</td><td>Б</td><td>В</td><td>Г</td></tr>
<tr><td>1</td><td>3</td><td>6</td><td>9</td></tr>
<tr><td rowspan="3">№74</td><td colspan="4">
Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины</td></tr>
<tr><td>А</td><td>Б</td><td>В</td><td>Г</td></tr>
<tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr>
</table>

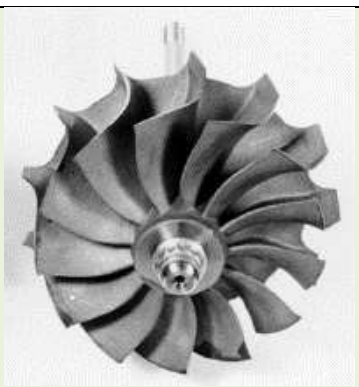
№75	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	3	6	9
№76	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	4	2	1	8
№77	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	4

№78	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	6	12	13
№79	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	5	3	6	8
№80	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	5	10	15

№81	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	6	4	2	1
№82	 Определите число ступеней изображенной на рисунке лопаточной машины			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	4	5
№83	Расставьте элементы ступени осевого компрессора в порядке следования рабочего тела через них.			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	улитка	Рабочее колесо	Направляющий аппарат	Входной направляющий аппарат
№84	Расставьте элементы ступени осевой турбины в порядке следования рабочего тела через них.			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Сопловой аппарат	Улитка	Рабочее колесо	Шелевой СА

№85	Расставьте элементы ступени центростремительной турбины в порядке следования рабочего тела через них.			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Улитка	Рабочее колесо	диффузор	Сопловой аппарат
№86	Расставьте элементы ступени центробежного компрессора в порядке следования рабочего тела через них.			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Безлопаточный диффузор	Рабочее колесо	Лопаточный диффузор	Входной направляющий аппарат
№87	Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Рабочее колесо центробежного компрессора	Сопловой аппарат осевой турбины	Направляющий аппарат осевого компрессора	Рабочая лопатка осевой турбины
№88	Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Направляющий аппарат осевого компрессора	Рабочее колесо центробежного компрессора	Рабочая лопатка осевой турбины	Сопловой аппарат осевой турбины

№89	 Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Рабочая лопатка осевой турбины	Направляющий аппарат осевого компрессора	Рабочее колесо центробежного компрессора	Сопловой аппарат осевой турбины
№90	 Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Сопловой аппарат осевой турбины	Рабочая лопатка осевой турбины	Рабочее колесо центробежного компрессора	Направляющий аппарат осевого компрессора
№91	 Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Лопаточный диффузор	Рабочая лопатка осевой турбины	Рабочее колесо центробежного компрессора	Направляющий аппарат осевого компрессора

№92	 Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Сопловой аппарат осевой турбины	Рабочая лопатка осевой турбины	Рабочее колесо центробежного компрессора	Рабочее колесо центростремительной турбины
№93	 Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Сопловой аппарат осевой турбины	Рабочая лопатка осевого компрессора	Рабочее колесо центробежного компрессора	Направляющий аппарат осевого компрессора
№94	 Что за элемент лопаточной машины изображен на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Сопловой аппарат осевой турбины	Рабочая лопатка осевой турбины	Рабочее колесо центробежного компрессора	Улитка центростремительной турбины

1.3 Контрольные вопросы

1. Дайте определение термину «лопаточная машина».
2. Дайте определение термину «турбомашина».
3. Дайте определение термину «лопаточная машина – исполнитель».
4. Дайте определение термину «лопаточная машина – двигатель».
5. Дайте определение термину «лопатка».
6. Дайте определению термину «лопаточный венец».
7. Дайте определение термину «ступень осевого компрессора».
8. Дайте определение термину «ступень осевой турбины».
9. Дайте определение термину «рабочее колесо».
10. Дайте определение термину «направляющий аппарат».
11. Дайте определение термину «сопловой аппарат».
12. Дайте определение термину «наддув двигателя внутреннего сгорания».
13. Дайте определение понятию «элементарный лопаточный венец».
14. Дайте определение абсолютной скорости потока c в канале РК лопаточной машины.
15. Дайте определение относительной скорости w потока в канале РК лопаточной машины.
16. Дайте определение угла потока в относительном движении β. Изобразите его на треугольнике скоростей.
17. Дайте определение угла потока в абсолютном движении α. Изобразите его на треугольнике скоростей.
18. Для чего нужны лопатки в компрессорах и турбинах.
19. Каким образом осуществляется энергообмен в лопаточной машине?
20. Какие рабочие тела могут использоваться в лопаточных машинах?
21. Какими бывают лопаточные венцы?
22. Из каких основных элементов состоит лопатка?
23. Какие типы замков лопаточных машин вам известны (3 типа)?
24. Из каких элементов состоит ступень радиальной турбины в общем случае?
25. Из каких элементов состоит ступень осевой турбины?

26. Из каких элементов состоит ступень центробежного компрессора в общем случае?
27. Из каких элементов состоит ступень осевого компрессора?
28. Для чего в ступени турбины устанавливается выходной диффузор?
29. В чем принципиальное отличие осевых лопаточных машин от турбомашин других типов?
30. Каким образом по чертежу лопаточной машины найти число ее ступеней?
31. В чем принципиальное отличие центробежных лопаточных машин от турбомашин других типов?
32. В чем принципиальное отличие центростремительных лопаточных машин от турбомашин других типов?
33. Что представляет собой осецентробежный компрессор?
34. Какую функцию выполняет турбина в авиационном ГТД?
35. Какие условия необходимо выполнить для функционирования турбины?
36. Какие условия необходимо выполнить для функционирования компрессора?
37. Какую функцию выполняет турбина в наземной ГТУ?
38. Какую функцию выполняет компрессор в ГТД?
39. Почему в ГТД в качестве привода энергии применяются именно турбины?
40. Почему в ГТД применяются компрессоры именно лопаточного типа?
41. Почему только лопаточный компрессор может применяться в системах турбонаддува?
42. Какую функцию выполняет компрессор в системе наддува двигателя внутреннего сгорания?
43. Какую функцию выполняет турбина в системе наддува двигателя внутреннего сгорания?
44. Какие типы лопаточных компрессоров применяются в агрегатах наддува?
45. Какие типы турбин применяются в агрегатах наддува?

46. Какие типы лопаточных машин применяются в турбонасосном агрегате ЖРД?
47. Прокомментируйте, почему лопаточные машины должны иметь минимальные габариты и вес.
48. Прокомментируйте, почему лопаточные машины должны иметь высокий КПД.
49. Прокомментируйте, почему лопаточные машины должны быть технологичными.
50. Прокомментируйте, почему лопаточные машины должны обеспечивать благоприятное протекание характеристик.
51. Прокомментируйте, почему лопаточные машины должны обеспечивать высокую надежность и живучесть.
52. В чем принципиальная разница между физическими принципами действия машин исполнителей и машин двигателей?
53. От чего зависит окружная скорость u потока в РК лопаточной машины.
54. Дайте определение термину «средняя линия профиля».
55. Дайте определение термину «угол изгиба профиля».
56. Дайте определение термину «максимальная толщина профиля».
57. Дайте определение термину «шаг решетки».
58. Дайте определение термину «фронт решетки».
59. Дайте определение термину «угол установки профиля».
60. Дайте определение термину «конструктивный угол лопатки на входе».
61. Дайте определение термину «конструктивный угол лопатки на выходе».
62. Дайте определение термину «горло решетки».
63. Дайте определение термину «угол атаки».
64. Проставьте индекс сечений на схеме лопаточной машины, представленной на рисунке 1.1.

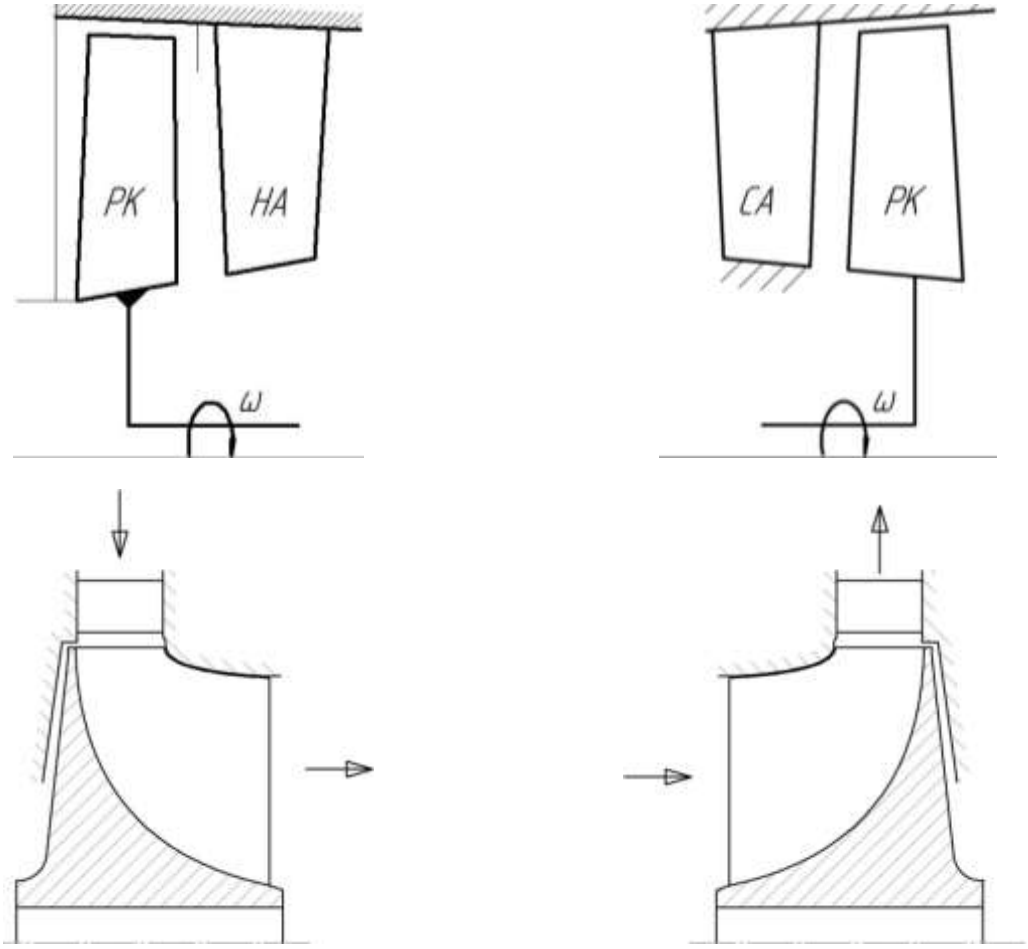


Рисунок 1.1 - Задания к вопросу № 64

65. Как Вы понимаете утверждение, что компрессоры и турбины являются обращенными машинами?
66. Приведите пример лопаточных машин – исполнителей. Поясните, почему именно их Вы выбрали.
67. Приведите пример лопаточных машин – двигателей. Поясните, почему именно их Вы выбрали.
68. Какие функции выполняет бандажная полка в венце осевой турбины?
69. Какие функции выполняет бандажная полка в венце осевого компрессора?
70. Назовите достоинства и недостатки щелевого диффузора.
71. Почему лопаточному диффузору всегда предшествует щелевой?
72. За счет чего в щелевом диффузоре повышается давление?
73. За счет чего давление повышается в лопаточном диффузоре?
74. Назовите достоинства и недостатки лопаточного диффузора.

75. Для чего предназначена улитка в ступени компрессора?
76. Для чего предназначена улитка в ступени турбины?
77. Каким образом установка выходного диффузора в ступени турбины повышает работу турбины?
78. За счет чего в щелевом сопловом аппарате увеличивается скорость потока?
79. За счет чего увеличивается скорость в лопаточном сопловом аппарате?
80. Назовите основные преимущества и недостатки лопаточного СА относительного щелевого.
81. Назовите основные преимущества и недостатки лопаточного диффузора относительного щелевого.
82. Назовите достоинства и недостатки осевых лопаточных машин?
83. Назовите достоинства и недостатки центробежных лопаточных машин?
84. Компрессоры какого типа целесообразно использовать в агрегатах наддува ДВС? Почему?
85. Турбины какого типа целесообразно использовать для привода компрессора в агрегатах наддува ДВС? Почему?
86. Компрессоры какого типа целесообразно использовать в авиационных ГТД? Почему?
87. Турбины какого типа целесообразно использовать в авиационных ГТД? Почему?
88. Турбины какого типа целесообразно использовать в паротурбинных установках? Почему?
89. Будет ли функционировать газотурбинный двигатель без компрессора? Почему?
90. Будет ли функционировать газотурбинный двигатель без турбины? Почему?
91. Почему установка турбонаддува повышает экономичность двигателя внутреннего сгорания?
92. Назовите негативные моменты, связанные с наддувом двигателя внутреннего сгорания?

93. Почему установка наддува позволяет увеличить мощность двигателя внутреннего сгорания?
94. Для чего воздух за компрессором агрегата наддува охлаждается перед подачей в цилиндры ДВС?
95. Назовите основные недостатки турбонаддува.
96. Поясните работу системы регулирования агрегата наддува ДВС?
97. Для чего применяются треугольники скоростей?
98. Схематично изобразите одномерную схему потока в ступени осевого компрессора.
99. Схематично изобразите одномерную схему потока в ступени осевой турбины.
100. Схематично изобразите одномерную схему потока в ступени центробежного компрессора.
101. Схематично изобразите одномерную схему потока в ступени диагонального компрессора.
102. Схематично изобразите одномерную схему потока в ступени центростремительной турбины.
103. Схематично изобразите одномерную схему потока в РК осевого компрессора.
104. Схематично изобразите одномерную схему потока в РК осевой турбины.
105. Схематично изобразите одномерную схему потока в РК центробежного компрессора.
106. Схематично изобразите одномерную схему потока в НА осевого компрессора.
107. Схематично изобразите одномерную схему потока в СА осевой турбины.
108. Схематично изобразите двухмерную схему потока в РК осевого компрессора.
109. Схематично изобразите двухмерную схему потока в ступени осевого компрессора.

110. Схематично изобразите двухмерную схему потока в РК осевой турбины.
111. Схематично изобразите двухмерную схему потока в ступени осевой турбины.
112. Схематично изобразите двухмерную схему потока во входной части РК центростремительной турбины.
113. Схематично изобразите двухмерную схему потока во входной части РК центробежного компрессора.
114. Схематично изобразите двухмерную схему потока в выходной части РК центростремительной турбины.
115. Схематично изобразите двухмерную схему потока в выходной части РК центробежного компрессора.
116. Что из себя представляет собой одномерная модель потока в лопаточной машине? Назовите ее достоинства и недостатки.
117. Что из себя представляет собой двухмерная модель потока в лопаточной машине? Назовите ее достоинства и недостатки.
118. Назовите область применения двухмерной расчетной модели лопаточной машины.
119. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней среднюю линию профиля.
120. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней угол изгиба профиля.
121. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней максимальную толщину профиля.
122. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней шаг решетки.
123. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней фронт решетки.
124. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней угол установки профиля.
125. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней конструктивный угол лопатки на входе.

126. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней конструктивный угол лопатки на выходе.
127. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней горло решетки.
128. Изобразите решетку профилей осевого компрессора. Обозначьте на ней угол атаки.
129. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней среднюю линию профиля.
130. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней угол изгиба профиля.
131. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней максимальную толщину профиля.
132. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней шаг решетки.
133. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней фронт решетки.
134. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней угол установки профиля.
135. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней конструктивный угол лопатки на входе.
136. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней конструктивный угол лопатки на выходе.
137. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней горло решетки.
138. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней косой срез.
139. Изобразите решетку профилей осевой турбины. Обозначьте на ней угол атаки.
140. Изобразите решетку профилей входной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней шаг решетки.
141. Изобразите решетку профилей входной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней фронт решетки.

142. Изобразите решетку профилей входной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней угол установки профиля.
143. Изобразите решетку профилей входной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней конструктивный угол лопатки на входе.
144. Изобразите решетку профилей входной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней горло решетки.
145. Изобразите решетку профилей входной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней угол атаки.
146. Изобразите решетку профилей выходной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней шаг решетки.
147. Изобразите решетку профилей выходной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней фронт решетки.
148. Изобразите решетку профилей выходной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней угол установки профиля.
149. Изобразите решетку профилей выходной части РК центробежного компрессора. Обозначьте на ней конструктивный угол лопатки на входе.
150. Определите, что за изделие изображено на рисунках 1.2 и 1.3? Укажите, какие лопаточные машины применяются на данном изделии?

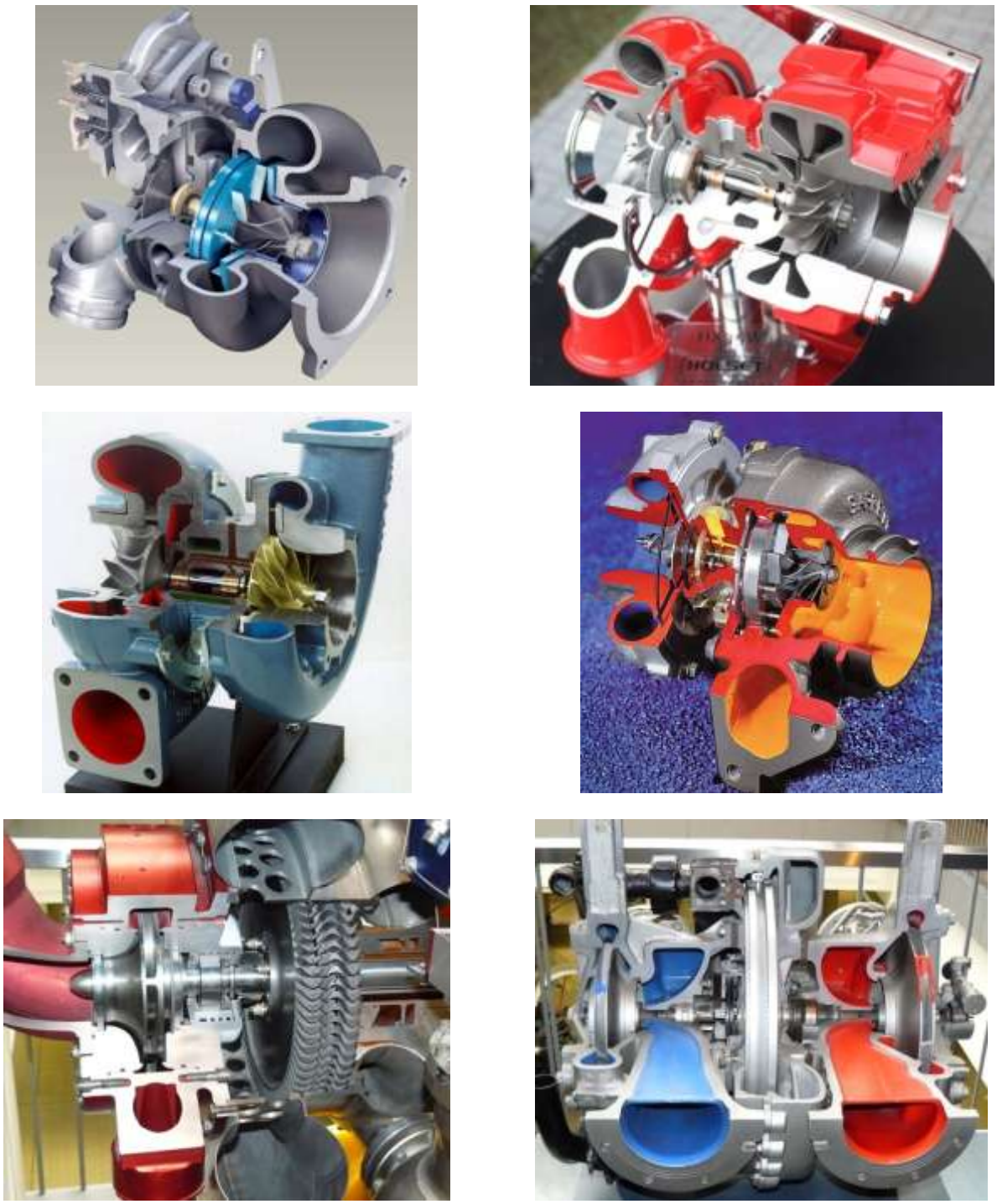


Рисунок 1.2 – Задания к контрольному вопросу № 150

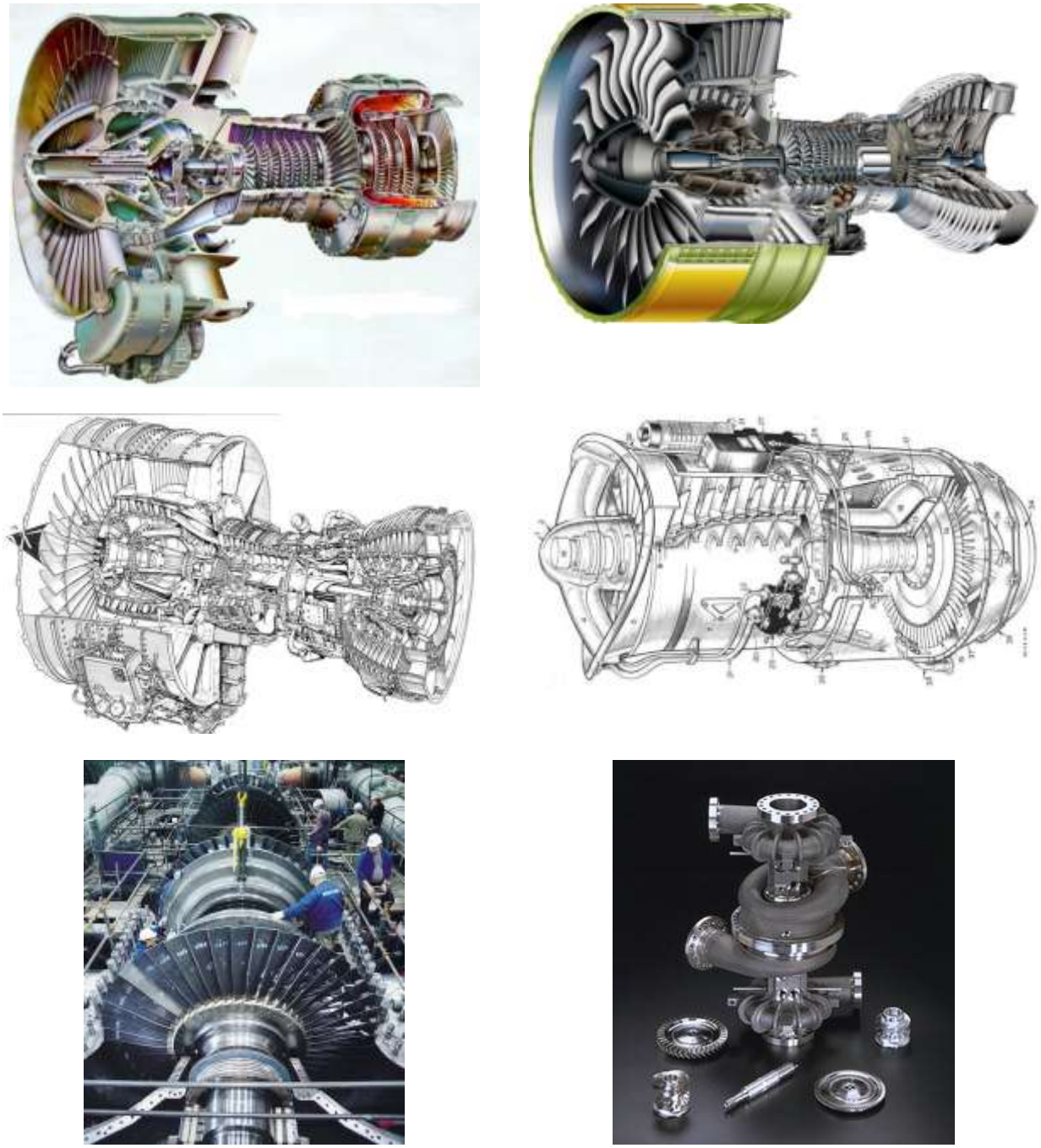


Рисунок 1.3 – Задания к контрольному вопросу № 150

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАЗДЕЛУ «БАЗОВЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН И ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА»

2.1 Важнейшие формулы раздела *№2*

Полные параметры:

$$T^* = T + \frac{c^2}{2c_p}; \qquad p^* = p + \rho\frac{c^2}{2} \text{ при } \rho = const$$

Скорость звука:

$$a = \sqrt{kRT}.$$

Критическая скорость:

$$c_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2k}{k+1}RT^*}.$$

Газодинамические функции:

$$\lambda = \frac{\text{c}}{c_{\text{кр}}} = \frac{c}{\sqrt{\frac{2k}{k+1}RT^*}}; \qquad \tau(\lambda) = \frac{T}{T^*} = 1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2;$$

$$M = \frac{c}{a} = \frac{c}{\sqrt{kRT}}; \qquad \pi(\lambda) = \frac{p}{p^*} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2\right)^{\frac{k}{k-1}};$$

$$\lambda^2 = \frac{\frac{k+1}{2}M^2}{1 + \frac{k-1}{2}M^2}; \qquad \varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho^*} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}};$$

$$M^2 = \frac{\frac{2}{k+1}\lambda^2}{1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2}; \qquad q(\lambda) = \frac{F}{F_{\text{кр}}} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}}\left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}\lambda.$$

Уравнение неразрывности в классическом виде:

$$G_i = \varrho_i F_i c_{in}.$$

Уравнение неразрывности, записанное в параметрах торможения:

$$G = \frac{mFp^*}{\sqrt{T^*}} q(\lambda) \cdot sin\alpha.$$

Уравнение неразрывности в дифференциальном виде:

$$\frac{\partial p}{dt} + \frac{\partial(\rho u)}{dx} + \frac{\partial(\rho v)}{dy} + \frac{\partial(\rho w)}{dz} = 0.$$

Уравнением сохранения энергии в механической форме в абсолютном движении (уравнение Бернулли):

$$L_{\text{м}} = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{\mathrm{c}_2^2 - \mathrm{c}_1^2}{2} + L_{r1-2}; \qquad L_{\text{м}} = \int_1^2 \frac{dp^*}{\rho} + L_r;$$

$$\frac{\mathrm{p}}{\rho} + \frac{\mathrm{c}^2}{2} = const \text{ при } \rho = const.$$

Коэффициент восстановления полного давления:

$$\sigma = \frac{\mathrm{p}_2^*}{\mathrm{p}_1^*}.$$

Уравнение сохранения энергии в механической форме в относительном движении:

$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + L_{r1-2}.$	$L_{\text{м}} = \frac{\mathrm{c}_2^2 - \mathrm{c}_1^2}{2} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2}.$

Уравнение сохранения энергии в тепловой форме в абсолютном движении:

$$Q_{\text{вн}} + L_{\text{м}} = (i_2 - i_1) + \frac{\mathrm{c}_2^2 - \mathrm{c}_1^2}{2} = i_2^* - i_1^* = c_p T_2^* - c_p T_1^*.$$

Уравнение сохранения энергии в тепловой форме в относительном движении:

$$Q_{\text{вн}} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} = (i_2 - i_1) + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} = i_{2w}^* - i_{1w}^* = c_p T_{2w}^* - c_p T_{1w}^*.$$

Уравнение количества движения:

Для РК компрессора:

$$P_u = G_c(c_{1u} - c_{2u});$$

$$P_a = G_c(c_{1a} - c_{2a}) + (p_1 - p_2)t_i h_{лi}.$$

Для РК турбины:

$$P_u = G_c(c_{1u} + c_{2u});$$

$$P_a = G_c(c_{1a} - c_{2a}) + (p_1 - p_2)t_i h_{лi}.$$

Уравнение моментов количества движения:

Для компрессора:

$$L_u = \mathrm{u}_2 \mathrm{c}_{2u} - \mathrm{u}_1 \cdot \mathrm{c}_{1u}.$$

Для турбины:

$$L_u = \mathrm{u}_1 \mathrm{c}_{1u} - \mathrm{u}_2 \cdot \mathrm{c}_{2u}.$$

2.2 Тестовые задания

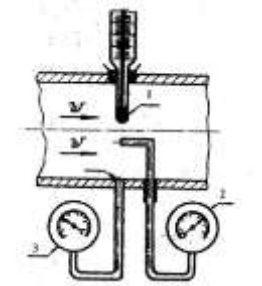
№1	Каким знаком обозначаются параметры торможения?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	*	-	0	никаким
№2	Каким знаком обозначаются статические параметры потока?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	*	-	0	никаким
№3	Как соотносятся между собой полная T^* и статическая T температуры?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$T^*>T$	$T^*=T$	$T^*<T$	-
№4	Как соотносятся между собой полное p^* и статическое p давления?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$p^*>p$	$p^*=p$	$p^*<p$	-
№5	Что определяется с помощью выражения: $T + \frac{c^2}{2c_p}$?			

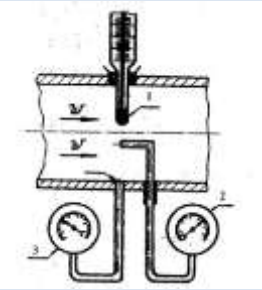
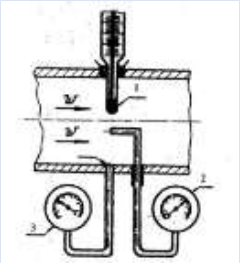
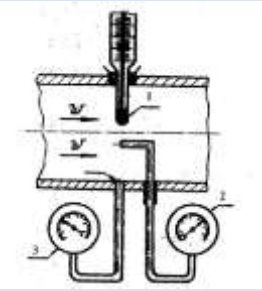
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Полное давление	Плотность заторможенного потока	Полная температура	Энтальпия по заторможенным параметрам
№6	Что определяется с помощью выражения: $p + \rho \frac{c^2}{2}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Полное давление	Плотность заторможенного потока	Полная температура	Энтальпия по заторможенным параметрам
№7	Что определяется с помощью выражения: $\sqrt{kRT}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Скорость звука	Критическая скорость	Физическая скорость	Приведенная скорость
№8	Что определяется с помощью выражения: $\lambda = \frac{c}{\sqrt{\frac{2k}{k+1}RT^*}}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Скорость звука	Критическая скорость	Физическая скорость	Приведенная скорость
№9	Что определяется с помощью выражения: $\sqrt{\frac{2k}{k+1}RT^*}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Скорость звука	Критическая скорость	Физическая скорость	Приведенная скорость
№10	От чего зависит скорость звука?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	От давления	От температуры	От свойств вещества	От расхода рабочего тела

№11	Покажите, с помощью какого выражения можно найти значение ГДФ $\tau(\lambda)$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{p}{p^*}$	$\frac{\rho}{\rho^*}$	$\frac{F_{кр}}{F}$
№12	Покажите, с помощью какого выражения можно найти значение ГДФ $\varepsilon(\lambda)$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{p}{p^*}$	$\frac{\rho}{\rho^*}$	$\frac{F_{кр}}{F}$
№13	Покажите, с помощью какого выражения можно найти значение ГДФ $\pi(\lambda)$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{p}{p^*}$	$\frac{\rho}{\rho^*}$	$\frac{F_{кр}}{F}$
№14	Покажите, помощью какого выражения можно найти значение ГДФ $q(\lambda)$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{p}{p^*}$	$\frac{\rho}{\rho^*}$	$\frac{F_{кр}}{F}$
№15	Какая величина коэффициента восстановления полного давления соответствует идеальному каналу?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	0	0,5	1,5	1
№16	Каким образом соотносятся между собой давление и скорость в энергоизолировнном потоке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	С ростом скорости давление снижается	С ростом скорости давление растет	С ростом скорости давление не меняется	Изменение скорости не влияет на давление
№17	Что является видимым признаком подвода/отвода работы в термодинамическом процессе?			
	А	***Б***	***В***	***Г***

	Физическое движение элементов	Нагрев	Изменение скорости движения	Изменение цвета
№18	Изменение какого параметра говорит о изменении внутренней энергии газа?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	скорости	давления	температуры	теплоемкости
№19	Изменение какого параметра говорит об изменении кинетической энергии газа?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	скорости	давления	температуры	теплоемкости
№20	Изменение какого параметра говорит об изменении потенциальной энергии газа?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	скорости	давления	температуры	теплоемкости
№21	Какая величина числа Маха соответствует скорости звука?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	0	0,5	1	2
№22	От чего зависит величина отношения статического и полного параметра потока T/T_*?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	от температуры	от давления	от свойств вещества	от уровня скоростей
№23	Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в осевой компрессор?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	абсолютная величина	радиальная проекция	тангенциальная проекция	окружная проекция
№24	Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в центробежный компрессор?			
	А	***Б***	***В***	***Г***

	абсолютная величина	радиальная проекция	тангенциальная проекция	окружная проекция
№25	Какая скорость определяет расход рабочего тела на выходе из центробежного компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	абсолютная величина	радиальная проекция	тангенциальная проекция	окружная проекция
№26	Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в радиальную турбину?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	абсолютная величина	радиальная проекция	тангенциальная проекция	окружная проекция
№27	Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в осевую турбину?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	абсолютная величина	радиальная проекция	тангенциальная проекция	окружная проекция
№28	Как изменяется полная температура T^* в НА компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№29	Как изменяется полное давление p^* в НА компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№30	Как изменяется полная температура T^* в РК компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№31	Как изменяется полное давление p^* в РК компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***

	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№32	Как изменяется полная температура T^* в СА турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№33	Как изменяется полное давление p^* в СА турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№34	Как изменяется полная температура T^* в РК турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№35	Как изменяется полное давление p^* в РК турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	растет	снижается	неизменна	незначительно снижается
№36	Где происходит до 80% потерь энергии?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	в ядре потока	у входной кромки	в пограничном слое	в радиальном зазоре
№37	Какой из показанных на рисунке приборов измеряет статическое давление? 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	никакой

№38	Какой из показанных на рисунке приборов измеряет полное давление? 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	никакой
№39	Какой из показанных на рисунке приборов измеряет статическую температуру? 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	никакой
№40	Какой из показанных на рисунке приборов измеряет полную температуру? 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	1	2	3	никакой
№41	В чем ограниченность уравнения неразрывности?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Нет учета подвода рабочего тела	Нет связи параметров потока с подводимой работой	Нет учета переменности теплоемкости	Нет учета сжимаемость

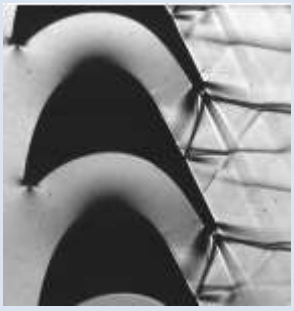
№42	Какое физический смысл имеет выражение $\frac{dp}{\rho}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Удельная работа инерционных сил	работа по изменению давления	Изменение кинетической энергии потока в абсолютном движении	Изменение кинетической энергии потока в относительном движении
№43	Какое физический смысл имеет выражение $\frac{c_2^2-c_1^2}{2}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Удельная работа инерционных сил	работа по изменению давления	Изменение кинетической энергии потока в абсолютном движении	Изменение кинетической энергии потока в относительном движении
№44	Какое физический смысл имеет выражение $\frac{w_2^2-w_1^2}{2}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Удельная работа инерционных сил	работа по изменению давления	Изменение кинетической энергии потока в абсолютном движении	Изменение кинетической энергии потока в относительном движении
№45	Для чего применяется величина коэффициента восстановления давления?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Для оценки гидравлического совершенства лопаточной машины	Для оценки гидравлического совершенства неподвижного энергоизолированного канала	Для оценки уровня переменных напряжений в лопатке	Для оценки потерь внутренней энергии

№46	Какое физический смысл имеет выражение $\frac{u_2^2-u_1^2}{2}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Удельная работа инерционных сил	Работа по изменению давления	Изменение кинетической энергии потока в абсолютном движении	Изменение кинетической энергии потока в относительном движении
№47	Что является источником тепла в реальном процессе в турбомашине?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Принудительный подогрев рабочего тела	Гидравлические потери в проточной части	Изменение давления	Нестационарные явления
№48	Что позволяет вычислить уравнение количества движения?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Мощность турбомашины	Расход рабочего тела через турбомашину	Работу турбомашины	Усилия, действующие на лопатки
№49	Что позволяет вычислить уравнение моментов количества движения?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Мощность турбомашины	Расход рабочего тела через турбомашину	Работу турбомашины	Усилия, действующие на лопатки
№50	Что позволяет вычислить уравнение неразрывности?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Мощность турбомашины	Расход рабочего тела через турбомашину	Работу турбомашины	Усилия, действующие на лопатки
№51	При каких условиях работа передается от лопаток к потоку?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$u_2c_{2u} > u_1 \cdot c_{1u}$	$u_2c_{2u} = u_1 \cdot c_{1u}$	$u_2c_{2u} < u_1 \cdot c_{1u}$	$u_2c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u} = 1$

№52	При каких условиях работа отбирается лопатками от потока?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$u_2c_{2u} > u_1 \cdot c_{1u}$	$u_2c_{2u} = u_1 \cdot c_{1u}$	$u_2c_{2u} < u_1 \cdot c_{1u}$	$u_2c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u} = 1$
№53	Чем ограничивается работа, подводимая в ступени компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Частотой вращения	Температурой рабочего тела	Углом поворота потока в лопатках	Уровнем переменных напряжений
№54	Чем ограничивается работа, получаемая в ступени турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Частотой вращения	Температурой рабочего тела	Углом поворота потока в лопатках	Уровнем переменных напряжений
№55	Назовите предельную величину угла поворота потока в лопаточном венце компрессора?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	20°	30°	40°	50°
№56	Из-за чего величина поворота потока в лопаточном венце компрессора ограничена?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	из-за нестабильности течения в диффузорном канале	из-за нестабильности течения в конфузорном канале	из-за повышенной нагрузки на лопатку	Из-за возникновения скачков уплотнения
№57	Назовите причину уменьшения высоты лопатки компрессора по длине проточной части?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	рост плотности	подвод работы	рост температуры	ускорение потока

№58	Назовите причину увеличения высоты лопатки турбины по длине проточной части?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	отвод работы	снижение температуры	торможение потока	уменьшение плотности
№59	В каком месте межлопаточного канала возникают профильные потери?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	На поверхности лопатки	За лопатками	На концевых поверхностях	В зазорах
№60	В каком месте межлопаточного канала возникают концевые потери?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	На поверхности лопатки	За лопатками	На концевых поверхностях	В зазорах
№61	Когда проявляются волновые потери?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	всегда	на дозвуковых скоростях	на сверхзвуковых скоростях	никогда
№62	Когда проявляются потери на отрыв?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	всегда	при отклонении угла натекания от расчетного значения	на сверхзвуковых скоростях	никогда
№63	Какие из перечисленных факторов оказывают наибольшее влияние на потери трения?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Толщина выходной кромки	Скорость потока в межлопаточном канале	Толщина пограничного слоя	Угол поворота потока в лопаточном венце
№64	Какие из перечисленных факторов оказывают наибольшее влияние на потери из-за отрыва потока?			
	А	***Б***	***В***	***Г***

	Толщина выходной кромки	Скорость потока в межлопаточном канале	Угол натекания потока	Угол поворота потока в лопаточном венце
№65	Какие из перечисленных факторов оказывают наибольшее влияние на кромочные потери?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Толщина выходной кромки	Скорость потока в межлопаточном канале	Угол натекания потока	Угол поворота потока в лопаточном венце
№66	Какие из перечисленных факторов оказывают наибольшее влияние на волновые потери?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Толщина выходной кромки	Скорость потока в межлопаточном канале	Угол натекания потока	Угол поворота потока в лопаточном венце
№67	Какие из перечисленных факторов оказывают наибольшее влияние на вторичные потери?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Толщина выходной кромки	Скорость потока в межлопаточном канале	Угол натекания потока	Угол поворота потока в лопаточном венце
№68	Какие из перечисленных факторов оказывают наибольшее влияние на потери в радиальном зазоре?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Толщина выходной кромки	Скорость потока в межлопаточном канале	Угол натекания потока	Угол поворота потока в лопаточном венце
№69	При каких условиях отрыв потока вблизи входной кромки не возникнет?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	При нулевом угле атаки	При отрицательном угле атаки	При положительном угле атаки	Отрыв есть всегда

№70	Что изображено на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Вторичное течение	Подковообразный вихрь	Скачек уплотнения	Отрыв потока
№71	Что изображено на рисунке?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Вторичное течение	Подковообразный вихрь	Скачек уплотнения	Отрыв потока
№72	Что изображено на рисунке? 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Вторичное течение	Подковообразный вихрь	Скачек уплотнения	Отрыв потока

2.3 Контрольные вопросы

1. Чем полные параметры потока отличаются от статических?
2. Какие параметры потока описывают состояние газа?
3. Почему полные параметры потока больше статических?
4. Что характеризуют полные параметры потока?
5. Дайте определение скорости звука.
6. Дайте определение критической скорости.
7. В чем отличие числа Маха от приведенной скорости?
8. Дайте определение газодинамических функций.
9. Запишите уравнение неразрывности в классической форме. Поясните все его составляющие.
10. Запишите уравнение неразрывности, через параметры торможения. Поясните все его составляющие.
11. Чем определяется расход рабочего тела?
12. Запишите уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении применительно к потоку в осевой турбине.
13. Запишите уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении применительно к потоку в центростремительной турбине.
14. Запишите уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении применительно к потоку в осевом компрессоре.
15. Запишите уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении применительно к потоку в центробежном компрессоре.
16. При каких условиях меняется величина полного давления p^* в потоке газа в турбомашине?
17. При каких условиях меняется величина полной температуры T^* в потоке газа в турбомашине?
18. Почему в турбомашинах часто пренебрегают энергообменом между стенками проточной части и потоком рабочего тела?
19. Запишите уравнение энергии в механической форме в относительном движении применительно к потоку в осевом компрессоре.
20. Запишите уравнение энергии в механической форме в относительном движении применительно к потоку в центробежном компрессоре.

21. Запишите уравнение энергии в механической форме в относительном движении применительно к потоку в осевой турбине.

22. Запишите уравнение энергии в механической форме в относительном движении применительно к потоку в центростремительной турбине.

23. Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в осевую турбину? Поясните свой ответ схемой.

24. Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в осевой компрессор? Поясните свой ответ схемой.

25. Какая скорость определяет расход рабочего тела на выходе из радиально-осевой турбины? Поясните свой ответ схемой.

26. Какая скорость определяет расход рабочего тела на входе в РК центростремительной турбины? Поясните свой ответ схемой.

27. Какая скорость определяет расход рабочего тела на выходе из РК ЦБК? Поясните свой ответ схемой.

28. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме

29. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

30. Изобразите одномерную расчетную модель потока в НА осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

31. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

32. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

33. Изобразите одномерную расчетную модель потока в выходной системе ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

34. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

35. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

36. Изобразите одномерную расчетную модель потока в СА осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

37. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени радиальной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

38. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени радиально-осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

39. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК радиальной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

40. Изобразите одномерную расчетную модель потока в входной системы радиальной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение неразрывности в классической форме.

41. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

42. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

43. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени центростремительной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

44. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

45. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

46. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

47. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центростремительной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

48. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

49. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в относительном движении.

50. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в относительном движении.

51. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центростремительной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в относительном движении.

52. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

53. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

54. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени центростремительной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

55. Изобразите одномерную расчетную модель потока в ступени центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

56. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

57. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

58. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центростремительной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

59. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

60. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в относительном движении.

61. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в относительном движении.

62. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центростремительной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в относительном движении.

63. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в относительном движении.

64. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение количества движения.

65. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение количества движения.

66. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центростремительной турбины. Запишите для нее уравнение количества движения.

67. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение количества движения.

68. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение моментов количества движения.

69. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение моментов количества движения.

70. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центростремительной турбины. Запишите для нее уравнение моментов количества движения.

71. Изобразите одномерную расчетную модель потока в РК центробежного компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение моментов количества движения.

72. Что определяется с помощью уравнения количества движения?

73. Что определяется с помощью уравнения моментов количества движения?

74. Связь каких параметров устанавливает уравнение моментов количества движения?

75. От чего зависит работа подводимая лопатками к потоку в компрессоре?

76. От чего зависит работа отбираемая лопатками от потока в турбине?

77. В чем заключается принципиальное отличие рабочих процессов компрессора и турбины?

78. Дайте определение термину пограничный слой.

79. Какие виды пограничного слоя Вам известны?

80. Каким образом в эксперименте можно получить истинное значение полного давления p^*?

81. Каким образом в эксперименте можно получить истинное значение полной температуры T^*?

82. Почему утверждается, что полные параметры характеризуют энергетику потока?

83. Почему использование физической скорости не удобно в лопаточных машинах?

84. Почему при расчете лопаточных машин удобнее пользоваться приведенными скоростями?

85. На что расходуется работа, подводимая в компрессоре?

86. Что необходимо сделать, чтобы работа, подводимая в компрессоре, максимально шла на повышение давления?

87. На что расходуется работа расширения газов в турбине?

88. Что необходимо сделать, чтобы работа расширения газа в турбине максимально перешла в полезную работу?

89. Для чего используется величина коэффициента восстановления полного давления?

90. Объясните принцип возникновения подъемной силы крыльевого профиля.

91. Почему степень сжатия осевого компрессора меньше, чем у центробежного компрессора?

92. За счет чего увеличивается давление в осевом компрессоре?

93. За счет чего увеличивается давление в центробежном компрессоре?

94. На что расходуется энергия расширения газа в РК турбины?

95. Почему компрессор и турбина являются обращенными лопаточными машинами?

96. Поясните, как и почему в НА компрессора изменяется полная температура потока T^*.

97. Поясните, как и почему в СА турбины изменяется полная температура потока T^*.

98. Поясните, как и почему в НА компрессора изменяется полное давление потока p^*.

99. Поясните, как и почему в СА турбины изменяется полное давление потока p^*.

100. Влияют ли потери энергии в проточной части турбомашины на величину полной температуры T^*?

101. Влияют ли потери энергии в проточной части турбомашины на величину полного давления p^*?

102. Почему меридиональное сечение проточной части турбины имеет расширяющуюся форму?

103. Почему меридиональное сечение проточной части компрессора имеет сужающуюся форму?

104. Почему у компрессора высота лопатки на входе больше чем на выходе?

105. Почему у турбины высота лопатки на входе меньше чем на выходе?

106. При каких условиях высота лопатки компрессора не будет меняться по его длине?

107. При каких условиях высота лопатки турбины не будет меняться по его длине?

108. *Докажите, что $\rho F c_n = \frac{mFp^*}{\sqrt{T^*}} q(\lambda) \cdot sin\alpha$

109. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в ступени осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

110. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для выходного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

111. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в НА осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

112. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в входной части РК ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

113. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в выходной части РК ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для выходного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

114. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в выходной системы ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для выходного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

115. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в ступени осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

116. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

117. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в СА осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

118. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК радиальной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для выходного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

119. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в входной части РК радиально-осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

120. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в выходной части РК радиально-осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для выходного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

121. Изобразите двухмерную расчетную модель потока во входной системе радиальной турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для выходного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

122. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в щелевом диффузоре ЦБК. Обозначьте характерные сечения. Запишите для входного сечения уравнение неразрывности в параметрах торможения.

123. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в ступени осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

124. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в ступени осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

125. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

126. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в абсолютном движении.

127. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в относительном движении.

128. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в механической форме в относительном движении.

129. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в ступени осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

130. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в ступени осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

131. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

132. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в абсолютном движении.

133. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в относительном движении.

134. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение энергии в тепловой форме в относительном движении.

135. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение количества движения.

136. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение количества движения.

137. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевого компрессора. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение моментов количества движения.

138. Изобразите двухмерную расчетную модель потока в РК осевой турбины. Обозначьте характерные сечения. Запишите для нее уравнение моментов количества движения.

139. На что расходуются работа инерционных сил и подводимое в рабочем процессе тепло?

140. От чего зависит температура T_w^* потока, заторможенного в относительном движении?

141. Почему в рабочем колесе центробежного компрессора увеличивается статическая температура?

142. Почему в рабочем колесе осевого компрессора увеличивается статическая температура?

143. Какое воздействие оказывает окружная составляющая силы P_u, действующей на рабочую лопатку компрессора?

144. Какое воздействие оказывает окружная составляющая силы P_u, действующей на рабочую лопатку турбины?

145. Почему для работы компрессора к нему необходимо подводить работу?

146. Почему вращается рабочее колесо турбины?

147. Какое воздействие оказывает осевая составляющая силы P_a, действующей на рабочую лопатку турбину?

148. Какое воздействие оказывает осевая составляющая силы P_a, с которой лопатка компрессора действует на рабочее тело?

149. Почему рабочее тело движется через компрессор от меньшего давления к большему?

150. Зависит ли работа передаваемая/ получаемая лопаточной машиной от уровня давлений в проточной части? Поясните свой ответ с использованием уравнения.

151. Зависит ли работа передаваемая/ получаемая лопаточной машиной от свойств рабочего тела? Поясните свой ответ с использованием уравнения.

152. Зависит ли работа передаваемая/ получаемая лопаточной машиной от температуры рабочего тела? Поясните свой ответ с использованием уравнения.

153. Зависит ли работа передаваемая/ получаемая лопаточной машиной от частоты вращения РК? Поясните свой ответ с использованием уравнения.

154. За счет чего можно увеличить работу ступени компрессора? Какие ограничения здесь существуют?

155. За счет чего можно увеличить работу ступени турбины? Какие ограничения здесь существуют?

156. Почему число ступеней компрессора больше числа ступеней турбины одновального газогенератора?

157. Почему число ступеней турбины меньше числа ступеней компрессора одновального газогенератора?

158. Что необходимо сделать для того, чтобы число ступеней компрессора и турбины одновального газогенератора совпало?

159. Изобразите треугольники скоростей на входе и выходе, соответствующий изображенному профилю рабочей лопатки (рисунок 2.1) на расчетном режиме.

160. Начертите эскизы лопаток компрессора и турбины, соответствующие приведенным планам скоростей (рисунок 2.2).

161. Каким образом положительная закрутка влияет на работу ступени компрессора?

162. Каким образом отрицательная закрутка влияет на работу ступени компрессора?

163. Почему угол поворота потока в лопаточном венце компрессора ограничен? Назовите примерную величину предельного угла поворота потока.

164. Почему величина Δc_u в ступени компрессора существенно меньше, чем в ступени турбины?

165. Изобразите план скоростей ступени осевого компрессора. Покажите, как изменится величина Δc_u при увеличении угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

166. Изобразите план скоростей ступени осевого компрессора. Покажите, как изменится величина Δc_u при уменьшении угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

167. Изобразите план скоростей ступени осевого компрессора. Покажите, как изменится величина Δc_u при увеличении угла входа потока в РК в абсолютном движении α_1. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

168. Изобразите план скоростей ступени осевого компрессора. Покажите, как изменится величина Δc_u при уменьшении угла входа потока в РК в абсолютном движении α_2. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

169. Изобразите план скоростей ступени осевой турбины. Покажите, как изменится величина Δc_u при увеличении угла входа потока в РК в абсолютном движении α_1. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

170. Изобразите план скоростей ступени осевой турбины. Покажите, как изменится величина Δc_u при уменьшении угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

171. Изобразите план скоростей ступени осевой турбины. Покажите, как изменится величина Δc_u при увеличении угла выхода потока из СА в абсолютном движении α_1. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

172. Изобразите план скоростей ступени осевой турбины. Покажите, как изменится величина Δc_u при уменьшении угла выхода потока из СА в абсолютном движении α_1. Остальные элементы треугольника полагать неизменными.

173. Почему степень сжатия осевого компрессора меньше, чем центробежного?

174. Укажите на схеме с изображением структуры потока (рисунок 2.3) вторичный вихрь.

175. Укажите на схеме с изображением структуры потока (рисунок 2.3) подковообразный вихрь.

176. Укажите на схеме с изображением структуры потока (рисунок 2.3) отрыв пограничного слоя.

177. Почему в каналах с большими лопатками потери энергии меньше, чем в каналах с малыми лопатками?

178. Где сосредоточено до 80% потерь энергии в межлопаточном канале?

179. Поясните сущность потерь трения?

180. Какие факторы определяют потери в пограничном слое?

181. Как скорость потока в межлопаточном канале влияет на потери трения?

182. Поясните сущность кромочных потерь.

183. Какие факторы определяют величину кромочных потерь?

184. Поясните сущность потерь на отрыв?

185. При каких условиях возникает отрыв потока у входной кромки?

186. Почему турбинный лопаточный венец более атакоустойчив чем компрессорный?

187. Какой из отрывов приводит к большим потерям: со спинки или корытца? Почему?

188. Поясните сущность волновых потерь?

189. Когда возникают волновые потери?

190. Из каких компонентов состоят вторичные потери?

191. Поясните причину возникновения подковообразного вихря.

192. Поясните причину возникновения парного вихря.

193. Какие факторы влияют на величину вторичных потерь.

194. Поясните механизм потерь энергии в радиальном зазоре над небандажированной лопаткой.

195. Поясните механизм потерь энергии в радиальном зазоре над бандажированной лопаткой.

196. Какие факторы влияют на величину потерь в радиальном зазоре.

197. Какие методы уменьшения потерь в радиальном зазоре Вам известны?

198. Каким образом установка бандажной полки меняет структуру утечек в радиальном зазоре?

199. Поясните механизм потерь связанных с влиянием осевого зазора.

200. Каким образом можно снизить потери, связанные с влиянием осевого зазора?

201. Поясните механизм возникновения дисковых потерь.

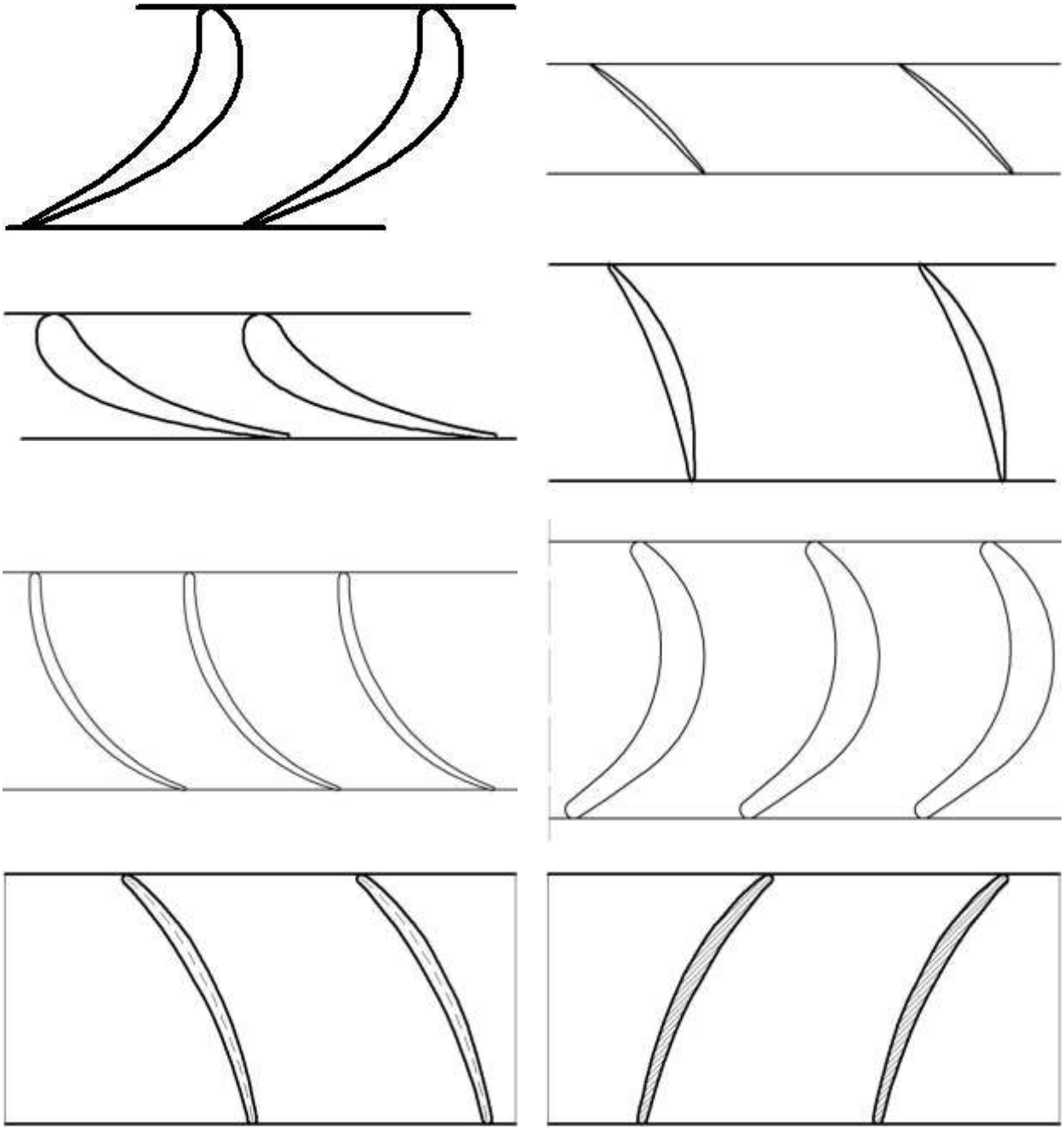


Рисунок 2.1 – Задания к контрольному вопросу № 80

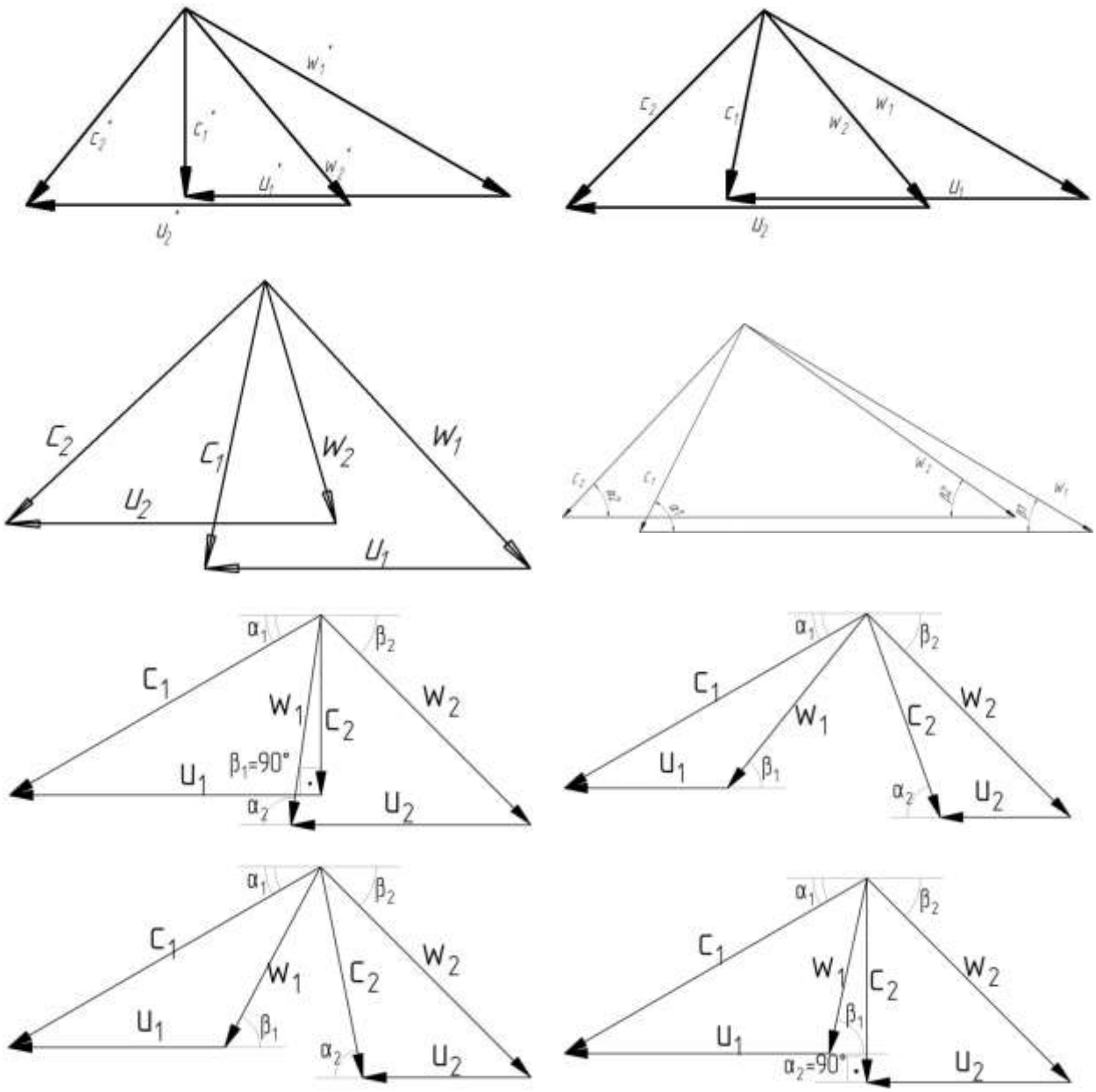


Рисунок 2.2 – Задания к контрольному вопросу № 81

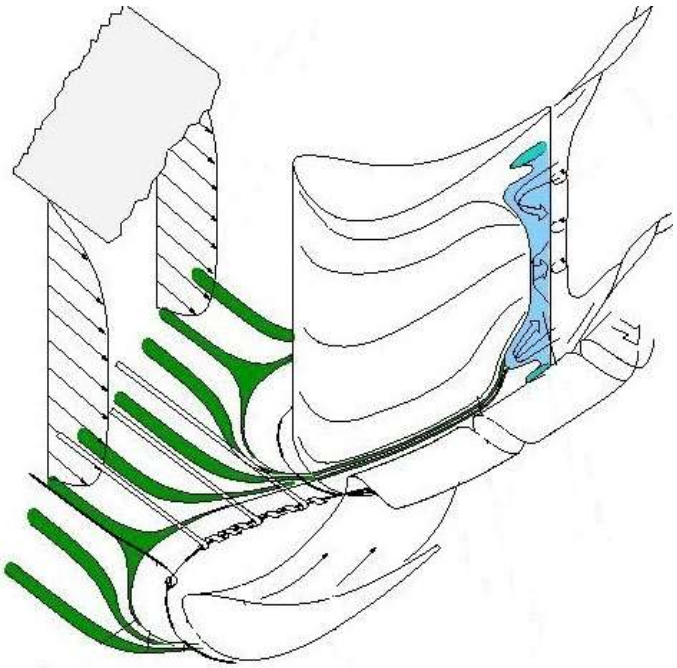


Рисунок 2.3 – Изображение к заданию *№95…97*

2.4 Задачи

1. Определить температуру воздуха на выходе из компрессора, потребляющего мощность N_K = 23,8 МВт, на взлетном режиме работы ГТД (T_H = 288 К) при расходе $G_в$ = 70 кг/с.
2. Построить график изменения потребляемой компрессором мощности при наборе высоты от 100 до 2000 м, воспользовавшись данными задачи 1.
3. Определить скорость полёта самолёта в САУ на высоте $H_п$ = 11000 м, если статическое давление на входе в компрессор $p_в$ = 35 кПа при $\lambda_{ав}$ = 0,7 и $\sigma_{вх}$ = 0,98.
4. Определить скорость воздушного потока на входе в компрессор, если T_H =242 К, скорость полёта 1000 км/ч, а статическая температура на входе T_B = 270 К.
5. Определить параметры состояния рабочего тела (полные и статические) и диаметральные размеры на выходе из компрессора, если G_B =160 кг/с, $\pi_к^*$= 4,8, $\eta_к^*$= 0,88, $V_п$= 3000 км/ч, $H_п$ = 11000 м, $\sigma_{вх}$ = 0,7. Принять направление потока на выходе осевым, величину скорости c_{aK} равной 160 м/с, а относительный диаметр втулки последней ступени не должен превышать значения 0,9.

6. Оценить основные (диаметральные и осевые) геометрические параметры ступени осевого компрессора, если расход воздуха составляет $G_в$ = 45,5 кг/с, температура на входе - $T_1^* = 385\ K$, давление – $p_1^* = 253{,}3\ кПа$, осевая скорость – $c_{1a} = 215\ м/с$. Принять относительные изменения кольцевой площади в ступени $F = (F_{1a}/F_{3a}) = 1{,}1$, относительный диаметр ки $\bar{d}_{1вт} = 0{,}41$, а форму проточной части с $D_{ср} = const$.
7. Оценить основные (диаметральные и осевые) геометрические размеры ступени осевой турбины, если параметры состояния рабочего тела равны: $p_0^* =$ ны: $p_0^* = 2675 кПа; T_0^* = 1700\ K; G_{г0} = 44{,}9\ кг/с$; $p_2^* = 812\ кПа; T_2^* = 1539\ K$; $G_{г2} = 46{,}7\ кг/с$. Осевая составляющая на входе в ступень $c_{0a} - 150\ м/с$, а относительное увеличение её в проточной части составляет $\Delta\bar{c}_a = 1{,}28$. Относительную высоту лопатки РК на выходе из ступени принять равной $(D_{ср}/h_2) = 6{,}6$, а закон изменения формы проточной части - $D_{вт} = const$.
8. Определить потребные площади и основные диаметральные размеры в контрольных сечениях на входе и выходе из компрессора НД и компрессора ВД двухвального ТРДД при полёте самолёта в САУ на высоте $H_п$ = 5000 м со скоростью 450 км/ч, если расход воздуха $G_В$ = 92 кг/с, $\sigma_{вх}$ = 0,98, работы и КПД каскадов НД и ВД соответственно равны: $H_{КНД}$ = 125 кДж/кг; $\eta^*_{КНД} = 0{,}89$; $H_{КВД}$= 188 кДж/кг; $\eta^*_{КВД} = 0{,}88$. На входе в каскад НД принять $c_{aВ}$ = 190 м/с, на выходе из каскада ВД - $c_{aК}$ =150 м/с. Относительный диаметр втулки на входе в каскад НД принять равным $\bar{d}_{В\,вт} = 0{,}4$, форму проточной части обоих каскадов выполнить с $D_{ср} = const$.
9. Определить потребные площади и основные диаметральные размеры в контрольных сечениях на входе и выходе из турбины ВД двухзального ТРДД, если расход газа $G_{гВД}$ = 94 кг/с; $T_Г^* = 1765\ K$, $\eta^*_{ТВД} = 0{,}84$; $T_Т^* = 1080\ K$; $H_{ТНД} = 260\ кДж/кг$; $p_Т^* = 350\ кПа$; $\eta^*_{ТНД} = 0{,}9$. Направление скорости потока на входе и выходе из турбины ВД считать осевым, а величину c_{ai} принять в соответствии с типовыми рекомендациями.
10. Для одноступенчатого вентилятора ТРДД на взлётном режиме известны следующие параметры на входе: $G_{в\Sigma}$ = 426 кг/с; $c_{a\ вх}$ = 220 м/с; степень

двухконтурности m = 6,6; относительный диаметр втулки $\bar{d}_{вт} = 0{,}35$. На выходе из вентилятора параметры рабочего тела имеют значения: $7T^*_{KI} = T^*_{KII} = 342\,K$; $p^*_{KI} = p^*_{KII} = 172{,}4\,кПа$; $c_{а\ KI}$ = 215 м/с; $c_{а\ KII}$ = 195 м/с. При этом поток во втором контуре имеет осевое направление (a_{KII} = 90°), а в первом - угол закрутки a_{KI} = 75°. Определить наружный и втулочный диаметры на входе и выходе из вентилятора, а также диаметр передней кромки разделителя контуров, если он расположен за РК, а форма проточной части вентилятора выполнена при $D_{ср}$ = const.

11. Как изменятся диаметральные размеры на выходе из вентилятора для условий предыдущей задачи, если переднюю кромку разделителя контуров расположить за НА? Форма проточной части вентилятора также выполнена при $D_{ср}$ = const.
12. Для ТРДД проектируется турбина НД. Известно, что степень двухконтурности $m = 7{,}1$, наружный диаметр вентилятора на входе $D_{кВ}$ = 1,7 м, а диаметр разделителя $D_{разд}$= 0,89 м. Осевая площадь на выходе из турбины ВД составляет $F_{а\ ТВД} = 0{,}092\,м^2$. Расход газа на входе в турбину НД $G_{гНД}$ - 58 кг/с. Параметры состояния рабочего тела на выходе из турбины НД: $T^*_T = 788\,K$; $p_т$*= 127 кПа. Определить основные диаметральные размеры турбины НД на входе и выходе из неё, если форма проточной части должна быть выполнена по закону $D_{ср}$ = const.
13. Для проектируемого ТРДД известны следующие параметры: $G_{вI}$ = 46 кг/с; $G_{вII}$ = 318 кг/с; $p^*_B = 101{,}3\,кПа$; $T^*_B = 288\,K$; H_{KII} = 54 кДж/кг; $H_{КНД}$ = 97,4 кДж/кг; $\eta^*_{KI} = \eta^*_{KII} = \eta^*_{КНД} = 0{,}88$. Осевая составляющая абсолютной скорости потока $c_{аВ}$ = 200 м/с, угол закрутки за вентилятором в первом контуре составляет 75°, а величина диаметра разделителя, расположенного за НА вентилятора, $D_{разд}$ = 0,77 м. Определить основные диаметральные размеры в контрольных сечениях на входе и выходе из подпорных ступеней.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАЗДЕЛУ «ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЛОПАТОЧНОГО КОМПРЕССОРА»

3.1 Важнейшие формулы раздела *№3*

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$$

$$G = \frac{mFp^*}{\sqrt{T^*}} q(\lambda);$$

$$\pi_к^* = \frac{p_к^*}{p_в^*};$$

$$\sigma = \frac{p_1^*}{p_0^*}$$

$$\int_{F2} c_{2n} \cdot \rho_2 dF = \int_{F1} c_{1n} \cdot \rho_1 dF$$

$$L_{MEX} = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + L_{r1-2}$$

$$L_u = c_{1u} \cdot u_1 + c_{2u} \cdot u_2$$

$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + L_{r1-2}$$

$$\begin{cases} R_u = G \cdot (C_{2u} \mp C_{1u}) \\ R_a = G \cdot (-C_{2a} + C_{1a}) + (-P_2 \mp P_1) + h \end{cases}$$

$$\eta_{s\,ст}^* = \frac{L_{s\,ст}}{L_{ст}} = \frac{i_{3s}^* - i_1^*}{i_3^* - i_1^*}$$

$$\rho_{ст} = \frac{L_{s\,РК}}{L_{sст}} = \frac{i_{2s} - i_1}{i_{3s} - i_1}$$

$$\rho_{ст} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{c_{1u} + \Delta c_u + c_{1u}}{u} = 1 - \frac{c_{1u}}{u} - \frac{\Delta c_u}{2u}$$

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{c_u^2}{r}$$

$$\frac{1}{2r^2} \cdot \frac{d(c_u r)^2}{dr} + \frac{1}{2} \frac{dc_a^2}{dr} = 0$$

$$\lambda_{w1} = w_1 \Big/ 18{,}32 \sqrt{T_{w1}^*}$$

$$L_{кs}^* = \frac{k}{k-1} R T_1^* \left(\pi_к^{*(k-1)/k} - 1\right)$$

$$G_{в\,пр} = G_в \frac{101325}{p_1^*} \sqrt{\frac{T_1^*}{288}}$$

$$n_{пр} = n \sqrt{\frac{288}{T_1^*}}$$

$$\frac{c_{a\,i}}{c_{a1}} = \frac{F_1}{F_i} \frac{1}{(\pi_i^*)^{1/n}}$$

3.2 Контрольные вопросы базового уровня

1. Дайте определение компрессора.
2. Каким образом можно классифицировать компрессоры?
3. Каким образом компрессоры классифицируются по направлению движения рабочего тела?
4. Каково принципиальное отличие между центробежным и осевым компрессором?
5. Назовите достоинства и недостатки осевых компрессоров.
6. Назовите достоинства и недостатки центробежных компрессоров.
7. Какой тип компрессора обеспечивает получение большей степени сжатия? Почему?
8. Для чего нужно рабочее колесо компрессора?

9. Какие требования предъявляются к ступени компрессора?
10. Из каких элементов состоит ступень осевого компрессора?
11. Из каких элементов состоит ступень центробежного компрессора?
12. Почему в компрессоре воздух движется из области меньшего давления в область повышенного давления?
13. Куда расходуется работа, подводимая к компрессору?
14. Что необходимо сделать, чтобы большая часть подводимой в компрессоре работы расходовалась на повышение давления?
15. Каким образом в конструкции компрессора организуется торможение потока в относительном движении?
16. Каким образом в конструкции компрессора организуется действие инерционных сил?
17. Почему в компрессоре происходит повышение давления?
18. Почему давление растет в направляющем аппарате компрессора?
19. В каком месте компрессора происходит повышение статического давления: во входном НА, РК, в выходной системе?
20. За счет чего растет давление в РК осевого компрессора?
21. За счет чего растет давление в РК центробежного компрессора?
22. Для чего в компрессоре устанавливается направляющий аппарат?
23. Почему в компрессоре рабочее тело движется от меньшего давления к большему?
24. Какие функции выполняет рабочее колесо?
25. Почему нельзя сделать лопаточный компрессор без подвижного рабочего колеса?
26. Почему высота лопатки компрессора уменьшается к выходу?
27. Что необходимо сделать, чтобы высота лопатки компрессора не уменьшалась к выходу?
28. Изобразите график изменения абсолютной скорости c по длине проточной части ступени компрессора. Поясните его протекание.
29. Изобразите график изменения относительной скорости w по длине проточной части ступени компрессора. Поясните его протекание.

30. Изобразите график изменения статического давления p по длине проточной части ступени компрессора. Поясните его протекание.
31. Изобразите график изменения полного давления p^* по длине проточной части ступени компрессора. Поясните его протекание.
32. Изобразите график изменения статической температуры T по длине проточной части ступени компрессора. Поясните его протекание.
33. Изобразите график изменения полной температуры T^* по длине проточной части ступени компрессора. Поясните его протекание.
34. Поясните что такое КПД компрессора $\eta_к$.
35. За счет чего растет давление в лопаточном направляющем аппарате осевого компрессора?
36. За счет чего растет давление в щелевом диффузоре центробежного компрессора?
37. Дайте определение степени реактивности компрессора $\rho_к$. Что она характеризует?
38. Что определяет осевая составляющая скорости на входе в компрессор $c_{1а}$?
39. На что влияет окружная скорость компрессора $U_{1(2)}$?
40. Изобразите схему передачи энергии в ступени компрессора от привода компрессора к лопаткам и далее.
41. Поясните физический смысл степени сжатия компрессора $\pi_к^*$.
42. Для чего на входе в РК компрессора устанавливается входной направляющий аппарат?
43. Каким образом влияет на степень сжатия в ступени компрессора $\pi_к^*$ увеличение температуры воздуха на входе в компрессор $T_в^*$ при неизменной подводимой мощности?
44. Каким образом и почему повлияет на степень сжатия в ступени компрессора $\pi_к^*$ увеличение частоты вращения РК при прочих равных условиях?
45. Покажите на *p-v* диаграмме идеальную и реальную работу сжатия, работу на преодоление сил трения и дополнительное объемное сжатие.
46. Покажите на *T-S* диаграмме идеальную и реальную работу сжатия, работу на преодоление сил трения и дополнительное объемное сжатие.

47. Поясните сущность потерь на дополнительное объемное сжатие в компрессоре.
48. Каким образом в активных ступенях компрессора удается обеспечить равенство относительных скоростей потока на входе и выходе РК.
49. Каким образом в чисто реактивных ступенях компрессора удается обеспечить равенство относительных скоростей потока на входе и выходе НА.
50. Каким образом в расчете можно вычислить степень сжатия $\pi_{\text{к}}^{*}$?
51. Какие образом в расчете можно вычислить для определения КПД $\eta_{\text{к}}$?
52. Какие параметры необходимо измерить для определения степени сжатия в компрессоре $\pi_{\text{к}}^{*}$?
53. Каким образом трение в проточной части компрессора влияет на рабочий процесс в ступени компрессора?
54. Изобразите и поясните цепочку передачи энергии от источника к потоку в компрессоре.
55. В чем принципиальная разница между активным и реактивным компрессором?
56. Почему лопатки компрессора закручены по высоте?
57. Изобразите треугольники скоростей на входе в РК компрессора на втулочном, среднем и периферийном диаметрах.
58. Каким образом и почему повлияет на степень сжатия в ступени компрессора $\pi_{\text{к}}^{*}$ увеличение температуры воздуха на входе в компрессор $\text{T}_{\text{в}}^{*}$ при неизменной подводимой мощности?
59. Каким образом и почему повлияет на степень сжатия в ступени компрессора $\pi_{\text{к}}^{*}$ увеличение частоты вращения РК при прочих равных условиях?
60. Как и почему положительная закрутка потока влияет на кпд компрессора при неизменной частоте вращения?
61. Как и почему отрицательная закрутка потока влияет на кпд компрессора при неизменной частоте вращения?
62. Как и почему положительная закрутка потока влияет на работу компрессора при постоянном кпд?
63. Что определяет осевая составляющая скорости на входе в компрессор $\text{c}_{1\text{a}}$?
64. На что влияет окружная скорость в компрессора $\text{U}_{1(2)}$?

65. Изобразите схему передачи энергии в ступени компрессора от привода компрессора к лопаткам и далее.
66. Что представляют собой потери на объемное сжатие?
67. Поясните физический смысл степени сжатия компрессора $\pi_{\text{к}}^{*}$.
68. Изобразите графическую зависимость изменения давления p по длине активного компрессора. Поясните его протекание.
69. Изобразите графическую зависимость изменения давления p по длине чисто реактивного компрессора. Поясните его протекание.
70. Изобразите графическую зависимость изменения давления p по длине реактивного компрессора. Поясните его протекание.
71. Изобразите треугольник скоростей на входе и выходе из изображенного РК.
72. Изобразите форму РК соответствующую приведенному плану скоростей.
73. Какой тип компрессора обеспечивает получение большего значения степени сжатия? Почему?
74. Что такое закон закрутки и для чего он нужен? Какие законы закрутки Вам известны?
75. Назовите достоинства и недостатки закона закрутки $c_u r = const$.
76. Назовите достоинства и недостатки закона закрутки $\rho = const$.
77. Принципиально изобразите зависимость степени сжатия $\pi_{\text{к}}^{*}$ компрессора от расхода воздуха через компрессор $G_{\text{в}}$. Поясните ее протекание?
78. Принципиально изобразите зависимость кпд компрессора $\eta_{\text{к}}^{*}$ от расхода воздуха через компрессор $G_{\text{в}}$. Поясните ее протекание?
79. Принципиально изобразите напорную линию компрессора. Чем она отличается от характеристики компрессора?
80. Принципиально изобразите, как изменится положение напорной линии при увеличении частоты вращения РК n. Поясните свой ответ.
81. Принципиально изобразите, как изменится положение напорной линии при уменьшении частоты вращения РК n. Поясните свой ответ.
82. Каким образом сделать так, чтобы характеристики были пригодными для сравнения двух компрессоров испытанных в разных атмосферных условиях?
83. Почему максимум степени сжатия $\pi_{\text{к}}^{*}$ наблюдается при меньших расходах воздуха через компрессор $G_{\text{в}}$, чем расчетный?

84. При каких условиях два потока могут считаться подобными? Какие параметры являются критериями подобия в лопаточных машинах?
85. Для чего на входе в РК компрессора устанавливается входной направляющий аппарат?
86. Что такое перепуск воздуха и для чего он применяется?
87. Для чего устанавливаются регулируемые НА? Каким образом они влияют на работу компрессора?
88. Каким образом разделение компрессора на каскады улучшает устойчивость работы компрессора?
89. Перечислите основные способы улучшения устойчивости работы компрессора?
90. Изобразите, как меняются треугольники скоростей на среднем диаметре многоступенчатого компрессора на входе в первую, среднюю и последнюю ступени при уменьшении частоты вращения ротора *n*.
91. Изобразите, как меняются треугольники скоростей на среднем диаметре многоступенчатого компрессора на входе в первую, среднюю и последнюю ступени при увеличении частоты вращения ротора *n*.
92. Поясните что такое вращающийся срыв.
93. Что такое приведение?
94. Каким образом изменится степень сжатия компрессора $\pi_к^*$ при увеличении температуры на входе $T_в^*$, если двигатель управляется по закону $n=const$? Почему?
95. Каким образом изменится степень сжатия компрессора $\pi_к^*$ при уменьшении температуры на входе $T_в^*$, если двигатель управляется по закону $n=const$? Почему?
96. Каким образом изменится степень сжатия компрессора $\pi_к^*$ при уменьшении температуры на входе $T_в^*$, если двигатель управляется по закону $n_{пр}=const$? Почему?
97. Какой вид неравномерности более опасен для работы компрессора и почему?
98. Назовите причины возникновения неравномерности потока на входе в компрессор?
99. Почему осевые компрессоры часто выполняются многоступенчатыми?

100. Каким образом степень сжатия многоступенчатого компрессора $\pi_{\text{к}}^{*}$ связана со степенью сжатия ступеней $\pi_{\text{ст}i}^{*}$ его составляющих?

101. Каким образом работа многоступенчатого компрессора $L_{\text{к}}^{*}$ связана с работами сжатия ступеней $L_{\text{ст}i}^{*}$ его составляющих?

102. Назовите достоинства и недостатки компрессоров имеющих два и более каскадов (ВД и НД).

103. Принципиально изобразите зависимость изменения осевой скорости c_a по длине многоступенчатого компрессора. Поясните протекание графика.

104. Принципиально изобразите зависимость изменения степени реактивности $\rho_{\text{ст}}$ по длине многоступенчатого компрессора. Поясните протекание графика.

105. Принципиально изобразите зависимость изменения работы $L_{\text{к}}^{*}$ по длине многоступенчатого однокаскадного компрессора. Поясните протекание графика.

106. Принципиально изобразите зависимость изменения работы $L_{\text{к}}^{*}$ по длине многоступенчатого двухкаскадного компрессора. Поясните протекание графика.

107. Принципиально изобразите зависимость изменения коэффициента потерь в решетке компрессора $\zeta_{\text{к}}$ в зависимости от угла атаки i. Поясните протекание графика.

108. Принципиально изобразите зависимость изменения угла поворота потока в решетке компрессора $\Delta\beta$ в зависимости от угла атаки i. Поясните протекание графика.

109. Какой оптимальный угол атаки у осевых компрессорных решеток?

110. Каким образом соотносятся кпд ступени компрессора и кпд многоступенчатого компрессора

3.3 Задачи

1. Оценить статические температуру и давление за РК ступени ОК, если $p_1^{*} = 724{,}7\ кПа$; $T_1^{*} = 538{,}1\ K$; $\pi_{ст}^{*} = 1{,}135$ и $\eta_{ст}^{*} = 0{,}87$, а приведенная скорость λ_2 на входе в НА составляет 0,84.

2. Оценить возможный диапазон изменения $\pi^*_{ст}$, если $p^*_1 = 342$ *кПа*; $T^*_1 = 457$ *К*; $L^*_{ст} = 25\ldots40$ *кДж/кг*, $\eta^*_{ст} = 0{,}88\ldots0{,}86$.
3. В результате испытаний ступени ОК получены следующие данные: $p^*_1 = 724{,}7$ *кПа*; $T^*_1 = 538{,}1$ *К*; $p^*_3 = 837{,}6$ кПа; $T^*_3 = 569{,}5$ К. Определить $\eta^*_{ст}$.
4. Найти полные давление и температуру воздуха за РК ступени ОК, если $G_В$ = 23,5 кг/с; $N_{СТ}$ = 500 кВт; $p^*_1 = 619{,}4$ кПа; $T^*_1 = 512{,}6$ К и $\eta^*_{ст} = 0{,}879$.
5. Найти давление и температуру воздуха за ступенью ОК, если она проектируется на следующие данные: $p^*_1 = 101{,}3$ кПа; $T^*_1 = 288$К; $\eta^*_{ст} = 0{,}87$; $L^*_{ст} = 39$ кДж/кг.
6. Определить полные давление и температуру воздуха за ступенью ОК, имеющей следующие параметры: $p^*_1 = 101{,}3$ кПа; $T^*_1 = 288$К; $\eta_{ст} = 0{,}9$; $\pi^*_{ст} = 1{,}2$.
7. Найти КПД ступени ОК , степень повышения давления которой $\pi^*_{ст} = 1{,}2$. Полные температуры на входе и выходе из ступени равны $T^*_1 = 425$ К и $T^*_1 = 450$ К соответственно.
8. Определить $\pi^*_{ст}$ и давление p^*_3 за ступенью ОК, обладающей КПД $\eta_{ст} = 0{,}89$. Полные температура и давление на входе равны $T^*_1 = 325$К $p^*_1 = 155{,}1$ кПа, а на выходе - $T^*_3 = 350$ К.
9. В результате проектирования ступени ОК заложены следующие параметры: $p^*_1 = 204{,}5$ кПа; $T^*_1 = 361$К; $H_{th} = 55$ кДж/кг. Какое максимальное значение $\pi^*_{ст}$ может быть реализовано при этом?
10. Оценить максимальный расход газа через ступень ОК, если $D_{1к} = 0{,}713$ м; $h_л = 0{,}217$ м; $p^*_1 = 431$ кПа; $T^*_1 = 475$К. Для этого расхода газа определить мощность, потребляемую ступенью при $\pi^*_{ст} = 1{,}17$ и $\eta^*_{ст} = 0{,}894$.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАЗДЕЛУ «ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТУРБИНЫ»

4.1 Важнейшие формулы раздела *№4*

$$y_T = u_1 / c_{SCT}$$

$$L_{ST} = \frac{k}{k-1} R T_0^* \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_0^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right];$$

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$$

$$G = \frac{mFp^*}{\sqrt{T^*}} q(\lambda);$$

$$\pi_т^* = \frac{p_0^*}{p_2^*};$$

$$\sigma = \frac{p_1^*}{p_0^*}$$

$$\rho_{cm} = \frac{L_{PKS}}{L_{CTS}}$$

$$\eta_{т\,ст} = \frac{L_{ст}^*}{H_{s\,ст}} = \frac{i_0^* - i_2^*}{i_0^* - i_{2s}}$$

$$L_{s\,ст} = L_{ст}^* + L_{r\ СА} + L_{r\ РК} + (c_2^2/2)$$

$$Y^* = \frac{u_{ср}}{c_{s\,т}^*} \sqrt{z_т}$$

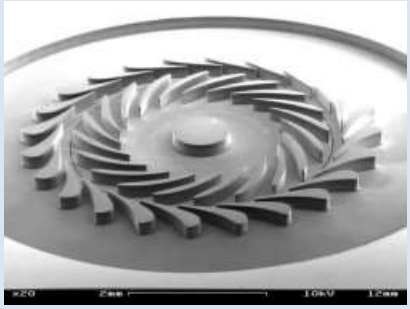
$$\int_{F2} c_{2n} \cdot \rho_2 dF = \int_{F1} c_{1n} \cdot \rho_1 dF$$

$$L_{MEX} = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + L_{r1-2}$$

$$L_u = c_{1u} \cdot u_1 + c_{2u} \cdot u_2$$

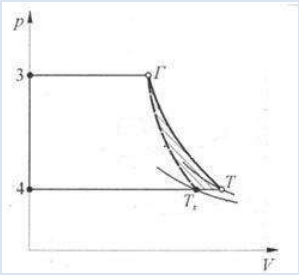
4.2 Тестовые задания

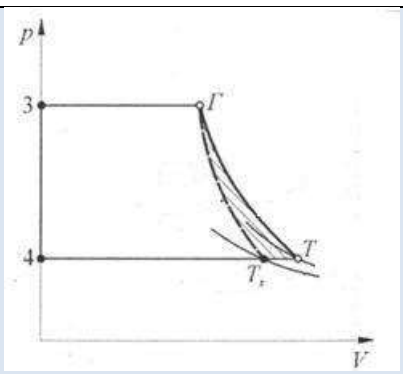
№1	Какие конструктивные особенности позволяют организовать процесс расширения в турбине?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Диффузорная форма межлопаточных каналов турбины	Расширяющаяся к выходу проточная часть	Конфузорная форма межлопаточных каналов турбины	Нет никаких особенностей
№2	Какова форма проточной части турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Расширяется к выходу	Сужается к выходу	Лопатки имеют постоянную высоту	Зависит от конкретных условий

№3	Какова форма межлопаточного канала реактивной турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Постоянного проходного сечения	Диффузорная	Конфузорная	Зависит от конкретных условий
№4	Как соотносятся конструктивные углы на входе и выходе СА турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\alpha_{0л} > \alpha_{1л}$	$\alpha_{0л} = \alpha_{1л}$	$\alpha_{0л} < \alpha_{1л}$	-
№5	Как соотносятся конструктивные углы на входе и выходе HR турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\beta_{1л} > \beta_{2л}$	$\beta_{1л} = \beta_{2л}$	$\beta_{1л} < \beta_{2л}$	-
№6	Определите тип турбины изображенной на рисунке.			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центробежная	Центростремительная	Диагональная
№7	Определите тип турбины изображенной на рисунке. 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центробежная	Центростремительная	Диагональная

№8	Определите тип турбины изображенной на рисунке.			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Осевая	Центробежная	Центростремительная	Диагональная
№9	В каком элементе турбины происходит отбор работы от потока?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	в РК	в СА	в обоих	ни в каком из перечисленных
№10	Какой должна быть величина угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2 для получения максимальной работы ступени?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\alpha_2 < 90$	$\alpha_2 = 90$	$\alpha_2 > 90$	Изменение зависит от конкретных условий
№11	Какой должна быть величина угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2 для получения минимальных потерь с выходной скоростью?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\alpha_2 < 90$	$\alpha_2 = 90$	$\alpha_2 > 90$	Изменение зависит от конкретных условий
№12	Каким образом окружная скорость $u_{\text{ср}}$ влияет на величину работы ступени?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	С увеличением $u_{\text{ср}}$ работа растет	С увеличением $u_{\text{ср}}$ работа снижается	никак не влияет	Изменение зависит от конкретных условий

№13	Каким образом угол выхода потока из СА α_1 влияет на величину работы ступени?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	С увеличением α_1 работа растет	С увеличением α_1 работа снижается	никак не влияет	Изменение зависит от конкретных условий
№14	Каким образом угол выхода потока из РК в абсолютном движении α_2 влияет на величину работы ступени?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	С увеличением α_1 работа растет	С увеличением α_1 работа снижается	никак не влияет	Изменение зависит от конкретных условий
№15	Какие из перечисленных параметров определяют уровень потерь в СА?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_1	c_2	u_1	w_1
№16	Какие из перечисленных параметров определяют уровень потерь в РК?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_1	c_2	u_1	w_1
№17	Какие из перечисленных параметров определяют уровень потерь с выходной скоростью?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	c_1	c_2	u_1	w_1
№18	Что происходит с величиной относительной скорости на входе в РК w_1 при увеличении окружной скорости u_1?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	ничего не происходит	растет	снижается	имеет минимум
№19	Что происходит с величиной абсолютной скорости на выходе из РК c_2 при увеличении окружной скорости u?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	ничего не происходит	растет	снижается	имеет минимум

№20	Что происходит с величиной абсолютной скорости на выходе из СА c_1 при увеличении окружной скорости u?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	ничего не происходит	растет	снижается	имеет минимум
№21	Как изменяются потери в СА при увеличении величины параметра нагруженности $Y_т$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	не меняются	растут	имеют максимум	имеют
№22	Как изменяются потери в РК при увеличении величины параметра нагруженности $Y_т$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	не меняются	растут	имеют максимум	имеют
№23	Как изменяются потери с выходной скоростью при увеличении величины параметра нагруженности $Y_т$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	не меняются	растут	имеют максимум	имеют
№24	Какая линия на p-v диаграмме процесса расширения соответствует идеальному процессу расширения? 			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	З-Г	Г-Т	Г-T_s	T_s-4
№25	Какая линия на p-v диаграмме процесса расширения соответствует реальному процессу расширения?			

				
	А	***Б***	***В***	***Г***
	З-Г	Г-Т	Г-T_s	T_s-4
№26	Какие потери не учитывает внутренний КПД турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	механические потери	Потери с выходной скоростью	Гидравлические потери	Дисковые потери
№27	Какие потери не учитывает окружной КПД турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	механические потери	Потери с выходной скоростью	Гидравлические потери	Дисковые потери
№28	Какие потери учитывает адиабатический КПД турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	механические потери	Потери с выходной скоростью	Гидравлические потери	Дисковые потери
№29	Какой КПД турбины чаще всего применяется для оценки ее совершенства на практике?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Полный	Внутренний	Окружной	Адиабатный
№30	Какой из перечисленных КПД не учитывает потери с выходной скоростью?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Полный	Внутренний	Окружной	Адиабатный

№31	Как называется турбина с $\rho_{ст} = 0$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	активная	реактивная	число реактивная	не имеет специального названия
№32	Как называется турбина с $0 < \rho_{ст} < 1$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	активная	реактивная	число реактивная	не имеет специального названия
№33	Как называется турбина с $\rho_{ст} = 1$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	активная	реактивная	число реактивная	не имеет специального названия
№34	Величина степени реактивности ступени турбины составляет $\rho_{ст} = 0{,}5$. В какой ее части совершается большая работа расширения газа?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	в СА	в РК	Совершается одинаковая работа	Распределение работ расширения не зависит от $\rho_{ст}$
№35	Величина степени реактивности ступени турбины составляет $\rho_{ст} = 0{,}7$. В какой ее части совершается большая работа расширения газа?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	в СА	в РК	Совершается одинаковая работа	Распределение работ расширения не зависит от $\rho_{ст}$
№36	Величина степени реактивности ступени турбины составляет $\rho_{ст} = 0{,}2$. В какой ее части совершается большая работа расширения газа?			

	А	***Б***	***В***	***Г***
	в СА	в РК	Совершается одинаковая работа	Распределение работ расширения не зависит от $\rho_{ст}$
№37	Каково значение величины коэффициента восстановления полного давления σ_{CA} в СА без потерь?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	0	от 0 до 1	1	более 1
№38	Каково значение величины коэффициента восстановления полного давления ψ_{PK} в РК без потерь?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	0	от 0 до 1	1	более 1
№39	Для чего турбинные межлопаточные каналы имеют диффузорные участки?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Для увеличения КПД	Для увеличения крутящего момента на лопатках	Для снижения нагрузки на профиль	Для приближения угла натекания к расчетному значению
№40	Чем опасны значительные диффузорные участки в межлопаточных каналах турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Там возможен отрыв потока от поверхности лопатки	Они ухудшают прочностное состояние лопатки	Увеличивается число лопаток	Увеличиваются утечки в радиальном зазоре
№41	Каково оптимальное значение числа Цвайфеля для большинства турбин?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	0,5	0,85	1	1,2

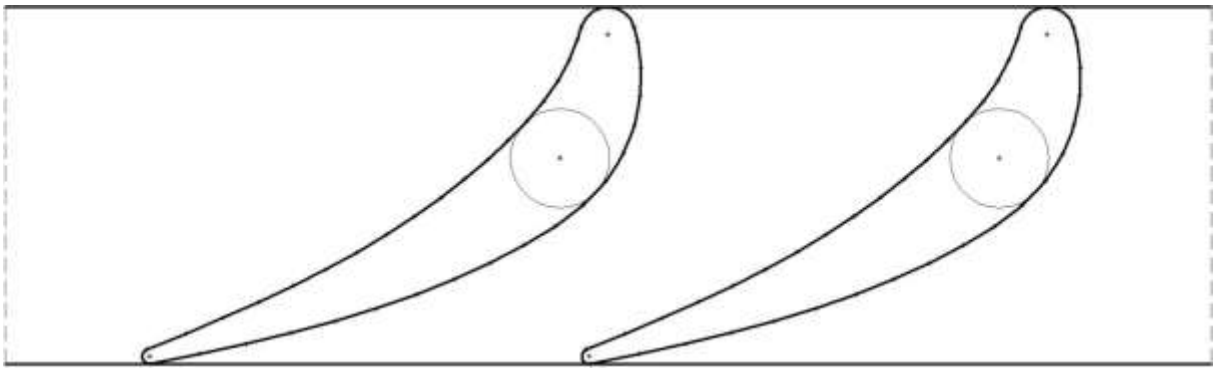
№42	Для чего используется число Цвайфеля?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	Для выбора конструктивных углов	Для выбора окружной скорости	Для выбора величины среднего диаметра турбины	Для выбора числа лопаток в венце
№43	Каким образом увеличение угла выхода потока сказывается на величине работы турбины?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	увеличивает	уменьшает	не влияет	
№44	Что определяет угол выхода потока из решетки СА α_1?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\alpha_{1л}$	$\alpha_{1эф}$	$\alpha_{0л} - \alpha_{1л}$	$\alpha_{0л}$
№45	Что определяет угол выхода потока из решетки РК в относительном движении β_2?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\beta_{2л}$	$\beta_{2эф}$	$\beta_{1л} - \beta_{2л}$	$\beta_{1л}$
№46	При каких условиях угол выхода потока на выходе из СА турбины α_1 будет равен величине эффективного угла $\alpha_{1эф}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\lambda_{1s} < 1$	$\lambda_{1s} = 1$	$\lambda_{1s} > 1$	всегда равны
№47	При каких условиях угол выхода потока на выходе из РК турбины β_2 будет равен величине эффективного угла $\beta_{2эф}$?			
	А	***Б***	***В***	***Г***
	$\lambda_{w2s} < 1$	$\lambda_{w2s} = 1$	$\lambda_{w2s} > 1$	всегда равны

4.3 Контрольные вопросы

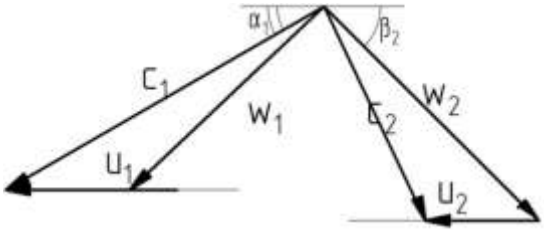
1. Что такое турбина?
2. Какие функции выполняет турбина?
3. Какие элементы входят в состав ступени турбины?
4. Почему РК турбины вращается?
5. Как возникает сила, заставляющая вращаться РК турбины?
6. Почему в турбине снижается давление?
7. Какие функции выполняет СА?
8. Почему на входе в турбину поток необходимо закручивать?
9. Какие конструктивные особенности позволяют организовать процесс расширения в турбине?
10. Почему проточная часть турбины расширяется к выходу?
11. Изобразите график изменения абсолютной скорости c по длине проточной части ступени турбины. Поясните его протекание.
12. Изобразите график изменения относительной скорости w по длине проточной части ступени турбины. Поясните его протекание.
13. Изобразите график изменения статического давления p по длине проточной части ступени турбины. Поясните его протекание.
14. Изобразите график изменения полного давления p^* по длине проточной части ступени турбины. Поясните его протекание.
15. Изобразите график изменения статической температуры T по длине проточной части ступени турбины. Поясните его протекание.
16. Изобразите график изменения полной температуры T^* по длине проточной части ступени турбины. Поясните его протекание.
17. Поясните сущность потерь с выходной скоростью?
18. При каких условиях потери с выходной скоростью будут минимальны?
19. Что определяет окружная скорость вращения турбины $u_{ср}$?
20. Что определяют угол выхода потока из СА α_1?
21. Что определяют угол выхода потока из РК в абсолютном движении α_2?
22. Какой должна быть величина угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2 для получения максимальной работы ступени?

23. Какой должна быть величина угла выхода потока из РК в абсолютном движении α_2 для получения минимальных потерь с выходной скоростью?
24. Почему значение окружной скорости РК турбины ограничивается величиной *u=550м/с*?
25. Что такое конфузорность потока? Каким образом она влияет на потери в турбинной решетке?
26. Поясните физический смысл условной изоэнтропической скорости c_s.
27. Почему параметр нагруженности турбины $Y_{\text{ст}}$ является универсальным режимным параметром?
28. Докажите, что коэффициент нагрузки μ является аналогом параметра нагруженности турбины $Y_{\text{ст}}$.
29. Какие факторы и почему ограничивают увеличение работы турбины L_u?
30. Изобразите план скоростей турбины на режиме на котором величина параметра $У_{\text{т}}$ немного больше нуля?
31. Изобразите план скоростей осевой турбины на режиме на котором величина параметра $У_{\text{т}}$ является оптимальной?
32. Изобразите план скоростей осевой турбины на режиме на котором величина параметра $У_{\text{т}}$ выше оптимальной?
33. Каким образом повлияет на мощность турбины увеличение температуры газа перед турбиной T_0^* при прочих равных условиях? Поясните ответ.
34. Каким образом повлияет на мощность турбины увеличение полного давления газа перед турбиной p_0^* при прочих равных условиях? Поясните ответ.
35. Каким образом повлияет на мощность турбины увеличение частоты вращения РК турбины при прочих равных условиях? Поясните ответ.
36. Нанесите на изображенную турбинную решетку профилей шаг t.
37. Нанесите на изображенную турбинную решетку угол установки профиля γ.
38. Нанесите на изображенную турбинную решетку хорду b.
39. Нанесите на изображенную турбинную решетку ширину венца S.
40. Нанесите на изображенную турбинную решетку горло решетки $a_{\text{г}}$.
41. Нанесите на изображенную турбинную решетку входной лопаточный угол $\beta_{1\text{л}}$.

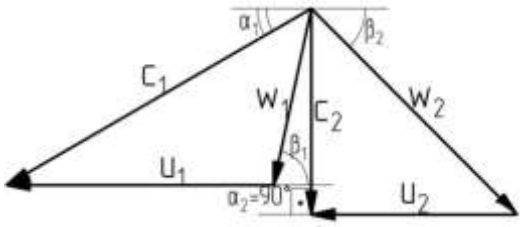
42. Нанесите на изображенную турбинную решетку входной лопаточный угол $\beta_{2л}$.



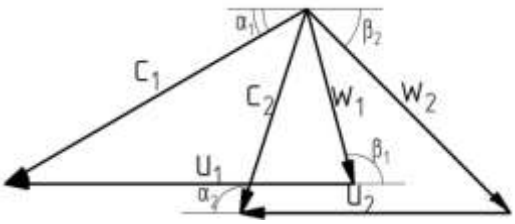
43. Изобразите схематично графическую зависимость изменения потерь с выходной скоростью от величины параметра нагруженности $Y_т$.
44. Изобразите схематично графическую зависимость изменения потерь в РК от величины параметра нагруженности $Y_т$.
45. Изобразите схематично графическую зависимость изменения потерь в СА от величины параметра нагруженности $Y_т$.
46. Какой точке на зависимости КПД турбины $\eta_т$ от параметра нагруженности $У_т$ соответствует треугольник скоростей? Поясните свой ответ.



47. Какой точке на зависимости КПД турбины $\eta_т$ от параметра нагруженности $У_т$ соответствует треугольник скоростей? Поясните свой ответ.



48. Какой точке на зависимости КПД турбины $\eta_т$ от параметра нагруженности $У_т$ соответствует треугольник скоростей? Поясните свой ответ.



49. Поясните, что показывает величина степени расширения газа в турбине?
50. Чем определяется величина работы расширения газа в турбине?
51. Изобразите схематично процесс преобразования энергии расширения газа в турбине.
52. Поясните физический смысл идеальной работы ступени турбины?
53. Поясните физический смысл полезной работы ступени турбины?
54. Что такое КПД турбины?
55. Что такое адиабатическое КПД турбины? Что оно характеризует?
56. Что такое внутреннее КПД турбины? Что оно характеризует?
57. Что такое окружное КПД турбины? Что оно характеризует?
58. Что такое полный КПД турбины? Что оно характеризует?
59. Поясните физический смысл термина степень реактивности?
60. Что определяет величина изоэнтропической степени реактивности $\rho_{\text{ст}s}$?
61. Что определяет величина действительной степени реактивности $\rho_{\text{ст}}$?
62. Изобразите план скоростей осевой турбины соответствующий $\text{У}_{\text{т}} = \text{У}_{opt}$. Покажите как он изменится при повышении степени реактивности $\rho_{\text{ст}}$.
63. Изобразите план скоростей осевой турбины соответствующий $\text{У}_{\text{т}} = \text{У}_{opt}$. Покажите как он изменится при уменьшении степени реактивности $\rho_{\text{ст}}$.
64. Каковы особенности рабочего процесса турбины с отрицательной степенью реактивности $\rho_{\text{ст}}$?
65. Каковы особенности рабочего активной турбины $\rho_{\text{ст}} = 0$?
66. Каковы особенности рабочего процесса турбины со степенью реактивности $\rho_{\text{ст}} \approx 0{,}5$?
67. Каковы особенности рабочего число реактивной турбины $\rho_{\text{ст}} = 1$?
68. Почему с увеличением степени реактивности $\rho_{\text{ст}}$ увеличивается КПД ступени?
69. Как изменится оптимальная величина параметра нагруженности У_{opt} при увеличении степени реактивности $\rho_{\text{ст}}$? Почему?

70. Как изменится оптимальная величина параметра нагруженности $У_{opt}$ при уменьшении степени реактивности $\rho_{ст}$? Почему?
71. Почему рабочий процесс в СА турбины подобен рабочему процессу в реактивном сопле?
72. Какие свойства приобретает решетка турбины благодаря наличию косого среза?
73. Поясните физический смысл коэффициента скорости в СА φ_{CA}?
74. Что характеризует коэффициента скорости в СА φ_{CA}?
75. Поясните физический смысл коэффициента скорости в РК $\psi_{РК}$?
76. Что характеризует коэффициента скорости в РК $\psi_{РК}$?
77. Что оценивается с помощью коэффициента восстановления полного давления в СА σ_{CA}?
78. Почему вблизи корытца турбинной лопатки устанавливается повышенное давление?
79. Почему вблизи корытца турбинной лопатки устанавливается пониженное давление?
80. Что такое диффузорность профиля?
81. Для чего турбинные межлопаточные каналы имеют диффузорные участки?
82. Чем опасны значительные диффузорные участки в межлопаточных каналах турбины?
83. Поясните физический смысл числа Цвайфеля.
84. Как и почему увеличение числа лопаток в венце влияет на величину потерь энергии?
85. Как и почему уменьшение числа лопаток в венце влияет на величину потерь энергии?
86. Каким образом увеличение угла выхода потока сказывается на величине работы турбины? Поясните ответ.
87. Почему поток на выходе из турбинной решетки отклоняется от направления задаваемого ему эффективным углом при дозвуковых скоростях в межлопаточном канале?

88. Почему поток на выходе из турбинной решетки отклоняется от направления задаваемого ему эффективным углом при сверхзвуковых скоростях в межлопаточном канале?
89. Почему при λ_{c1s}<*0,8...0,9* увеличение скорости приводит к уменьшению профильных потерь?
90. Почему при λ_{c1s}>*0,8...0,9* увеличение скорости приводит к увеличению профильных потерь?
91. Поясните протекание графика на рисунке 4.28.
92. Поясните протекание графика на рисунке 4.29.
93. Поясните протекание графика на рисунке 4.33.
94. Почему отклонение угла натекания потока на решетку от расчетного значения в меньшую сторону вызывает увеличение профильных потерь?
95. Почему отклонение угла натекания потока на решетку от расчетного значения в меньшую сторону вызывает увеличение профильных потерь?

4.4 Задачи

1. Определить треугольники скоростей на входе и на выходе из РК ступени ОК на $D_{ср}$ = 0,5 м; если частота вращения ротора n = 12000 мин$^{-1}$; осевая составляющая скорости потока c_{1a} - c_{2a} = 150 м/с; угол наклона вектора скорости c_1 к фронту решётки α_1 = 60°; подведённая (окружная) работа ступени $L_{ст} = 16\,кДж/кг$. Построить треугольники скоростей в масштабе.

2. Определить угол поворота потока в рабочем колесе $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$ на среднем радиусе, если подведённая работа $L_{ст} = 25\,кДж/кг$, окружная скорость вращения колеса на среднем радиусе $u_{ср} = 328\,м/с$, составляющие скорости на входе $c_{1u} = 70\frac{м}{с}, c_{1a} = 145\,м/с$. Принять $c_{1a} = c_{2a} = w_{1a} = w_{2a} = const$.

3. Определить кинематику потока у втулки и на периферии ступени ОК (c_{1u}; α_1; β_1; α_2; β_2; $\rho_{ст}$) при известных: $D_{ср}$ = 0,5 м; $h_л$ = 0,203 м; $u_{ср}$ = 314 м/с; $c_{1a\,ср} = c_{2a\,ср} = w_{1a\,ср} = w_{1a\,ср}$ =150 м/с; c_{1u} ср = 86,5 м/с; $c_{2u\,ср}$ = 137,5 м/с (исходные данные как в задаче 3.59). Построить схему изменения формы профиля по длине лопатки. Вычисления произвести для законов закрутки: а) $c_u \cdot r$ = const; б) $\rho_{ст} = const$.

4. Определить степень повышения давления в ступени[2] осевого компрессора без закрутки потока на входе, если $T_1^* = 288\,K$, $u_{ср}$ =200 м/с, $\eta_{ст}^* = 0{,}86$, степень реактивности на среднем диаметре $\rho_{ср} = 0{,}7$.

5. Определить геометрические параметры ступени осевого компрессора, если она рассчитывается на максимальный пропускной режим при $G_В$ = 65,5 кг/с; p* = 123,2 кПа; T*= 307 К. Относительный диаметр втулки $\bar{d}_{ВТ} > 0{,}5$.

6. Определить геометрические параметры на выходе из последней ступени осевого компрессора, если: $G_В$ = 17,7 кг/с; p* = 788,5 кПа; T*= 656,1 К; $\lambda_а$ = 0,3. Желательно, чтобы периферийный диаметр $D_К$ – ступени не превышал значения 0,6 м.

7. Ступень компрессора характеризуется следующими параметрами: $\bar{H}_z = 0{,}3$; $c_а$ = 0,6, угол $\alpha_1 = 55°$. Определить степень реактивности ступени.

8. В ступени ОК реализуется план скоростей, характеризуемый углами: $\alpha_1 = 52°$; $\alpha_2 = 35°$; $\beta_1 = 33°$; $\beta_2 = 48°$; осевые скорости $c_{1а} = c_{2а}$. Определить степень реактивности ступени.

9. Известно, что в ступени ОК $\bar{H}_z = 0{,}267$; величина $D_{ср}$ = 0,4 м; частота вращения n = $16{,}7\cdot10^3$ мин$^{-1}$; степень реактивности $\rho_{ст}$ - 0,63; высота лопатки РК $h_{л1}$ = 0,084 м. Конструктивный угол входной кромки $\beta_{1л} = 35°$. Можно ли найти, с какой скоростью $c_{1а}$ течёт газ в ступени?

10. Оценить конструктивные углы $\beta_{1л}$ и $\beta_{2л}$ ступени ОК, если: H_{th} = 30,5 кДж/кг; $D_{1ср} = D_{2ср}$ = 0,268 м; n = $24\cdot10^3$ мин$^{-1}$; $\rho_{ст}$ = 0,7; $T_1^* = 288\,K$; $c_{1а} = c_{2а}$=180 м/с. Оценить приемлемость этих углов.

11. Оценить конструктивный угол выходной кромки РК ступени ОК $\beta_{2л}$, если: $c_{1а} = c_{2а}$=150 м/с; $u_{1ср} = u_{2ср}$ = 283 м/с; $\rho_{ст}$ = 0,64, а коэффициент $\bar{H}_{z\,ср} = 0{,}4$.

12. В ступени компрессора величина $c_{1а}$ =180 м/с. Определить изменение угла атаки i на лопатках РК, уменьшив $c_{1а}$ на 20%. Принять $u_{1ср}$ = 350 м/с и $\alpha_1 = 60°$.

13. Определить угол поворота потока в ступени осевого компрессора, если: H_{th} = 52,7 кДж/кг; $c_{1а} = c_{2а}$ = 210 м/с; $u_{1ср} = u_{2ср}$ = 388 м/с; $\rho_{ст}$ = 0,65; $T_1^* = 428K$. Оценить приемлемость угла поворота потока при заданной величине $u_{ср}$.

14. Определить, как изменится (в %) величина H_{th}, ступени компрессора $u_{1ср} = u_{2ср}$ =350 м/с; $c_{1a} = c_{2a}$ =170 м/с; $\alpha_1 = 60°$; $\Delta\beta = 15°$), если увеличить угол поворота потока $\Delta\beta$ до 20°.

15. Как и на сколько изменится угол поворота потока $\Delta\beta$ в РК компрессорной ступени без ВНА на среднем диаметре $D_{ср}$ = 0,5 м при повышении частоты вращения n от $8{\cdot}10^3$ до $12{\cdot}10^3$ мин$^{-1}$ и соответствующем увеличении скорости потока c_1 от 170 до 210 м/с?

16. В первой ступени осевого компрессора без ВНА величина c_{1a} = 180 м/с; $u_{1к}$ = 350 м/с; T_1^* = 280 К. Определить приведенную скорость λ_{w1} на входе в РК.

17. Определить тип ступени ОК, если: H_{th} =46,5 кДж/кг; $D_{1ср}$ =$D_{2ср}$ = 0,29 м; $c_{1a} = c_{2a}$ = 180 м/с; $u_{1ср} = u_{2ср}$ =360 м/с; $\rho_{ст}$ = 0,5; T_1^* = 360 К.

18. В ступени компрессора C_{1a} = 160 м/с, $u_{1ср}$ = 320 м/с, а угол атаки на лопатках РК i = 3°. Определить величину конструктивного угла $\beta_{1л}$, если известно, что ВНА отсутствует.

19. В ступени ОК угол $\alpha_1 = 70°$, величина $c_{1a} = c_{2a}$ = 160 м/с; $u_{1ср} = u_{2ср}$ =311м/с; $\bar{H}_{z\,ср}$ = 0,47. Определить конструктивный угол на входе в НА ступени, если T_1^* = 407 К.

20. Определить температуру поверхности пера лопатки РК, если известно: H_{th} = 37 кДж/кг; $c_{1a} = c_{2a}$ =140 м/с; $u_{1ср} = u_{2ср}$ =378 м/с; $\rho_{ст}$ = 0,65; T_1^* = 510 К.

21. Оценить величину угла α_3, с которым газ покидает последнюю ступень ОК, если $G_В$ = 23,5 кг/с; $p_к^* = 822{,}5$ *кПа*, $T_к^*$ = 560 К. Осевая площадь $F_{аК}$ = 0,1 м^2, а величина λ_3 = 0,3.

22. Определить расход воздуха через ступень ОК, если приведенная скорость на входе λ_1= 0,67, угол притекания $\alpha_1 = 63°$. Геометрические размеры ступени: $D_{1к}$ = 0,713 м; $D_{1вт}$ = 0,278 м. Двигатель работает в условиях взлёта.

23. Определить скорость протекания воздуха с расходом $G_в$ = 53,5 кг/с через ступень ОК, если $p_в^* = 725$ кПа; $T_в^*$ = 538 К. Ступень имеет $D_{lК}$ = 0,64 м и $h_{ЛВ}$ = 0,0545 м.

24. Определить высоту лопатки ступени ОК, если $G_В$ = 23,5 кг/с; p* = 430,5 кПа; T* = 457,4 К; c_a = 168 м/с. Относительный диаметр втулки $\bar{d}_{вт} = 0{,}76$.

25. Оценить максимальный расход газа через ступень ОК, если $D_{1к}$ = 0,713 м; $h_{л1}$ = 0,217 м; p_1^* = 724 кПа; T_1^* = 538 К.

26. Ступень ОК имеет следующие размеры: $D_{1к}$ = 0,651 м; $D_{1вт}$ = 0,495 м. Сможет ли эта ступень пропустить расход $G_В$ — 180 кг/с при T_1^* = 425 К и p_1^* = 342 кПа? (Показать расчётным способом).

27. Определить потребную площадь F_a в ступени ОК, если она должна пропустить расход воздуха $G_В$ = 23,5 кг/с при параметрах состояния: p* = 204,5 кПа; T*= 361,4 К. Величина осевой составляющей скорости c_a = 185 м/с.

28. Определить степень реактивности осевой ступени ОК на среднем радиусе, если подведённая работа H_{th} = 27,2 кДж/кг, окружная скорость вращения колеса $u_{ср}$ = 328 м/с, составляющие абсолютной скорости на входе c_{1u} = 70 м/с и c_{1a} = 145 м/с. Принять $c_{1a} = c_{2a} = w_{1a} = w_{2a}$ = const.

29. Определить λ_{w1} и β_1 на входе в ступень ОК, степень реактивности на среднем диаметре ($D_{ср}$ = 0,58 м) которой $\rho_{ст}$ = 0,5, а коэффициент затраченной мощности $K_H = H_{th} / H_Z$ =0,96. Параметры состояния рабочего тела имеют следующие значения: p_1^* = 341,7 кПа; p_3^* = 430,5 кПа; T_1^* = 425,4 К и T_3^* = 457 К. Частота вращения РК n= 8,5·10^3 мин$^{-1}$, коэффициент восстановления полного давления в НА $\sigma_{HA} = 0{,}982$. Принять $C_{1a} = c_{2u} = c_{3a}$ = 180 м/с.

30. Определить степень реактивности на среднем диаметре ($D_{ср}$ = 0,576 м) ступени ОК, если затраченный напор $H_z \approx H_{th}$ = 35 кДж/кг, коэффициент K_H= 0,99, а угол направления абсолютной скорости на входе α_1 = 75°. Полные давление и температура в рассматриваемом сечении имеют следующие ния: p_1^* = 270 кПа и T_1^*= 400 К соответственно. Частота вращения РК n = 8,5·10^3 мин$^{-1}$. Принять $c_{1a} = c_{2a}$ = 190 м/с.

31. Определить λ_{w1} и β_1 на входе в ступень ОК, затраченная работа (напор) на среднем диаметре ($D_{ср}$ = 0,5 м) которой $H_z \approx H_{th}$ = 35 кДж/кг, а угол направления абсолютной скорости на входе α_1 = 73°. Частота вращения РК n= 9· 10^3 мин$^{-1}$, коэффициент восстановления полного давления в НА σ_{HA} = 0,982. Принять $c_{1a} = c_{2a}$ = 190 м/с, а p_1^* и T_1^* такими же, как в задаче 3.87.

32. Определите теоретический напор H_{th} у втулки и на периферии первой ступени ОК, РК которой вращается с частотой n= 7· 10^3 мин$^{-1}$. Входной НА обеспечивает набегание потока на рабочие лопатки с закруткой по направле-

нию вращения под углом α_1 = 60° со скоростью c_1 = 200 м/с. Угол поворота потока $\Delta\beta$ и скорость на выходе из РК уменьшаются от втулки (при $D_{ВТ}$ = 0,55 м - $\Delta\beta$ = 27° и $c_{2вт}$ = 258 м/с) к периферии (при $D_{1к}$ = 0,75 м - $\Delta\beta$ = 18° и $c_{2к}$ = 244,5 м/с).