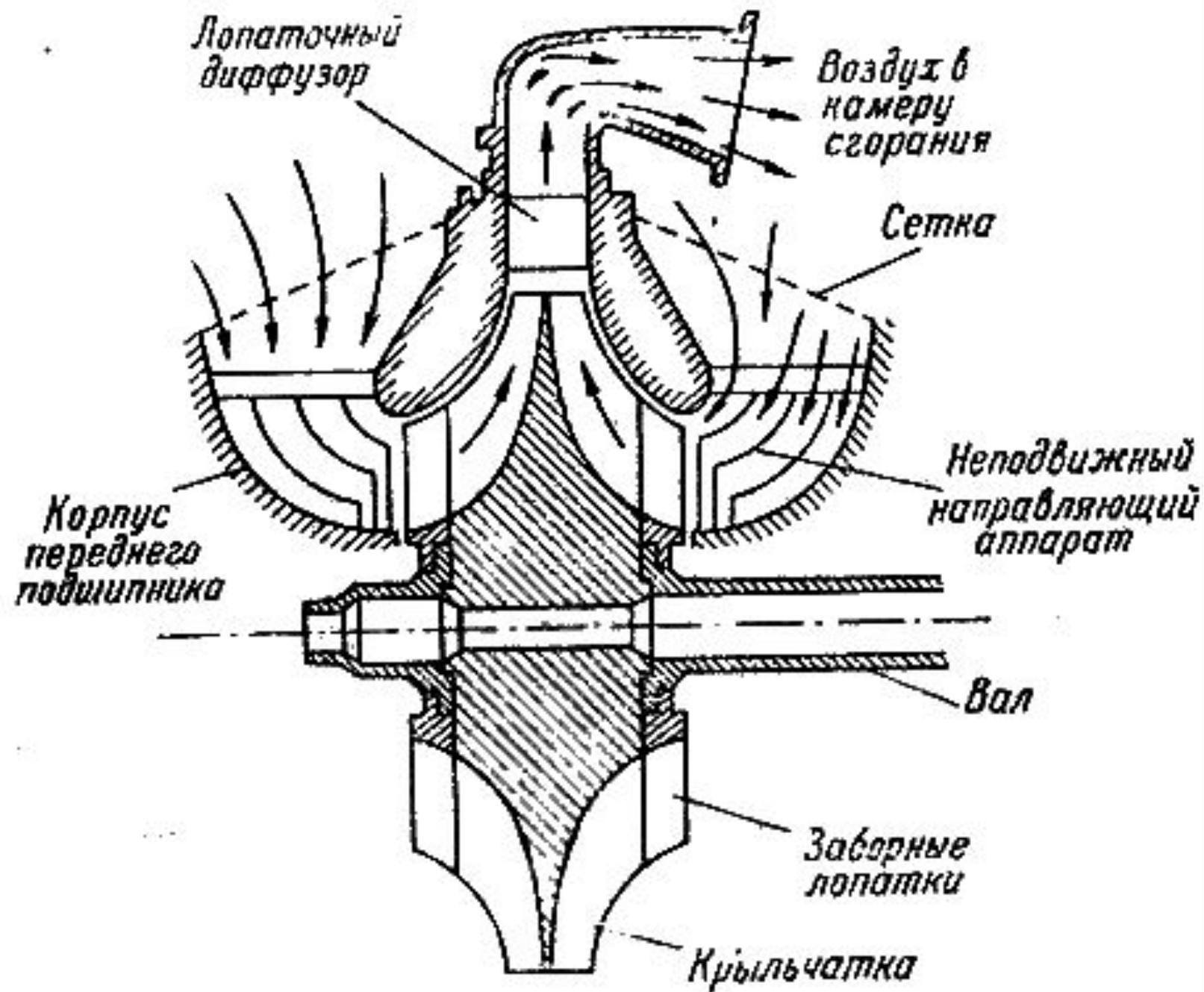


**КИРСАНОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ – ФИЛИАЛ  
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Выпускная квалификационная работа  
Тема: Техническое описание и анализ конструкции  
компрессора газотурбинного двигателя АИ-450 МС.

Работу выполнил курсант 55 гр. Редреев Н.С  
Руководитель: Пунт В.А.

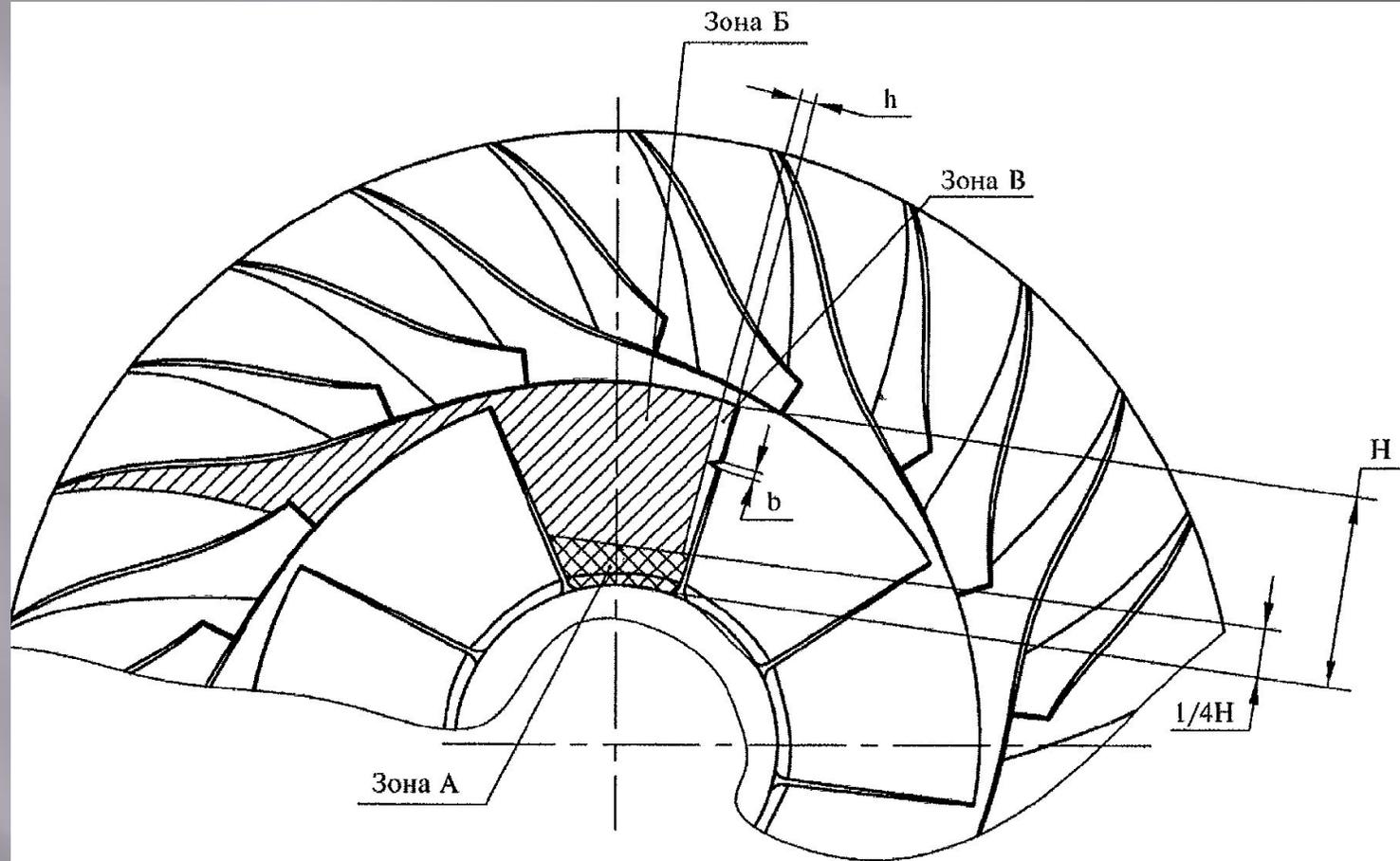
Кирсанов 2016 г.



# Общие сведения

- Газотурбинные двигатели (ГТД) за шестьдесят лет своего развития стали основным типом двигателей в современной авиации. На основе авиационных ГТД созданы двигатели для наземной и морской техники: мобильных электростанций, газокompрессорных станций, наземных и морских транспортных средств. Газотурбинные двигатели - классический пример сложнейшего устройства, детали которого работают длительное время в условиях предельно высоких температур и нагрузок. Вместе с тем эти двигатели – образец высочайшей надежности, которая обеспечивается эффективными конструкторскими решениями, сложными газодинамическими, тепловыми и прочностными расчетами. В связи с этим изучение газотурбинных двигателей, как одного из наиболее совершенных достижений инженерной мысли, выходит за рамки утилитарной задачи подготовки инженеров-двигателистов. Настоящая серия книг, объединенных общим названием «Газотурбинные двигатели», посвящена начальному этапу процесса их создания - проектированию и основной составляющей этого процесса-разработке конструкции. Серия включает в себя три учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки»: «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок»,

■



Зона А и Б включают поверхности спинки, корыта и входной кромки лопатки.

Зона В включает только поверхность входной кромки лопатки, описанную соответствующим радиусом.

Оценку величины повреждений производить визуально, сравнивая с толщиной входной кромки лопатки – в верхней части 0,6 мм, в нижней части 1,2 мм.

# Технология обслуживания

- Осмотр оптическим прибором рабочего колеса центробежного компрессора газогенератора
- 1 Произведите сборку эндоскопа и подключите его к источнику питания в последовательности, изложенной в РЭ эндоскопа.
- 2 Откройте крышку 12 лючка осмотра на входном устройстве, для чего расконтрите и выверните винт 14. Через специальные отверстия в защитной сетке осторожно (не надавливая на проволоки защитной сетки) введите гибкий световод эндоскопа внутрь, ориентируя оптический элемент световода в направлении входных кромок рабочего колеса компрессора газогенератора. Включите питание эндоскопа и, медленно прокручивая ротор газогенератора, произведите осмотр видимых входных кромок лопаток колеса (количество лопаток - 9 длинных, 9 средних и 9 коротких). При отсутствии замечаний, считать состояние лопаток в норме. В случае обнаружения повреждений на видимых входных кромках лопаток рабочего колеса компрессора — выполните осмотр на демонтированном двигателе со снятой защитной сеткой сравните их с допустимыми повреждениями (Рис.1.3.). Размеры повреждений лопаток рабочего колеса компрессора и количество поврежденных лопаток не должны превышать допустимые.
- 3 Осторожно выведите гибкий световод из двигателя и отключите питание эндоскопа.
- 4 Расстыкуйте прибор, уложите его в футляр.
- Закройте крышку 12 лючка осмотра на входном устройстве, зафиксируйте винтом 14, законтрите.

- «Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок», «Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. Системы». Ставилась цель дать комплекс знаний для самостоятельной творческой работы в области проектирования ГТД с учетом того, что студенты изучили дисциплины общеинженерного цикла, знакомы с газовой динамикой и теорией авиационных двигателей. Объем серии получился большим. Стремление в полном объеме и подробно изложить материал связано с тем, что книги предназначены не только для изучения соответствующих дисциплин, но и для использования в курсовом и дипломном проектировании. При изложении материала авторы в известной степени опираются на богатую практику одной из ведущих мировых школ авиационного двигателестроения - Пермского ОАО «Авиадвигатель». Многие из приведенных выполненных конструкций - элементы двигателей, разработанных этим коллективом. В подготовке издания принимали участие специалисты опытного конструкторского бюро
- ОАО «Авиадвигатель». Работа такого большого коллектива специалистов была бы невозможна без организационной поддержки Н.Л. Кокшарова. Общее оформление книг выполнено И.М. Соколовой с участием В.К. Ощепкова, Л.М. Кислухиной,
- О.Е. Пековой, Ю.А. Никулина, И.Ю. Вагановой. Особая благодарность Alexia Attali из Communication Divisions Snecma Moteurs, приславшей материалы двигателей M88;
- Cynthia Durnal из Honeywell product information за иллюстрации двигателей Honeywell и Margaret Fletcher Jet Engine Administrator Rolls-Royce plc за любезное разрешение использовать иллюстрации из книги Rolls-Royce plc «The Jet Engine», а также коллегам из ГУНПП «Завод им. В.Я. Климова» за иллюстрации двигателей ТВЗ-117 и 2500.

- ▣ Выходные патрубки служат для подвода воздуха в камеры сгорания. Каналы у них тоже расширяющиеся. Воздух, поступивший из входного патрубка с абсолютной скоростью  $c_1$  (Рис.1.1), увлекается лопатками колеса во вращательное движение и под действием возникших центробежных сил перемещается в межлопаточных каналах к периферии колеса с относительной скоростью  $w$ . Так как межлопаточные каналы рабочего колеса выполнены расширяющимися, то относительная скорость воздуха  $w$  в них уменьшится, а давление возрастет. То есть, за счет движения воздуха по расширяющемуся каналу происходит преобразование кинетической энергии в энергию давления. Давление, кроме того, увеличивается за счет работы совершаемой центробежными силами. Абсолютная скорость  $c$  движения воздуха в любом сечении, в том числе и в выходном, равна геометрической сумме относительной  $w$  и окружной скорости  $u$ . Под действием центробежных сил воздух в рабочем колесе перемещается от оси вращения рабочего колеса к периферии, т. е. переходит на большие радиусы. Поэтому при перемещении частички воздуха в Межлопаточном канале окружная скорость непрерывно возрастает. Это приводит, несмотря на уменьшение относительной скорости, к возрастанию абсолютной скорости.

# Принцип работы компрессора

- Основной рабочей частью компрессора газогенератора является колесо центробежное, снабженное лопатками.
- Колесо центробежное посажено на стяжной втулке турбины, которая торцевыми шлицами входит в зацепление с диском турбины и приводится ею во вращение. Воздух через входное устройство корпуса переднего подводится во вращающееся колесо центробежное компрессора. В нем осуществляется сжатие воздуха.
- В радиальном диффузоре компрессора кинетическая энергия, сообщенная воздуху колесом, используется для его дальнейшего сжатия.
- В аппарате, спрямляющем, расположенном за радиальным диффузором, поток воздуха меняет направление движения с радиального на осевое на входе в камеру сгорания.
- Основными элементами центробежного компрессора являются: входной патрубок, корпус компрессора, рабочее колесо, диффузор, выходные патрубки.
- „ Входной патрубок служит для подвода воздуха к рабочему колесу под необходимым направлением. Он должен обеспечивать малые гидравлические потери и равномерное поперечное распределение скорости на входе в колесо. В этом отношении наиболее эффективны входные патрубки, в которых воздух подводится к рабочему колесу в осевом направлении. В центробежных компрессорах газотурбинных двигателей для увеличения расхода воздуха иногда предусматривается двусторонний подвод воздуха к колесу.

- Иногда во входном патрубке устанавливаются неподвижные направляющие лопатки, которые обеспечивают поворот потока (при радиальном подводе воздуха к компрессору).
- Основной частью центробежного компрессора является рабочее колесо или крыльчатка. Она представляет собой диск, на котором имеется ряд лопаток. Стенка диска колеса и лопатки образуют расширяющиеся (по ходу движения воздуха) каналы, по которым протекает воздух. Рабочее колесо насажено на вал, приводимом во вращение от турбины, и окружено неподвижным корпусом, к которому примыкает входной патрубок.
- Для обеспечения безударного входа воздуха в рабочее колесо передние концы лопаток загнуты. Иногда вместо изогнутых передних концов лопаток устанавливается вращающийся направляющий аппарат, который крепится к рабочему колесу и образует с ним единое целое.
- Следующим элементом ЦБК является диффузор, который представляет собой расширяющийся канал, где давление воздуха увеличивается за счет соответствующего снижения его скорости. В настоящее время в центробежных компрессорах применяются щелевые диффузоры, лопаточные и их комбинации.
- Щелевой диффузор имеет форму кольцевой щели и образован плоскими стенками, расположенными параллельно либо под некоторым углом. Площадь проходного сечения щели увеличивается с расчетом радиуса. „Лопаточный диффузор это тот же щелевой, в котором установлены направляющие лопатки. Потери в таком диффузоре меньше.

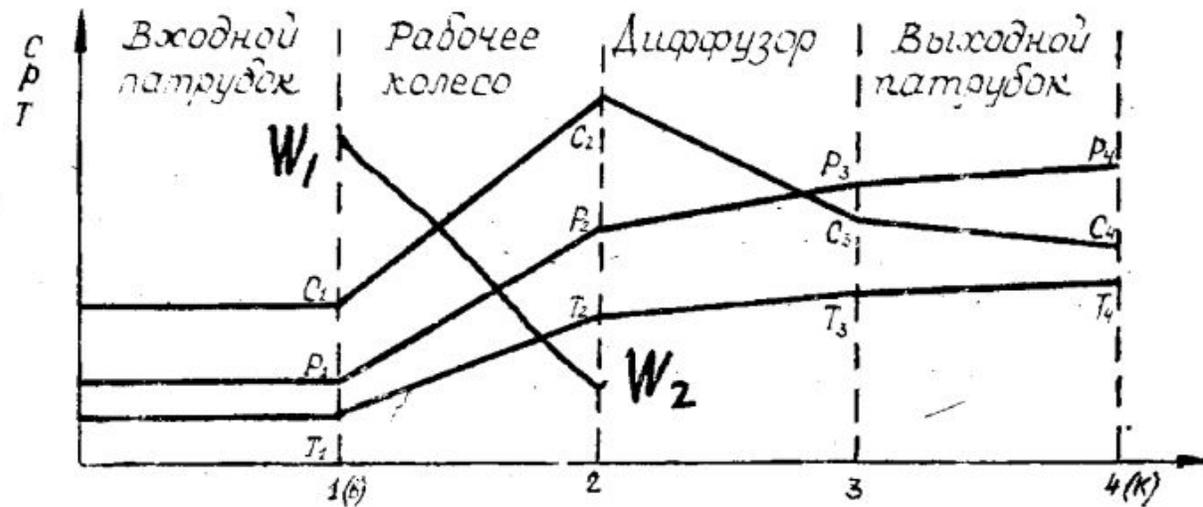
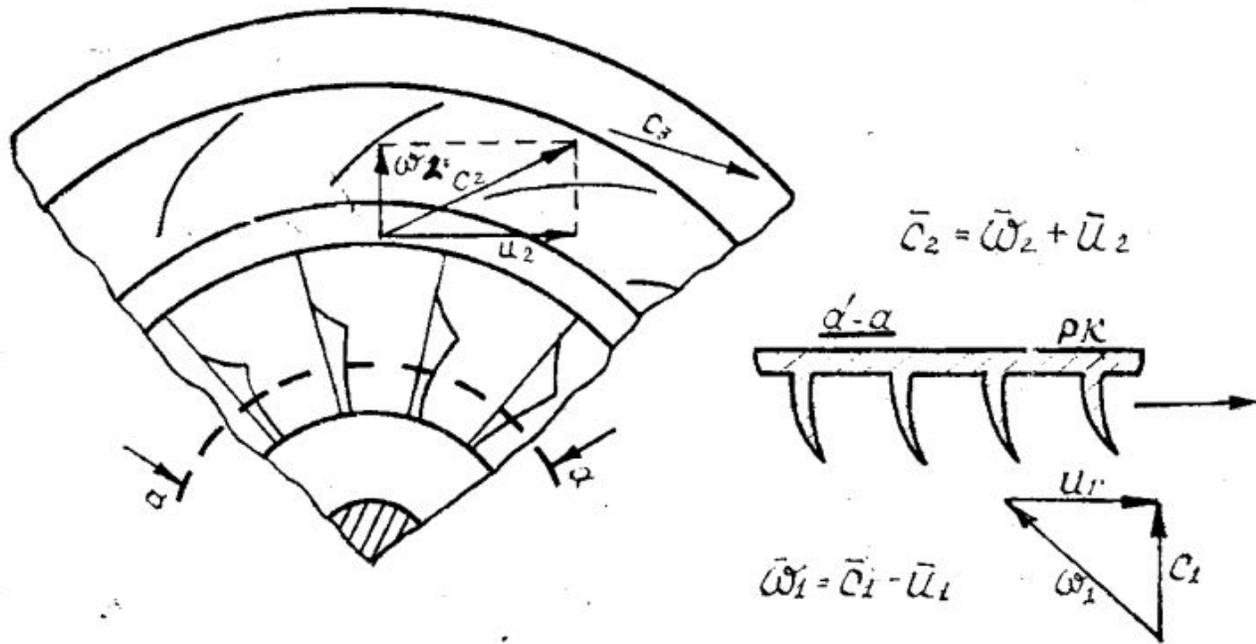
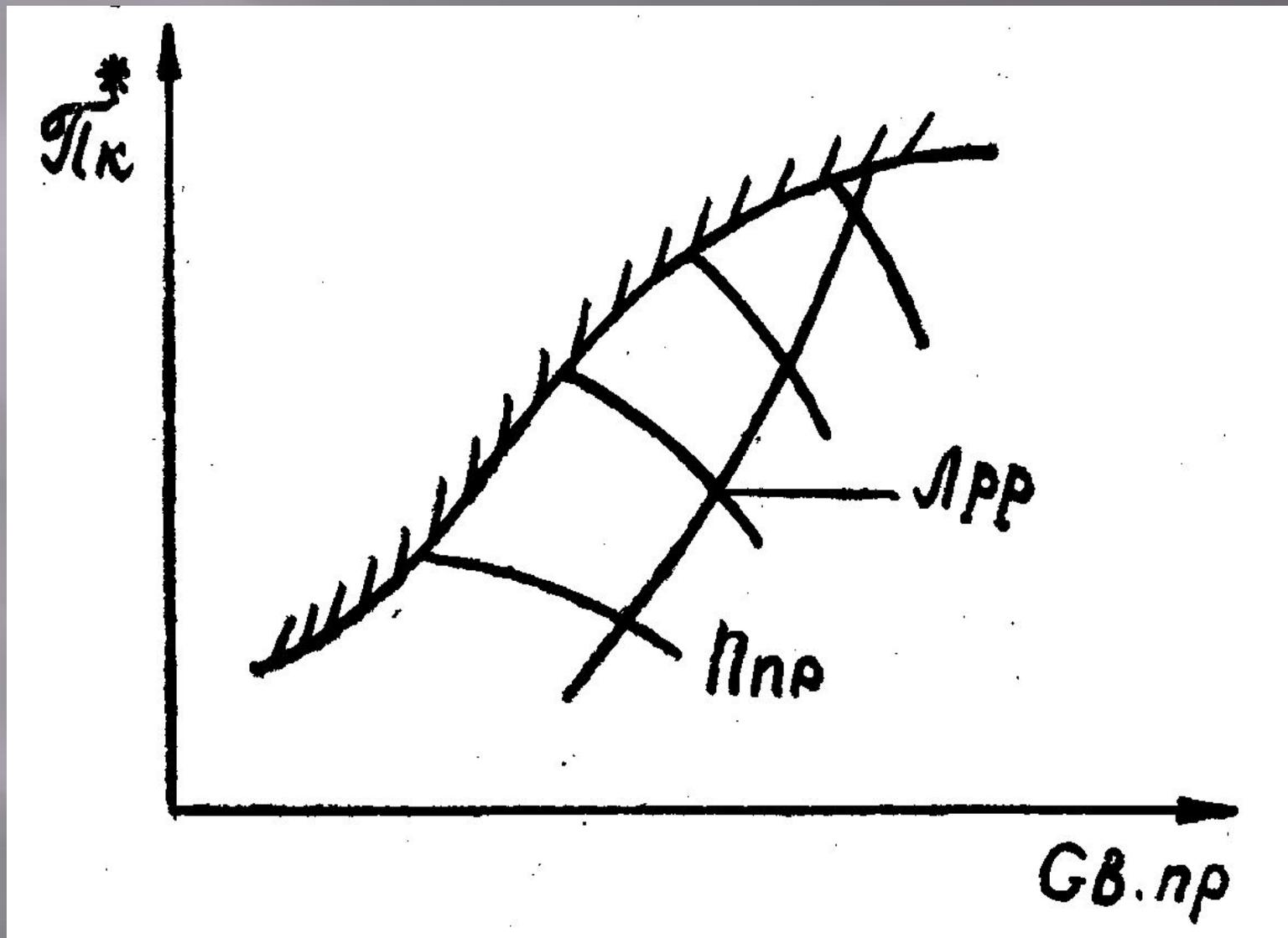


Рис.1.1 Изменение параметров потоков воздуха в центробежном компрессоре

- Если лопатки рабочего колеса прямые и расположены по радиусу, то абсолютная скорость воздуха на выходе из колеса оказывается примерно равной окружной скорости колеса, которая в современных компрессорах достигает 500 м/с.
- Итак, работа, затраченная на вращение рабочего колеса, идет в основном на сжатие и увеличение кинетической энергии воздуха. Соотношение работы сжатия и полученного приращения кинетической энергии воздуха в колесе может быть различным и зависит, главным образом, от формы и числа лопаток рабочего колеса. В колесах с радиальными лопатками на увеличение кинетической энергии расходуется около 40–45% всей работы, затрачиваемой на вращение колеса. Качественно характеристики центробежного компрессора имеют такой же вид, что и характеристики осевого компрессора, но отличаются тем, что напорные кривые располагаются более полно, чем у осевого (Рис.1.2.). Это объясняется меньшими скоростями потока в межлопаточных каналах и тем, что у центробежного компрессора работа не зависит от расхода воздуха.



□ Рис.1.2..Характеристики центробежного компрессора

- ▣ Причиной возникновения неустойчивой работы центробежного компрессора могут быть разные срывы потока воздуха с лопаток рабочего колеса, на входе в него, в междулопаточных каналах рабочего колеса и с лопаток диффузора. Причиной срыва, как и в осевом компрессоре, является, увеличение углов атаки лопаток до сверхкритических значений.
- ▣ Причиной неустойчивой работы центробежного компрессора на пониженных режимах работы являются развитые срывы потока главным образом на входе в рабочее колесо.
- ▣ Из-за сравнительно низких значений степени повышения давления в центробежном компрессоре „линии рабочих режимов (ЛРР) на характеристике компрессора на пониженных частотах вращения не пересекает границу устойчивой работы. Поэтому центробежный компрессор на всех пониженных режимах работает как правило, устойчиво.
- ▣ Для центробежного компрессора характерна неустойчивая работа на повышенных режимах работы двигателя. Возникает она обычно на больших высотах при полете с малыми скоростями и работе двигателей на максимальном режиме. Характер возникновения и протекания неустойчивой работы в центробежном компрессоре в этом, случае такой же, как и в осевом компрессоре.