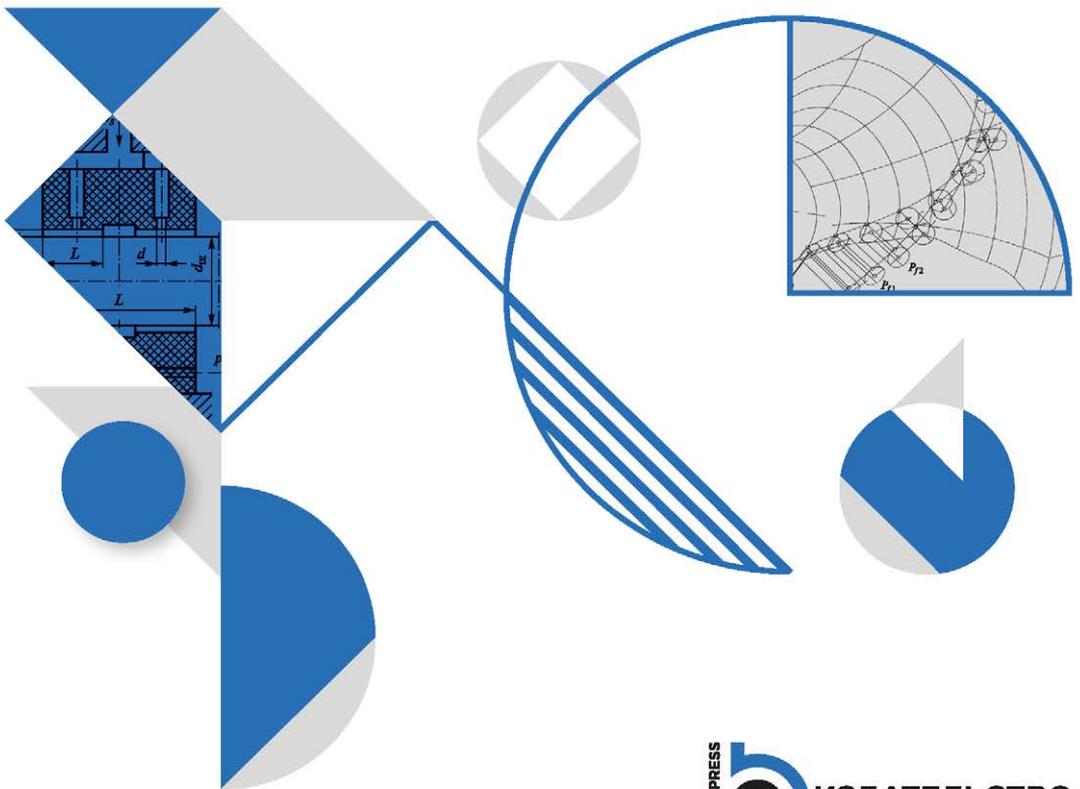


В.П. Леонов

# РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ТУРБОМАШИН



УДК 621.5  
ББК 31.363  
Л47

Издание доступно в электронном виде по адресу  
<https://bmstu.press/catalog/item/6939/>

Факультет «Энергомашиностроение»  
Кафедра «Холодильная, криогенная техника,  
системы кондиционирования и жизнеобеспечения»

*Рекомендовано Научно-методическим советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебно-методического пособия*

**Леонов, В. П.**

Л47 Расчет и проектирование основных узлов турбомашин : учебно-методическое пособие / В. П. Леонов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — 49, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5484-6

Рассмотрены основные узлы турбомашин и методики их расчета.  
Для студентов, изучающих дисциплину «Турбомашинны низкотемпературной техники».

УДК 621.5  
ББК 31.363



*Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте:  
[info@baumanpress.ru](mailto:info@baumanpress.ru)*

ISBN 978-5-7038-5484-6

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
1. Системы подвески ротора турбомашин .....	4
Расчет радиальных газостатических подшипников (опор) .....	11
Расчет осевых газостатических подшипников (опор) .....	15
Расчет газодинамических лепестковых подшипников (опор) .....	18
Расчет распределения массы ротора по длине.....	21
Расчет демпферной газостатической опоры .....	22
Расчет радиальных гидростатических масляных подшипников.....	24
Расчет упорных (осевых) гидростатических масляных подшипников .....	25
2. Профилирование лопаток объемной кривизны рабочих колес турбомашин .....	36
3. Технология изготовления закрытых колес турбомашин .....	44
Литература .....	50

## 1. СИСТЕМЫ ПОДВЕСКИ РОТОРА ТУРБОМАШИН

Современные турбомашин (ТМ) — турбодетандеры (ТД) и центробежные компрессорные машины (ЦКМ) — отличаются широким диапазоном значений рабочих параметров: по мощности от 10 Вт до 10 МВт, по частоте вращения ротора от 3000 до 500 000 об/мин. При этих характеристиках не может быть универсальной система подвески ротора ТМ.

К подшипниковому узлу системы подвески ротора предъявляются следующие требования:

- 1) восприятие внутренних и внешних динамических нагрузок;
- 2) обеспечение требуемого ресурса работы;
- 3) устойчивость вращения ротора на рабочем и пусковом режиме;
- 4) потребляемая подшипниками мощность в ТД не должна превышать вырабатываемую мощность.

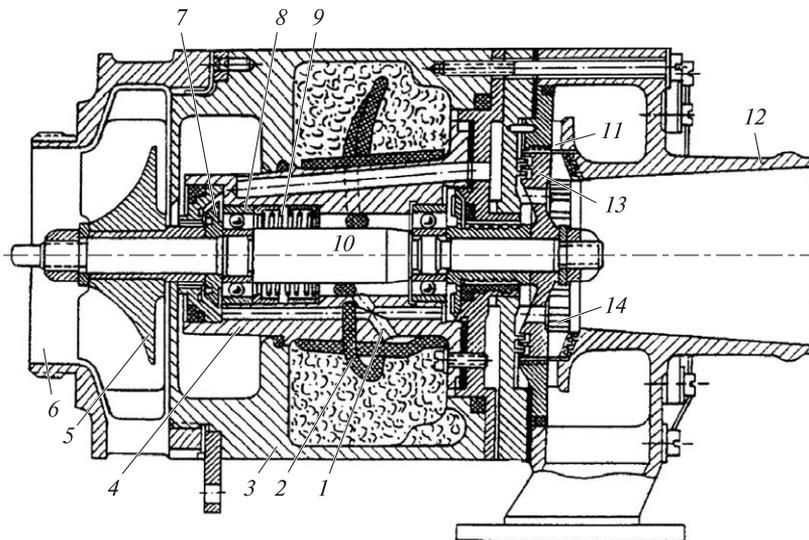
В ТМ различного класса и назначения применяются подшипники качения и подшипники скольжения с жидкостной или газовой смазкой.

Подшипники скольжения с жидкостной смазкой называются гидравлическими и подразделяются на гидростатические и гидродинамические. Подшипники скольжения с газовой смазкой делят на газостатические и газодинамические.

Подбору и расчету подшипников разного типа, которым посвящено пособие (проводится во II семестре), должен предшествовать расчет радиальной и, что наиболее существенно в ТМ, осевой силы. Расчет осевой силы проводится в I семестре при выполнении домашних заданий «Расчет центробежного нагнетателя» и «Расчет турбодетандера».

### 1.1. Подшипники качения

В качестве подшипников качения в ТМ используются, как правило, шарикоподшипники радиальные однорядные класса точности 0 и типа E, т. е. с сепаратором из пластических масс. Такие подшипники устанавливаются в основном в транспортных ЦКМ и турбохолодильниках (ТХ) систем кондиционирования воздуха (СКВ) самолетов. Турбохолодильник представляет собой воздушную турбину, в которой понижение температуры воздуха происходит за счет его расширения от избыточного по сравнению с кабинным, давления воздуха до давления внутри кабины самолета. Турбохолодильник состоит из двух основных частей — турбины и вентилятора (нагрузочного нагнетателя), закрепленных на общем валу, вращающемся на двух шариковых подшипниках (рис. 1.1).



**Рис. 1.1.** Конструкция ТХ радиального типа:

1 — воздушный канал; 2 — фитиль; 3 — корпус; 4 — корпус подшипника; 5 — вентилятор; 6 — конфузор; 7 — диафрагма; 8 — подшипник; 9 — пружина; 10 — вал; 11 — сопловой венец; 12 — корпус турбины; 13 — фланец; 14 — турбинное колесо

Корпус турбины 12 отлит из алюминиевого сплава. Вентилятор 5 снимает мощность, развиваемую ротором турбины, и используется для прокачки холодного забортного воздуха через различного типа теплообменники (воздушные, топливные, масляные и т. п.). Воздух для охлаждения подшипников подводится по каналам в корпусе и после охлаждения подшипников выбрасывается снова в атмосферу. Смазка подшипников фитильная. Масло заливается через пробку в корпус, из которого по фитилю 2 подается на вал 10 и направляется к подшипникам. Пружина 9 предназначена для выбора осевого люфта подшипника, т. е. для создания предварительного натяга (преднатяга).

Температура торможения воздуха на входе в ТХ может быть достаточно велика и составлять 500 К, в то время как температура воздуха на выходе из ТХ достигает 250 К. Срок службы ТХ определяется назначением самолета и составляет 5...500 ч для военных самолетов и более 500...1500 ч для пассажирских самолетов. Важнейшей частью любого ТХ является узел подшипников, от которого в основном и зависит долговечность работы агрегата.

Под узлом подшипников в данном случае понимается комплекс элементов, обеспечивающих вращательное движение ротора: шарикоподшипники, детали их крепления, устройства для обеспечения предварительного натяга подшипников, охлаждающие устройства, способ смазки, масла, емкости для масел, устройства заполнения, слива и контроля масла и т. д.

Большая частота вращения ротора обуславливает специфические требования к системам смазки и смазочным материалам, которые должны обеспечивать: