

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра энергоустановок морских судов и сооружений

А.Ю. Гаршин

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВК-1

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 629.5.03-135 (076)

ББК 39.455я73

Г21

Р е ц е н з е н т:

Е.В. Хромов – канд. техн. наук, доцент каф. ЭМСС

Гаршин А.Ю.

Г21 Изучение газотурбинного двигателя ВК-1: метод. указания по выполнению лабораторной работы / А.Ю. Гаршин. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 12 с.

Рассматривается лабораторная работа по изучению газотурбинного двигателя ВК-1, выполняемая при изучении курса «Судовые турбомашины».

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок.

Выполнение лабораторной работы направлено на изучение следующих профессионально-специализированных компетенций (Конвенция ПДНВ):

ПСК-2: Способен исполнять процедуры безопасности и порядок действий при авариях; переход с дистанционного/автоматического на местное управление всеми системами.

ПСК-6: Способен осуществлять подготовку, эксплуатацию, обнаружение неисправностей и меры, необходимые для предотвращения причинения повреждений следующим механизмам и системам управления: 2. Паровой котел и связанные с ним вспомогательные механизмы и паровые системы; 3. Вспомогательные первичные двигатели и связанные с ними системы; 4. Другие вспомогательные механизмы, включая системы охлаждения, кондиционирования воздуха и вентиляции.

ПСК-7: Способен осуществлять эксплуатацию систем: топливных, смазочных, балластных и других насосных систем и связанных с ними систем управления.

ПСК-37: Способность сформировать цели проекта (программы), разработать обобщенные варианты ее решения, выполнить анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений.

ПСК-38: Способность разработать проекты объектов профессиональной деятельности с учетом физико-технических, механико-технологических, эстетических, экологических, эргономических и экономических требований, в том числе с использованием информационных технологий.

УДК 629.5.03-135 (076)

ББК:39.455я73

Рассмотрены и рекомендованы кафедрой энергоустановок морских судов и сооружений Морского института Севастопольского госуниверситета в качестве методических указаний к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Судовые турбомашины» для студентов специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок, протокол кафедры № 1 от 31 августа 2018 г.

© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа. Изучение газотурбинного двигателя ВК-1	5
1. Основные данные двигателя, его элементов и систем	5
1.1. Общее описание двигателя, его элементов и систем	5
1.2. Основные данные двигателя и его элементов	7
1.3. Топливная система двигателя	8
1.4. Система охлаждения	9
1.5. Система смазки	9
1.6. Электрооборудование двигателя	10
2. Оформление отчета	11
3. Контрольные вопросы	11
Литература	12

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторных работ является закрепление теоретического материала по дисциплине «Судовые турбомашинны» и получение практических навыков по замерам экспериментальных параметров лабораторных установок, их обработке и построению энергетических характеристик, а также приобретение навыков по эксплуатации судовых турбоустановок.

К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности в лабораториях кафедры ЭМСС.

За время проведения лабораторных работ студенты знакомятся с лабораторными установками, получают допуск к проведению экспериментов, проведению замеров и эксплуатации установок. Проводят замеры параметров по приборам, записывают их в отчет, производят обработку опытных данных, оформляют результаты исследований и записывают полученные результаты.

Для получения допуска к выполнению работ необходимо:

- иметь оформленный отчет о работе;
- знать теоретические основы по теме работы;
- знать схему лабораторной установки, порядок проведения опыта или эксплуатации установки.

Отчет должен содержать:

- наименование работы, цель, схему и краткое описание установки;
- основные формулы и формулировки;
- таблицы опытных данных;
- таблицы с результатами расчетов;
- необходимые графики и выводы.

Во время защиты лабораторных работ преподаватель проверяет правильность полученных студентом результатов и его теоретические знания.

Методические указания содержат контрольные вопросы, способствующие закреплению теоретического материала при самостоятельной работе студентов.

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВК-1

Цель лабораторной работы: закрепление теоретического материала, изучение конструкции элементов и систем газотурбинного двигателя ВК-1.

1. Основные данные двигателя, его элементов и систем

1.1. Общее описание двигателя, его элементов и систем

Двигатель ВК-1 конструкции В.Я. Климова является воздушно-реактивным компрессорным газотурбинным двигателем.

Двигатель состоит из следующих основных частей:

1. Центробежного компрессора с двухсторонним входом воздуха.
2. Девяти прямоточных камер сгорания, расположенных вокруг оси двигателя по образующим контура.
3. Одноступенчатой осевой газовой турбины.
4. Выхлопной реактивной трубы с сопловым насадком.
5. Коробки приводов агрегатов двигателя и самолетных агрегатов.

Компрессор производительностью 48 кг/с сжимает воздух, поступающий в двигатель через передний и задний входные патрубки и подает его в камеры сгорания. Степень повышения давления π_k равна 4,2, температура воздуха за компрессором $t_2 = 203^\circ\text{C}$ (рис. 1).

В камерах сгорания воздуха смешивается с распыленным топливом, поступающим через рабочие форсунки. Воспламенение смеси при запуске происходит вначале в двух из девяти камер от запальных устройств, состоящих из пусковой форсунки и электрической свечи. Пламя через соединительные патрубки камер быстро распространяется во все остальные камеры сгорания.

Энергия горячих газов используется для вращения турбины и связанных с ней при помощи трансмиссии крыльчатки компрессора, а также приводов дополнительных агрегатов двигателя и для создания реактивной тяги.

Образовавшиеся в камерах сгорания горячие газы $t_3 = 870^\circ\text{C}$, $P_3 = 4,1$ бата (0,408 МПа) поступают в патрубки газового сборника и проходят через сопловой направляющий аппарат на рабочие лопатки турбины, приводя ее во вращение.

Затем горячие газы $t_n = 640^\circ\text{C}$, $P_n = 1,48$ (0,148 МПа) отводятся от турбины в реактивную трубу с сопловым насадком и со скоростью

$C = 556 \text{ м/с}$ выбрасываются в атмосферу. Возникающая при этом реакция сил газового потока создает тягу двигателя.

Силовая несущая часть двигателя состоит из трех корпусов подшипников: переднего, среднего и заднего; корпуса компрессоров и двух ферм - передней и задней.

Большинство агрегатов двигателя смонтировано на коробке приводов, расположенной в его передней части и приводится во вращение через систему передач от переднего вала компрессора.

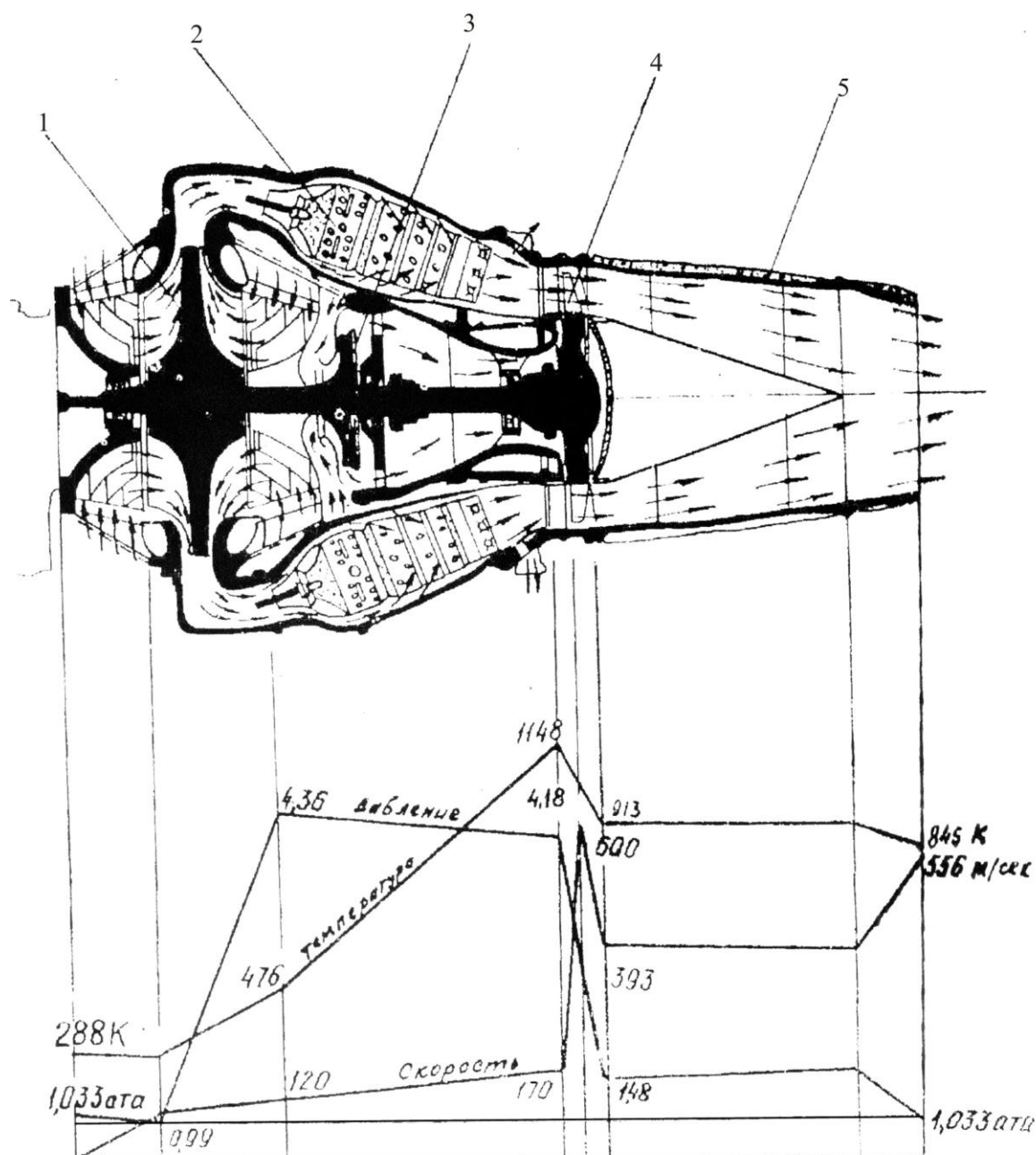


Рис. 1 – Схема турбореактивного двигателя ВК-1:

1 - центробежный компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – вентилятор охлаждения;
4 – турбина; 5 – реактивное сопло

1.2. Основные данные двигателя и его элементов

Тип двигателя - турбокомпрессорный, воздушно-реактивный.

Условное обозначение – ВК-1.

Конструктивная схема – одноступенчатый центробежный компрессор. Девять отдельных прямоточных камер сгорания. Одноступенчатая осевая турбина. Реактивная выхлопная труба с сопловым насадком. Коробка приводов агрегатов размещена впереди двигателя.

Направление вращения ротора двигателя - против часовой стрелки (если смотреть со стороны выхлопной трубы).

Компрессор - центробежный, одноступенчатый с двухсторонним входом. Крыльчатка компрессора с двумя заборниками имеет по 29 лопастей с каждой стороны. Лопаточный диффузор корпуса переходит в девять выходных патрубков. Входной патрубок камеры сгорания коленаобразной формы является промежуточной деталью между корпусом компрессора и камерами сгорания.

Камеры сгорания - прямоточные, конические, с литыми горловинами, сварными кожухами и жаровыми трубами. Завихрители лопаточного типа. Камеры расположены по окружности вокруг корпусов среднего и заднего подшипников и сообщены между собой соединительными патрубками. Топливо, скопившееся в камерах сгорания при неудачных запусках, по дренажному трубопроводу подводится к дренажному клапану и удаляется в атмосферу.

Турбина - осевая, одноступенчатая с 62 рабочими лопатками и 54 лопатками соплового аппарата. Средняя степень реактивности турбины 0,37. Направляющий аппарат турбины представляет собой кольцевой набор из направляющих лопаток, заключенных между наружной и внутренней обоями. Рабочее колесо турбины включает в себя диск и рабочие лопатки. Хвосты лопаток "елочного" типа.

Трансмиссия двигателя - состоит из ротора компрессора, ротора турбины, соединительной муфты, связывающей через шаровое соединение оба ротора, и корпусов подшипника: переднего, среднего и заднего. Передний и задний подшипники - роликовые, средний - шариковый, фиксирует ротор турбины в осевом направлении и воспринимает осевое усилие турбины.

Выхлопная система - длина и форма удлинительной выхлопной трубы меняется в зависимости от требования установки двигателя на самолете. Реактивное сопло не регулируемое, диаметром 538-554 мм. Максимальная тяга на взлетном режиме при $n = 1560$ об/мин 2700 дан, тяга на номинальном режиме 2300 дан. Максимальная температура выхлопных газов на взлетном режиме не выше 720 °С. Топливо - керосин Т-1 по

ГОСТ4138-49 с добавкой 1 % масла МС-20 или МК-22. Плотность топлива 0,800...0,850 г/см³.

1.3. Топливная система двигателя

Топливные насосы ПН-3ФК и ПН-2ФК. Тип насосов - плунжерный, переменной производительности. Плунжеры расположены во вращающемся роторе. Подача регулируется наклонной шайбой. Каждый насос имеет ограничитель максимальных оборотов мембранного типа и ограничитель максимального давления. Давление топлива за топливным фильтром перед насосами 0,7-1,05 кг/см² (0,069...0,103МПа). Давление топлива за насосами на крейсерском режиме 92 кг/см² (9МПа). Производительность одного насоса 2350 л/час.

Барометрический регулятор - БР-2Ф автоматически поддерживает требуемое давление в топливной системе, путем воздействия на сервомеханизмы топливных насосов.

Дроссельный кран ДК-2 - является дозирующим устройством топливной системы, при помощи которого осуществляется ручное управление двигателем. Кран имеет дозирующую иглу с реечным приводом от рычага управления двигателя и клапан регулирования расхода топлива на режиме малого хода.

Распределитель топлива АРТ-1К - предназначен для автоматического включения основной магистрали топливной системы, после того, как в магистрали малого газа будет достигнуто давление, обеспечивающее хороший распыл в рабочих форсунках. В конструкцию распределителя включен стоп-кран с ручным приводом, прекращающий доступ топлива к форсункам при остановке двигателя.

Форсунка, рабочая. Форсунка открытая с центробежным распылом топлива, осуществляемым через два самостоятельных концентричных канала. На малых расходах топлива работает один канал, на больших вступает в работу второй канал (основной).

Работа агрегатов топливной системы.

В системе питания двигателя топливные агрегаты расположены по следующей схеме: топливный бак, подкачивающий насос, фильтр, насосы высокого давления с подводом топлива к барометрическому регулятору, дроссельный кран, стоп-кран, распределитель, коллекторы, рабочие форсунки.

Параллельно с основной системой подключена пусковая система, состоящая из пускового электронасоса и двух пусковых форсунок. Воспламенение распыленного пусковой форсункой топлива производится искровой свечей, расположенной в корпусе форсунки.

1.4. Система охлаждения

Назначение системы воздушного охлаждения - отвод тепла от среднего и заднего подшипников и диска турбины, а также для поддува воздухом лабиринтов средней и задней опор.

Система воздушного охлаждения состоит из центробежного вентилятора и системы полостей. Крыльчатка вентилятора с односторонним входом воздуха имеет 29 радиальных лопастей, монтируется посредством шлицевого соединения на заднем валу компрессора.

1.5. Система смазки

Для смазки двигателя используется трансформаторное масло по ГОСТ 982-43 с добавкой 0,05...0,1% стеариновой кислоты. В систему смазки (рис. 2) входят:

1. Коробка масляных насосов.
2. Нагнетающий и откачивающий насосы.
3. Трубопроводы и каналы маслосистемы.
4. Форсунки подачи масла к местам смазки.

Коробка масляных насосов служит одновременно маслосборником и маслобаком. Шестеренчатые насосы выполнены в одном блоке и помещаются в верхнем колодце коробки. Верхний насос является нагнетающим, нижний - откачивающим. В коробке масляных насосов расположены 2 фильтра низкого давления и один фильтр высокого давления. Отработанное масло через фильтр низкого давления поступает в откачивающий насос. Оттуда масло поступает в центробежный воздухоотделитель и затем в полость коробки приводов. Из полости коробки, через фильтр низкого давления масло поступает в нагнетающий насос, откуда через фильтр высокого давления масло поступает к разбрызгивающим форсункам на смазку подшипников.

Емкость всей масляной системы равна 6 л.

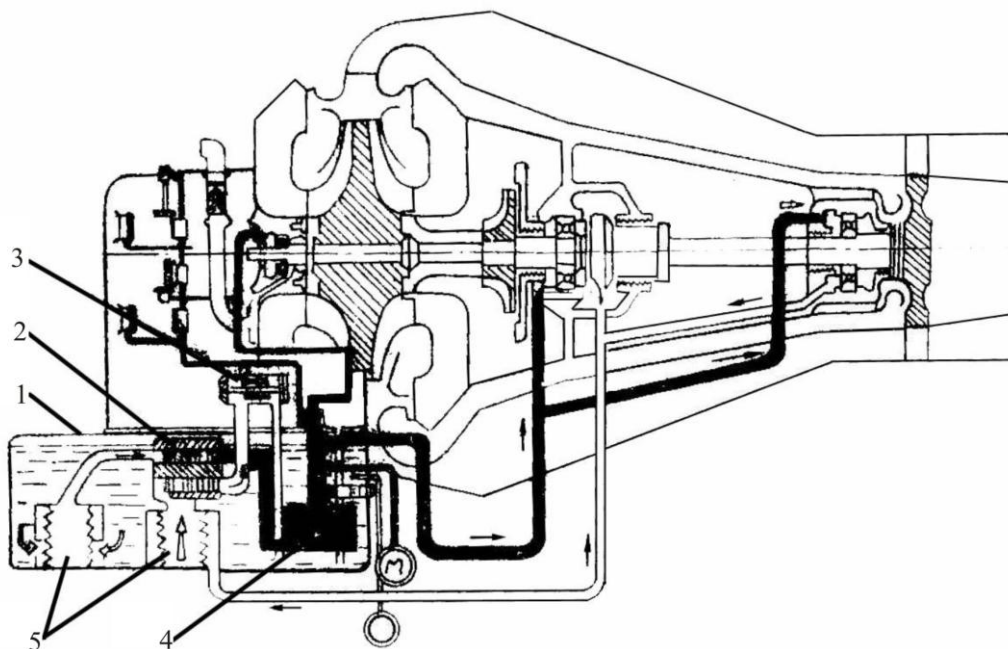


Рис. 2 - Масляная система ГТД ВК-1:

1 – коробка масляных насосов; 2 – нагнетающий и откачивающий насосы;
3 – фильтры низкого давления; 4 – фильтры высокого давления; 5 – воздухоохладитель

1.6. Электрооборудование двигателя

В электрооборудование двигателя ВК-1 входит две системы:

1. Система запуска двигателя;
2. Приборы контроля за работой двигателя.

Эти системы предназначены для раскрутки двигателя до заданного числа оборотов, зажигания смеси в камерах сгорания и контроля за основными параметрами двигателя: оборотами, температурой газов в реактивной трубе, температурой и давлением масла и давлением топлива.

В систему запуска двигателя входят:

Стартер типа Ст-2-48, представляет собой электродвигатель постоянного тока и предназначается для раскрутки двигателя от 2-х аккумуляторных батарей напряжением 24 В с автоматическим переключением батарей в середине цикла с параллельного соединения на последовательное, т.е. на напряжение 48 В.

Автомат времени АВП-3А, коробка пуска стартера КПС-48 и переключающий контактор батарей КП-2 автоматически управляют циклом запуска стартера. Катушка зажигания КР-1 служит для получения искрового разряда на электродах свечи и воспламенения рабочей смеси в камерах сгорания двигателя. Реле пускового насоса и зажигания служит для включения напряжения на мотор пускового насоса.

Для зарядки аккумуляторных батарей служит генератор постоянного

тока мощностью от 3 до 9 кВт. Напряжение генератора поддерживается регулятором напряжения в пределах 5...30 В.

Реле управления генератором предназначается для включения генератора на зарядку аккумуляторных батарей.

К системе приборов контроля двигателя относятся:

1. Электрический дистанционный тахометр с датчиком - генератором.
2. Термометр выходящих газов.
3. Трехстрелочный электрический моторный индикатор замера температуры и давления топлива.
4. Электрический дистанционный манометр для замера низкого давления топлива.
5. Сигнализатор давления топлива на магистрали низкого давления топлива (за фильтром).

2. Оформление отчета

Отчет должен содержать краткое описание двигателя (1.2), агрегатов топливной системы (1.3), системы охлаждения (1.4), системы смазки (1.5), электрооборудования двигателя (1.6).

3. Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте основные элементы ГТД.
2. Охарактеризуйте основные агрегаты топливной системы.
3. Охарактеризуйте систему охлаждения, смазки и запуска двигателя.
4. Перечислите приборы контроля двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Л.: РМРС, 2008. – 834 с.
2. Слободянюк Л.И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация / Л.И. Слободянюк, В.И. Поляков. – Л.: Судостроение, 1983. – 354 с.
3. Артемов Г.А. Судовые газотурбинные установки / Г.А. Артемов, В.П.Бойко, А.Г. Гильмутдинов. - Л.: Судостроение, 1978. – 246 с.
4. Зайцев В.И. Судовые паровые и газовые турбины / В.И. Зайцев и др. - М.: Транспорт, 1981. – 311 с.
5. Беляев И.Г. Эксплуатация судовых утилизационных установок / И.Г. Беляев. – М.: Транспорт, 1987. – 172 с.
6. Горбов В.М. Основы технической эксплуатации судовых газотурбинных установок / В.М. Горбов. – Н.: УГМТУ, 1996. – 233 с.
7. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. Часть VI Судовые паровые турбоагрегаты: РД 31.21.30-97, 1997. – 369 с.
8. Газотурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Стандарт Организации ОАО РАО «ЕЭС России». – М., 2008. – 23 с.

Гаршин Александр Юрьевич

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВК-1

*Методические указания
по выполнению лабораторной работы*

В авторской редакции

Изд. № 275/19. Объем 0,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»