

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. С. П. КОРОЛЕВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО КУРСУ
„ТЕХНОЛОГИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ“

СБОРКА ДВИГАТЕЛЕЙ

Утвержден
редакционным советом института
26 июня 1967 года

КУЙБЫШЕВ — 1968

В лабораторный практикум по курсу «Технология двигателей летательных аппаратов» включено описание общих вопросов технологии сборки, а также технологии сборки отдельных узлов или агрегатов, описание различных приемов контроля за качеством сборки, конструкции и условий работы сборочной оснастки.

Практикум содержит общие и методические указания о порядке проведения лабораторных работ.

В работах № 1 — 6, содержащих общие вопросы, рассматриваются элементы технологии сборки, одинаковые для многих типов двигателей.

На примерах наиболее типичных узлов двигателей в работах № 7 — 9 изучаются технологические процессы узловой сборки.

Составитель — В. А. Захаров
Ответственный редактор — В. А. Шманев

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Лабораторные работы выполняются студентами самостоятельно согласно методическим указаниям.

Форма отчета по выполняемой работе выдается на рабочем месте.

Перед началом работы преподаватель проверяет знание студентами содержания работы и порядка ее выполнения.

Студенты должны ознакомиться с заданием и изучить самостоятельно методику проведения данной работы; ознакомиться с рабочим местом, с оборудованием и технологической оснасткой; с правилами техники безопасности, касающимися данного рабочего места (см. инструкцию); составить схему сборки и план операций по сборке данного узла (для случаев, где это предусмотрено методикой) и представить ее преподавателю для утверждения; провести работу согласно методическим указаниям или утвержденному плану. Результаты измерения занести в отчет; провести анализ полученных данных и сделать выводы по работе; оформить отчет и предъявить его преподавателю; привести в порядок рабочее место.

Отчет оформляется на бланке установленной формы, куда заносятся результаты замеров зазоров, натягов, биений, неуравновешенности и т. п., а также графики и эскизы, выполняемые в соответствии с методикой данной работы

Предъявляя работу преподавателю, студент обязан знать ее целевое назначение и уметь объяснить порядок и технику выполнения; знать приемы обращения со сборочными и контрольными инструментами и приспособлениями; объяснить значение измеряемых (контролируемых) параметров и причины возникновения погрешностей.

После сдачи всех предусмотренных графиком работ студент получает зачет.

Отчеты по лабораторным работам хранятся в лаборатории.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ СБОРКИ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Общие положения при выполнении работы

1. Разборку и сборку узлов производить только в последовательности, указанной в методике к лабораторной работе или операционных картах.

2. При отсутствии требуемой технологической оснастки для разборки или сборки следует обратиться к лаборанту или преподавателю.

3. Нельзя производить работу неисправным инструментом (значительная выработка или деформация губок ключа, трещины на ключе или приспособлении, скол или деформация лезвия отвертки и т. д.). При появлении неисправностей необходимо немедленно сообщить об этом лаборанту.

4. Все детали, снятые с узла при разборке, хранить на верстаке в устойчивом положении.

5. В процессе поворота узла на вращающейся подставке все время поддерживать его руками до момента надежного фиксирования поворотной части подставки.

При работе на балансировочной машине

1. Нельзя включать машину без разрешения преподавателя. Процесс балансировки должен проводиться обязательно в присутствии лаборанта или преподавателя.

2. Перед началом работы работающим на балансировочной машине привести в порядок одежду, спрятать волосы под берет или косынку.

3. Перед включением машины проверить, надежно ли закрыты защитные кожухи балансируемого узла (у колеса турбины и у крыльчатки насоса).

4. Запрещается касаться руками поверхностей вращающегося узла ротора.

5. Нельзя тормозить рукой балансируемый ротор при остановке.

6. Запрещается изменять положение рукояток настройки машины на пульте управления.

При сборке узлов ТНА

1. Собранные вместе узел насоса горючего и турбины имеют значительную неуравновешенность относительно оси вращения подставки. Поэтому запрещается производить поворот состыкованных узлов. Производить разборку и сборку узла турбины, хранить собранные узлы следует только в вертикальном положении. При этом в подшипник подставки (противоположный фиксатору) должен быть установлен контрольный штырь.

При выполнении работы «Проверка герметичности»

1. Нельзя производить подачу воздуха или газа «фреон» в пневмоцилок, а также включать галлоидный течеискатель ГТИ-3 без разрешения преподавателя. Включение пневмоцилка и настройка течеискателя делается только в присутствии лаборанта или преподавателя.

2. Запрещается изменять положение рукояток на пневмоцилке и течеискателе ГТИ-3.

Пересчет единиц измерения в систему единиц СИ

Единица измерения	Обозначения	Размерность	Обозначения	Переводный множитель
Сила		ньютон	н	$1 \text{ кг} = 9,80665 \text{ н}$ $1 \text{ Г} = 0,0098 \text{ н}$
Температура	Т	градус Кельвина	°К	$T = (^\circ\text{C}) + 273,15$
Момент силы	М	ньютон-метр	н · м	$1 \text{ Г} \cdot \text{см} = 0,980665 \text{ н} \cdot \text{м}$ $1 \text{ кг} \cdot \text{м} = 9,80665 \text{ н} \cdot \text{м}$
Модуль продольной упругости (модуль Юнга)	Е	ньютон/кватратный метр	н/м ²	$1 \text{ кг}/\text{см}^2 = 98066,5 \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ кг}/\text{мм}^2 = 980,665 \text{ н}/\text{м}^2$
Давление среды		ньютон/кватратный метр	н/м ²	$1 \text{ кг}/\text{см}^2 = 98066,5 \text{ н}/\text{м}^2$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ КОМПРЕССОРА АК-150. СБОРКА КОМПРЕССОРА

Целью работы является получение некоторых навыков в построении технологического процесса сборки типовых узлов, выборе наиболее рациональных приемов сборки и контроля качества сборки.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Краткое ознакомление с конструкцией узла и техническими условиями на сборку.
 2. Разборка агрегата согласно операционным картам и ознакомление с особенностями взаимосвязи узлов.
 3. Составление схемы конструктивно-сборочных элементов.
 4. Составление технологического процесса.
 5. Сборка компрессора АК-150.
 6. Изучение методки проведения испытания компрессора и схемы установки.
 7. Составление отчета по работе.
- Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

Перечень оснастки для выполнения лабораторной работы

Приспособления сборочные и контрольные

- Л1-01 — подставка поворотная для сборки компрессора,
- Л1-02 — подставка для сборки коленвала,
- Л1-03 — приспособление для удерживания от вращения коленвала,
- Л1-04 — съёмник для шарикоподшипника,
- Л1-05 — оправа для запрессовки шарикоподшипника,

- Л1-06 — оправка латунная \varnothing 20,
 Л1-07 — оправка латунная \varnothing 10,
 Л1-08 — противень для иглолок,
 Л1-09 — приспособление для контроля хода клапанов.

Сборочный инструмент

- Л1-10 — ключ для вращения коленвала,
 Л1-11 — ключ для гайки крепления переднего подшипника,
 Л1-12 — ключ для гайки крепления заднего подшипника,
 Л1-13 — ключ для гайки соединительного болта коленвала,
 Л1-14 — ключ для гайки всасывающего клапана 1-ой ступени,
 ключ $s = 10$ плоский,
 $s = 22$ плоский,
 $s = 24$ плоский,
 отвертка,
 чертилка.

Мерительный инструмент

- Л1-15 — щуп специальный для контроля зазора в игольчатом подшипнике,
 микрометр 0—25, 25—50,
 индикатор внутреннего измерения (точность измерения 0,01),
 комплект колец для настройки индикатора,
 глубомер индикаторный (точность измерения 0,01),
 щуп наборный.

Вспомогательный материал

Пластина свинцовая толщ. 0,5 мм.

КОНСТРУКЦИЯ КОМПРЕССОРА АК-150

На современном авиационном двигателе, кроме агрегатов, обслуживающих непосредственно двигатель, устанавливаются агрегаты, используемые для нужд самолета. К их числу относится воздушный компрессор АК-150, который подает воздух в бортовой баллон самолета. Воздух из баллона в дальнейшем используется для привода различных пневматических устройств.

Поршневой компрессор АК-150 (фиг. 1.1) имеет три ступени сжатия и дифференциальные поршни. Диаметр дифференциальных цилиндров I, II, III ступеней соответственно 46, 46—40, 38—35 мм. Ход поршня 28 мм. Номинальное число оборотов 2000 в минуту. Компрессор обеспечивает наполнение 8 литров емкости от 0 до 150 ати не более чем за 30 минут.

Принцип работы компрессора состоит в следующем.

При вращении коленвала 5 (фиг. 1.2) поршни 2 (I—II ступени) и 8 (III ступень) совершают возвратно-поступа-

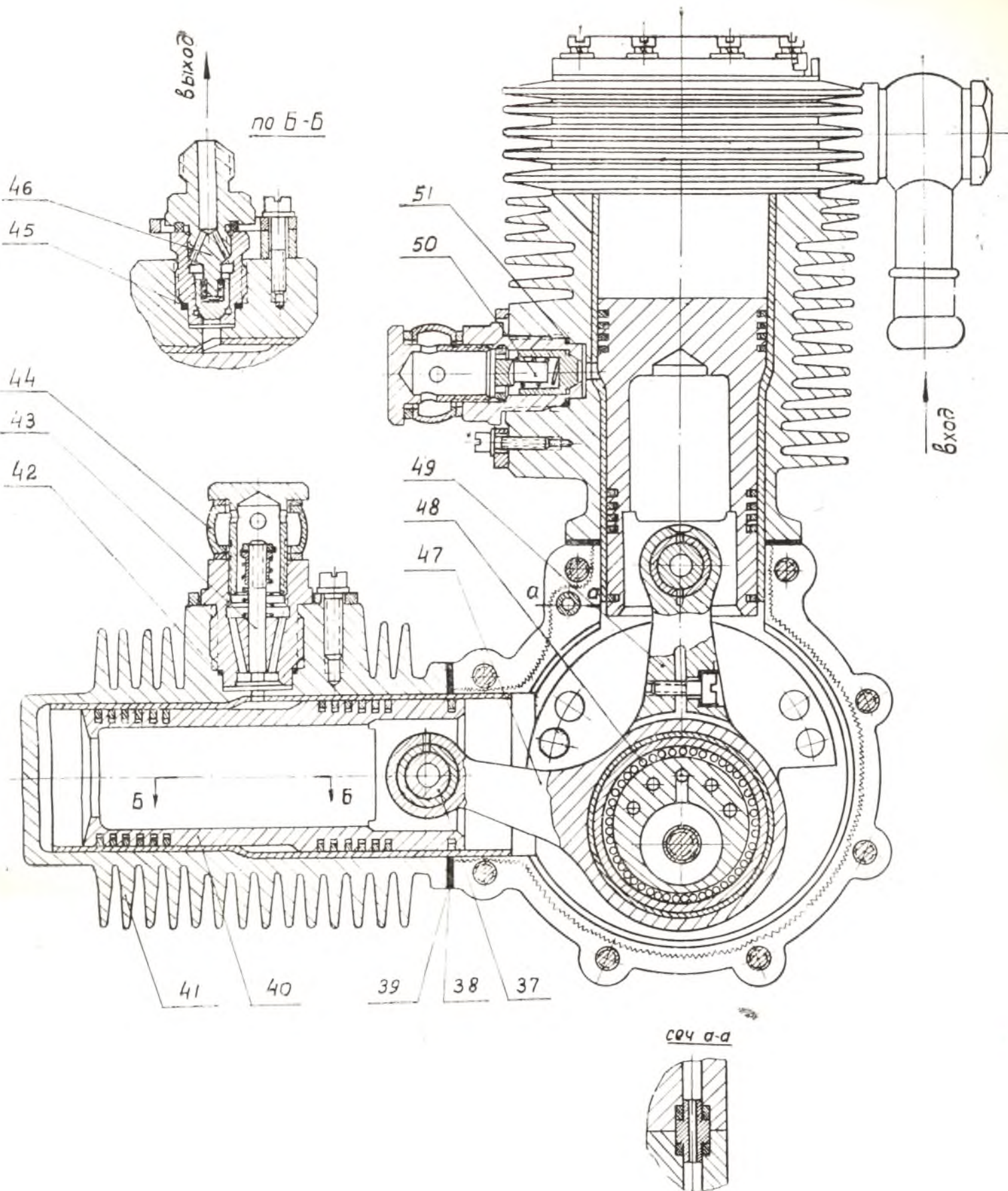
тельное движение. При движении поршня 2 вниз камера сжатия А увеличивается и за счет разрежения в ней открывается клапан 4, засасывая воздух из атмосферы. В это время объем камеры Б уменьшается и воздух под давлением поступает к клапану 3, открывает его и далее идет по трубопроводу к клапану 1. Этот клапан также открывается за счет разрежения в камере В, создаваемого при движении поршня 8, и воздух поступает в камеру В. При проворачивании коленвала до движения поршня 2 вверх и поршня 8 на уменьшение камеры сжатия В объем камеры А уменьшается, клапан 4 закрывается и открывается клапан 7 под действием сжатого воздуха. Воздух от клапана 7 по трубопроводу поступает к клапану 6, который открывается за счет разрежения, создаваемого в камере Б при движении поршня вверх. Воздух попадает в камеру Б. Из камеры В воздух под воздействием поршня, уменьшающего объем камеры В, поступает к клапану 9, открывает его и далее идет в рабочую магистраль и в бортовой баллон самолета.

Конструктивные особенности компрессора таковы. Ведущая и ведомая половины коленвала, соединенные по эксцентрично расположенным цилиндрическим поверхностям, стянуты между собой по главной оси и по оси мотылевой шейки. Фиксация вала осуществляется на заднем подшипнике. Нижняя головка шатуна III ступени с запрессованной бронзовой втулкой скользит по стальной обойме игольчатого подшипника мотылевой шейки. Нижняя головка шатуна I и II ступеней обжимается на обойме подшипника винтом, стягивающим стержень шатуна.

Величины осевых зазоров в камерах сжатия I, II и III ступеней соответственно равны 0,1—0,15; 0,05—0,1 и 0,04—0,08 мм. Торцевые зазоры регулируются прокладками, устанавливаемыми на картере и под головкой цилиндра.

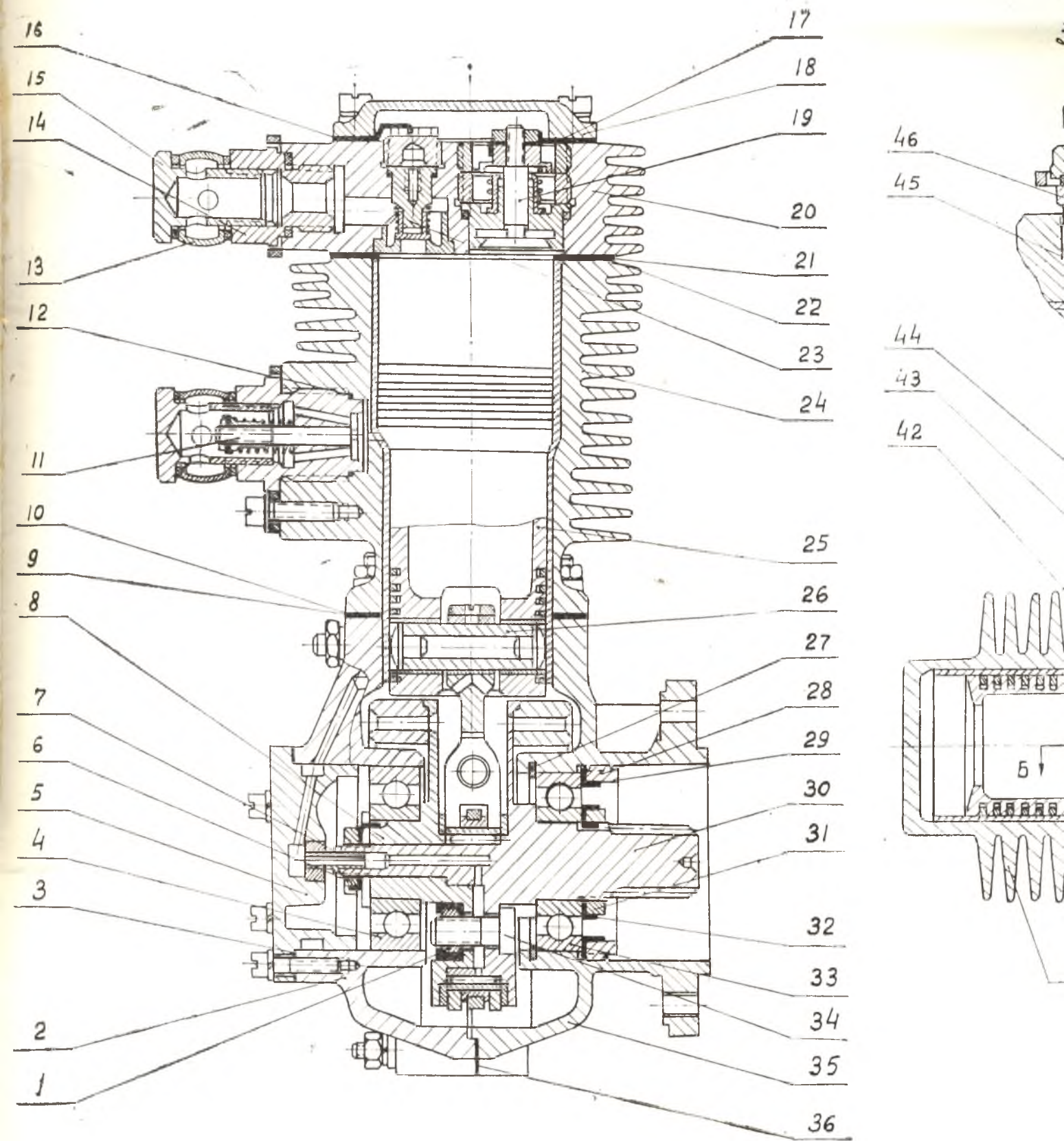
Механизм компрессора смазывается маслом, поступающим из магистрали двигателя. Масло, подведенное под давлением 2—2,5 атм, проходит через отверстие во втулке, вмонтированной между передней и задней половиной картера.

Уплотнение втулки достигается резиновыми прокладками. Масло, подведенное к передней половине картера, через плавающую бронзовую втулку поступает в центральное сверление в коленвале. Далее под действием центробежных сил масло вытесняется через игольчатый подшипник нижних головок шатунов и барботируется через зеркало цилиндров.



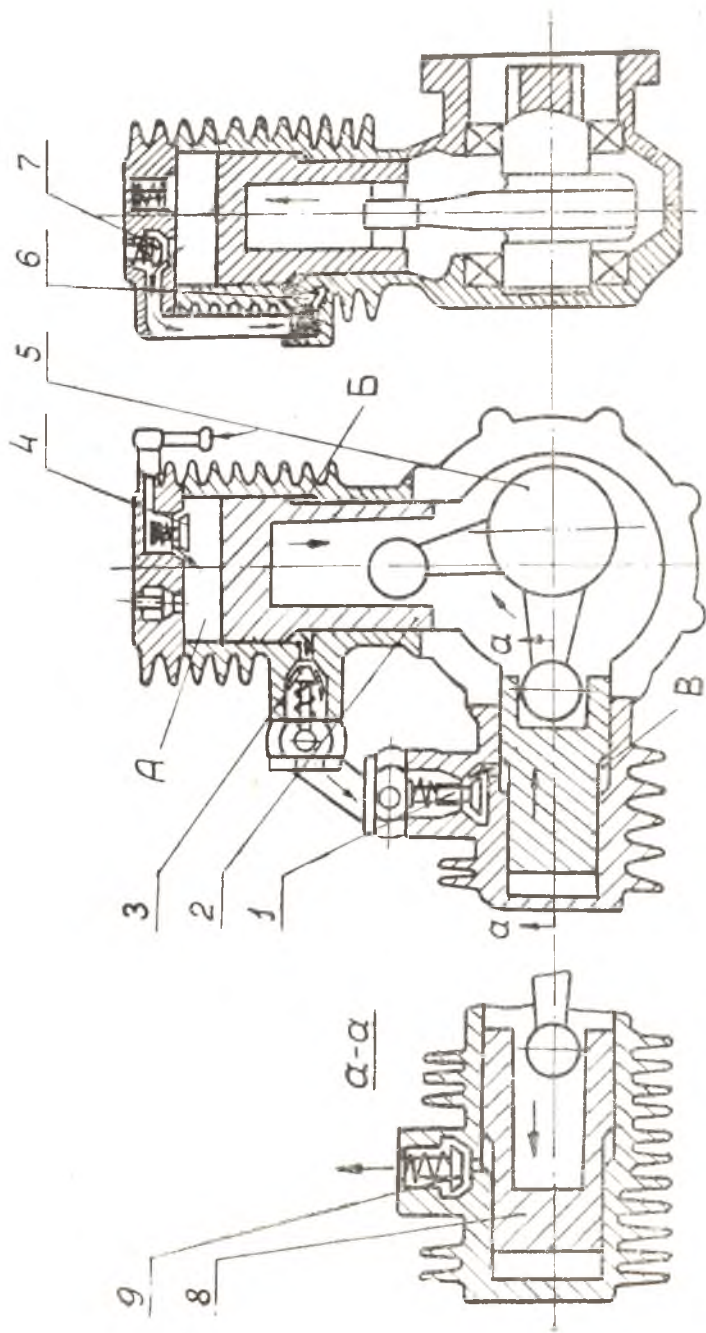
Конструкция узла АК-150.

1 — крышка картера; 2 — прокладка; 3 — шарикоподшипник; 4 — гайка; 5 — трубка перепуска масла; 6 — уплотнительная прокладка; 7 — прокладка регулировочная; 8 — прокладка уплотнительная; 9 — прокладка регулировочная; 10 — прокладка уплотнительная; 11 — прокладка регулировочная; 12 — кольцо уплотнительное; 13 — трубопровод; 14 — болт; 15 — болт; 16 — пластина контрольная; 17 — крышка; 18 — клапан всасывания 1-ой ступени; 19 — прокладка уплотнительная; 20 — прокладка уплотнительная; 21 — прокладка уплотнительная; 22 — прокладка уплотнительная; 23 — цилиндр 1-ой и 2-ой ступеней; 24 — цилиндр 1-ой и 2-ой ступеней; 25 — поршневой налец; 26 — поршневой налец; 27 — кольцо стопорное; 28 — гайка; 29 — ведущая половина коленвала; 30 — гайка; 31 — подшипник задний; 32 — болт; 33 — задняя половина картера; 34 — болт; 35 — задняя половина картера; 36 — поршневой налец; 37 — поршневой налец; 38 — прокладка уплотнительная; 39 — поршень 3-ей ступени; 40 — цилиндр 3-ей ступени; 41 — поршень 3-ей ступени; 42 — клапан всасывания 3-ей ступени; 43 — трубопровод; 44 — кольцо уплотнительное; 45 — клапан нагнетания 1-ой ступени; 46 — клапан нагнетания 1-ой ступени; 47 — подшипник игольчатый; 48 — подшипник игольчатый; 49 — шатун; 50 — клапан нагнетания 2-ой ступени; 51 — кольцо уплотнительное.



Фиг. 1.1. Конструкция узла АК-15

1 — гайка; 2 — передняя половина картера; 3 — прокладка передней; 4 — трубка передняя; 5 — крышка картера; 6 — гайка; 7 — трубка передняя; 8 — прокладка уплотнительная; 9 — прокладка уплотнительная; 10 — штуцер; 11 — клапан всасывания; 12 — кольцо уплотнительное; 13 — прокладка уплотнительная; 14 — штуцер; 15 — болт полый; 16 — прокладка уплотнительная; 17 — прокладка уплотнительная; 18 — крышка; 19 — клапан; 20 — головка клапанов 1-ой ступени; 21 — прокладка уплотнительная; 22 — прокладка уплотнительная; 23 — клапан нагнетания 1-ой ступени; 24 — поршень 1-ой и 2-ой ступеней; 25 — поршнево-кольцевое; 26 — поршнево-кольцевое; 27 — гайка; 28 — гайка; 29 — шайба контрольная; 30 — ведущая полка; 31 — шайба; 32 — шайба; 33 — шарикоподшипник задний; 34 — болт; 35 — шайба; 36 — шайба; 37 — палец поршневой; 38 — прокладка регулировочная; 39 — поршень 3-ей ступени; 40 — поршень 3-ей ступени; 41 — поршень 3-ей ступени; 42 — кольцо уплотнительное; 43 — клапан всасывания 3-ей ступени; 44 — кольцо уплотнительное; 45 — кольцо уплотнительное; 46 — шатун 3-ей ступени; 47 — шатун 3-ей ступени; 48 — подшипник 1-ой и 2-ой ступеней; 49 — клапан нагнетания 2-ой ступени; 50 — клапан нагнетания 2-ой ступени; 51 — подшипник 2-ой ступени; 52 — подшипник 2-ой ступени; 53 — подшипник 2-ой ступени; 54 — подшипник 2-ой ступени; 55 — подшипник 2-ой ступени; 56 — подшипник 2-ой ступени; 57 — подшипник 2-ой ступени; 58 — подшипник 2-ой ступени; 59 — подшипник 2-ой ступени; 60 — подшипник 2-ой ступени; 61 — подшипник 2-ой ступени; 62 — подшипник 2-ой ступени; 63 — подшипник 2-ой ступени; 64 — подшипник 2-ой ступени; 65 — подшипник 2-ой ступени; 66 — подшипник 2-ой ступени; 67 — подшипник 2-ой ступени; 68 — подшипник 2-ой ступени; 69 — подшипник 2-ой ступени; 70 — подшипник 2-ой ступени; 71 — подшипник 2-ой ступени; 72 — подшипник 2-ой ступени; 73 — подшипник 2-ой ступени; 74 — подшипник 2-ой ступени; 75 — подшипник 2-ой ступени; 76 — подшипник 2-ой ступени; 77 — подшипник 2-ой ступени; 78 — подшипник 2-ой ступени; 79 — подшипник 2-ой ступени; 80 — подшипник 2-ой ступени; 81 — подшипник 2-ой ступени; 82 — подшипник 2-ой ступени; 83 — подшипник 2-ой ступени; 84 — подшипник 2-ой ступени; 85 — подшипник 2-ой ступени; 86 — подшипник 2-ой ступени; 87 — подшипник 2-ой ступени; 88 — подшипник 2-ой ступени; 89 — подшипник 2-ой ступени; 90 — подшипник 2-ой ступени; 91 — подшипник 2-ой ступени; 92 — подшипник 2-ой ступени; 93 — подшипник 2-ой ступени; 94 — подшипник 2-ой ступени; 95 — подшипник 2-ой ступени; 96 — подшипник 2-ой ступени; 97 — подшипник 2-ой ступени; 98 — подшипник 2-ой ступени; 99 — подшипник 2-ой ступени; 100 — подшипник 2-ой ступени.



Фиг. 1.2. Схема работы компрессора АК.150.

Технические условия, соблюдаемые при сборке узла компрессора АК-150

1. Посадка колец шарикоподшипников следующая:
для наружных колец — зазор 0,00—0,015 мм;
для внутренних колец — натяг 0,005—0,02 мм.
 2. Радиальные зазоры между поршнем и цилиндром:
для I ступени — 0,22—0,28 мм;
для II ступени — 0,17—0,23 мм;
для III ступени — 0,14—0,20 по большому диаметру;
0,19—0,25 по малому диаметру.
 3. Осевой зазор между поршневым кольцом и торцевой поверхностью канавки поршня 0,03—0,08 мм.
 4. Зазор в стыке поршневого кольца 0,1—0,2 мм.
 5. Суммарный окружной зазор в игольчатом подшипнике 0,5—1,5 мм.
 6. Ход клапанов — в следующих пределах:
клапаны всасывания I, II, III ступени — 0,9—1 мм;
клапаны нагнетания I, II и III ступени — 0,7—1 мм.
- Обеспечение хода клапанов в заданных пределах следует производить в зависимости от конструкции с изменением толщины уплотнительных прокладок или положения резьбовых элементов.
7. Осевой зазор между днищем поршня и головкой клапанов (величина камеры сжатия I ступени) должен быть 0,1—0,15 мм.
 8. Осевой зазор между коническими поверхностями поршня и цилиндра II ступени (величина камеры сжатия II ступени) должен быть 0,05—0,1 мм.
 9. Осевой зазор между коническими поверхностями поршня и цилиндра III ступени (величина камеры сжатия III ступени) должен быть 0,04—0,08 мм.
 10. Обеспечение осевых зазоров в заданных пределах по всем ступеням производить изменением толщины регулировочных прокладок.

РАЗБОРКА КОМПРЕССОРА АК-150

Разборка компрессора производится в соответствии с операционными картами, имеющимися на рабочем месте. Технологический процесс разборки построен таким образом, что

вначале агрегат разбирается на ряд крупных сборочных элементов: цилиндр III ступени с клапанами; поршень III ступени с поршневыми кольцами; головка клапанов цилиндра I ступени; цилиндр I и II ступени с поршнем; картер компрессора с коленчатым валом.

Затем каждый из этих элементов разбирается на более мелкие сборочные единицы или на детали. Так, из цилиндров II и III ступени вывертываются клапаны всасывания и нагнетания, вынимается поршень из цилиндра I ступени и т. д. Картер компрессора вначале разбирается на переднюю и заднюю половины, после чего снимается коленчатый вал с шатунами. Затем коленчатый вал разбирается на ведущую и ведомую части и шатуны.

Все детали и отдельные сборочные элементы аккуратно складываются на лабораторном столе для проведения дальнейших работ.

СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-СБОРОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Одной из первых стадий проектирования технологического процесса сборки является составление схемы конструктивно-сборочных элементов, представляющей собой графическое изображение взаимосвязи сборочных элементов и последовательности их комплектования. Для разработки технологического процесса сборки изделие необходимо расчленить на элементы так, чтобы конструкция их позволила осуществить сборку наибольшего количества этих элементов независимо друг от друга. Под элементами понимаются узлы и подузлы.

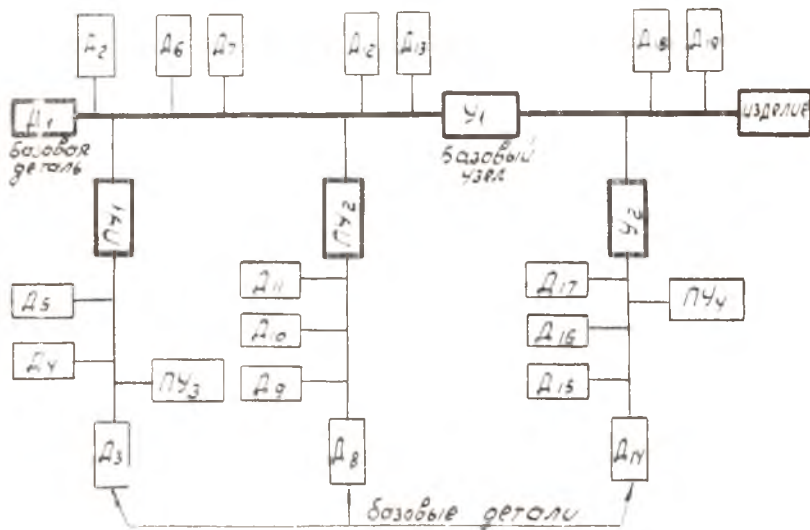
Узел называется соединением двух и более деталей вместе. Узел непосредственно поступает на сборку изделия.

Подузел — также соединение двух или более деталей, но входит в состав более крупной сборочной единицы. Подузел, входящий непосредственно в состав узла, называется подузлом 1-го порядка. Подузел, входящий в состав подузла 1-го порядка, называется подузлом 2-го порядка и т. д.

В изделии различают элементы конструктивные, исходя из их назначения, и сборочные элементы, исходя из независимости их сборки. Часто конструктивные элементы одновременно являются и сборочными. Тогда их называют конструктивно-сборочными элементами. Эти элементы принято для

наглядности изображать в виде схемы сборки, в которой узлы, подузлы и детали представляются в порядке их введения в техпроцесс сборки.

Перед составлением схемы необходимо путем изучения чертежа, ТУ и условий взаимосвязи отдельных сборочных единиц выявить вначале базовый узел, на основе которого может быть произведена сборка всего изделия, а затем базовую деталь, на основе которой будет собираться базовый узел. Полученные базовая деталь, базовый узел и изделие в виде прямоугольников наносятся соответственно слева, в середине и в конце горизонтальной линии, проведенной при построении схемы (фиг. 1.3). В интервале «базовая деталь—базовый



Фиг. 1.3. Схема конструктивно-сборочных элементов.

узел» под горизонтальной линией в соответствующем порядке наносятся все подузлы, которые могут быть самостоятельно установлены при сборке базового узла, а над этой линией также в порядке их установки наносят все детали, необходимые непосредственно при сборке базового узла.

В интервале «базовый узел—изделие» под горизонтальной линией наносятся все узлы, которые самостоятельно входят

в сборку изделия, а сверху — все детали, необходимые непосредственно при сборке изделия.

Далее для каждого из подузлов в левой части схемы и узлов для правой части схемы могут быть построены свои частные схемы на основе своих базовых деталей (фиг. 1.3).

При выполнении данного этапа лабораторной работы необходимо вначале составить схему конструктивно-сборочных элементов по узлам и подузлам, а затем две-три частные схемы сборки подузлов и узлов по указанию преподавателя. При этом на схеме в прямоугольниках делают надписи полученных сборочных элементов, например, «подузел шатунов», «узел клапана» и т. д., а также наименований деталей. Составленная схема предъявляется для утверждения преподавателю до начала построения технологического процесса сборки.

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Данный этап работы начинается с разделения всего процесса сборки на операции и написания плана операций. Базой для этого служат схема конструктивно-сборочных элементов, сборочный чертеж и технические условия. В операциях должны учитываться не только работы, связанные с соединением деталей в узлы или подузлы, но и работы по контролю и обеспечению различных геометрических, кинематических или других параметров изделия (зазоры, натяги, соосность, ход клапана и т. п.). Эти работы включаются либо непосредственно в процесс выполнения сборочной операции, либо выделяются в специальные операции, например, подбор посадок, проверка соосности опор, балансировка, испытание на герметичность, на производительность и т. п. Составленный план операций утверждается преподавателем, а затем по его указанию четыре-пять основных операций оформляются на бланках операционных карт по переходам. Под переходом понимается часть операции, выполняемая над одним определенным соединением при неизменном инструменте. Все переходы по сборке или контролю записываются в соответствующем порядке на бланке операционной карты. В графе «инструмент» перечисляется необходимый инструмент или приспособления. В операционную карту записываются все ТУ, которые должны быть выполнены в данной операции. Составленная документация предъявляется преподавателю и после утверждения является техническим документом, по которому студент производит сборку изделия.

СБОРКА УЗЛА КОМПРЕССОРА

В соответствии с написанными операционными картами производится сборка компрессора АК-150. При этом проверяются все параметры, указанные в операционной карте. Данные замеров заносятся в отчет.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ КОМПРЕССОРА И СХЕМЫ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Качество сборки компрессора оценивается путем проверки производительности компрессора, которая определяется временем наполнения баллона емкостью в 8 литров при определенном числе оборотов.

При проверке компрессор должен находиться по возможности в условиях, близких к реальным: наружные поверхности обдуваются воздухом со скоростью не менее 30 м/сек., смазка компрессора должна производиться при давлении 2—2,5 атм. При выполнении данного этапа студенты вначале знакомятся со схемой установки для определения производительности, а затем изучают конструкцию установки в реальном исполнении.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе должны быть показаны схема конструктивно-сборочных элементов, план операций и величины полученных параметров при сборке компрессора. К отчету следует приложить операционные карты на сборку агрегата.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ УЗЛОВ

Целью работы является установление закономерностей суммирования векторных погрешностей, влияющих на точность центрирования деталей при сборке роторных и статорных узлов двигателей летательных аппаратов. Это позволит студенту приобрести некоторые навыки в оценке точностных характеристик различных конструктивных схем узлов и способов центрирования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомление с методами центрирования деталей в конструкциях узлов авиадвигателей. Анализ погрешностей, возникающих в процессе центрирования и схемы суммирования погрешностей.

2. Методика постановки эксперимента.

3. Проведение лабораторного эксперимента по определению величины суммарной погрешности при центрировании деталей.

4. Построение практических кривых распределения величины суммарной погрешности.

5. Составление отчета по работе.

Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

Перечень приспособлений и инструмента к лабораторной работе

1. Контрольная плита.
2. Шпиндельная бабка с кронштейном.

3. Поворотный круг.
4. Комплект колец с биением 0,2 мм.
5. Индикаторные часы (точность измерения 0,01).

МЕТОДЫ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

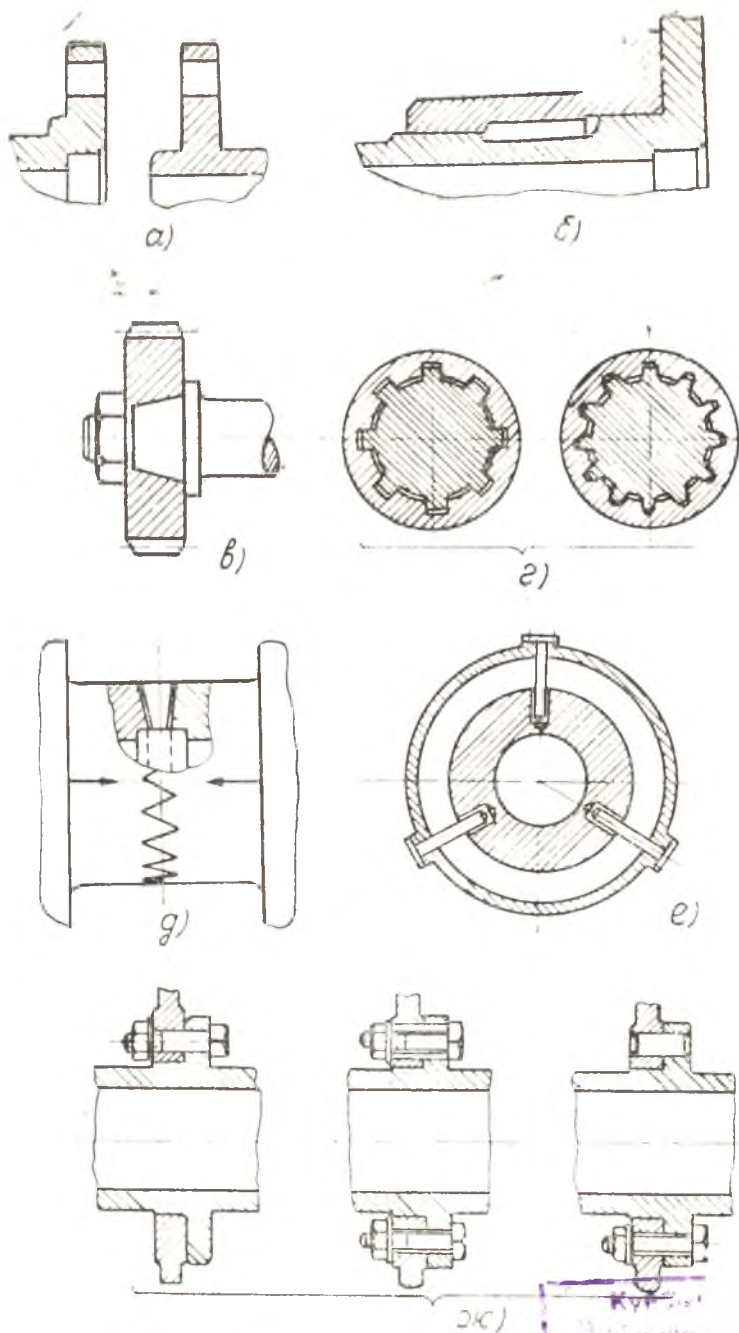
При проектировании узлов авиационных двигателей (ротора компрессора или турбины, а также статорных узлов) конструкторы стремятся обеспечить достаточную точность расположения основных поверхностей узла или осей этих поверхностей, (например: соосность опор под подшипники, концентричность рабочих поверхностей ступеней ротора и статора и т. п.).

Это достигается выбором наилучшего способа центрирования отдельных деталей, входящих в узел, и правильным назначением посадок в соединениях.

Выбор того или иного способа центрирования будет определяться возможностью обеспечения точности расположения поверхностей на всех режимах работы двигателя, а также при переборках. В настоящее время наибольшее распространение получили способы центрирования (фиг. 2.1) с помощью цилиндрических поясков, двух соосных цилиндрических поверхностей, конических поверхностей, продольных и торцевых шлиц, радиальных пазов и штифтов, призонных болтов, втулок и штифтов.

Каждый из приведенных способов характеризуется рядом специфических особенностей и, соответственно, различными возможностями в обеспечении точности центрирования. При сборке реальных узлов двигателя обеспечение достаточно точного расположения основных поверхностей узла является не легкой задачей. Наличие большого количества разъемов как в корпусных, так и роторных узлах и определенная степень точности изготовления центрирующих элементов сопрягаемых деталей вызывают погрешность расположения основных поверхностей (несоосность, неконцентричность, биение и т. д.).

Несоосность опор создает дополнительные нагрузки на подшипники, уменьшает площадь контакта поверхностей тел качения, а также может вызывать защемление шариков или роликов между кольцами при перекосе. Вследствие биения рабочих поверхностей статора и ротора изменяется величина радиальных зазоров в лабиринтных уплотнениях, между концами лопаток ротора и внутренней поверхностью статора



Фиг. 2. 1. Способы центрирования деталей при обработке

и т. п. Поэтому в процессе сборки узлов двигателя вопросу повышения точности центрирования уделяется исключительное внимание. Величина суммарной погрешности расположения основных поверхностей (или их осей) при сборке узлов зависит, главным образом, от точности изготовления и количества деталей, входящих в узел, и условий сборки.

В технологической практике авиадвигателестроения расчет величины несоосности опор или неконцентричности поверхностей в собранном узле проводится (пока еще довольно часто) путем арифметического суммирования погрешностей, т. е. суммирования максимально допустимых величин отклонений в расположении поверхностей центрирующих элементов отдельных деталей. При этом считается, что направления погрешностей всех деталей, входящих в узел, совпадают. В этом случае погрешности выражаются как скалярные величины.

Такой способ расчета получил название «расчет на максимум-минимум».

Рассмотрим пример по определению погрешностей центрирования при сборке ротора одноступенчатой турбины, схема которого представлена на фиг. 2.2. Центрирование диска на вале производится с помощью цилиндрических поясков, выполненных на диске и вале. Предполагаем, что соединение диска и вала осуществляется по тугой посадке (без зазора).

Одним из основных требований, предъявляемых к собранному ротору, является возможно более точное совмещение оси поверхности $\varnothing D$ ступени с осью вращения узла (О—О). Несовмещение осей вызывает радиальное биение поверхности $\varnothing D$ относительно оси О—О, что окажет влияние на величину радиального зазора в газовом тракте узла турбины.

Величина смещения осей в данном случае зависит от погрешностей изготовления деталей, входящих в узел, т. е. величин r_1 и r_2 (фиг. 2.2 б).

Здесь r_1 — смещение оси 1—1 поверхности центрирующего пояска вала относительно оси вращения (О—О);

r_2 — смещение оси 2—2 поверхности $\varnothing D$ относительно оси 1—1 центрирующей расточки в диске.

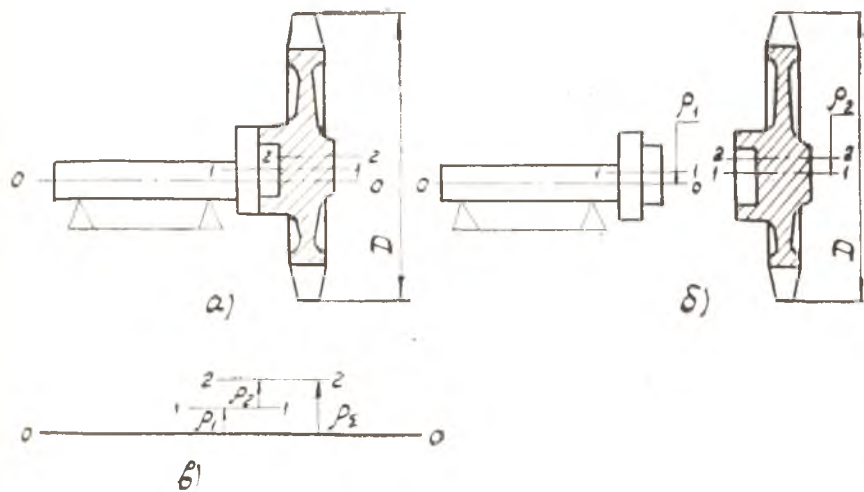
На фиг. 2.2 в приведена схема суммирования погрешностей при условии, что направление погрешностей совпадает.

Тогда суммарная несоосность ρ_{Σ} будет равна арифметической сумме составляющих погрешностей, т. е.

$$\rho_{\Sigma} = \rho_1 + \rho_2.$$

Максимальное значение суммарной несоосности

$$\rho_{\Sigma(max)} = \rho_{1(max)} + \rho_{2(max)}.$$



Фиг. 2.2. Схема арифметического суммирования погрешностей при центрировании деталей.

Приведенный расчет на «максимум-минимум» дает, как правило, завышенные значения величины ρ_{Σ} по сравнению с действительными. Это приводит к необоснованному ужесточению допусков на изготовление деталей и, следовательно, к повышению их стоимости.

В реальных условиях при сборке роторов вероятность появления случаев, когда погрешности ρ_1 и ρ_2 совпадают по направлению, сравнительно мала. Чаще всего будут случаи, когда эти погрешности будут располагаться друг относительно друга под некоторым углом γ (фиг. 2.3), величина которого

го может изменяться от 0 до 2π . Следовательно, величина суммарной погрешности будет определяться путем не арифметического, а уже геометрического суммирования составляющих погрешностей, т. е.

$$\bar{\rho}_{\Sigma} = \bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2.$$

В партии деталей погрешности ρ_1 и ρ_2 распределяются в пределах допуска по определенному закону. Это показывает, что при центрировании деталей имеет место суммирование векторных погрешностей, которые характеризуются случайным модулем и случайным направлением в пространстве. Поэтому целесообразнее всего определение суммарной погрешности производить на базе теории вероятностей в зависимости от величин погрешностей расположения взаимосвязанных поверхностей деталей, входящих в узел, и углового расположения их друг относительно друга.

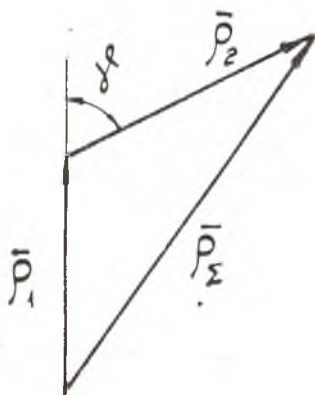
Однако расчет величины суммарной погрешности теоретико-вероятностным способом возможен только в том случае, если известен закон распределения модуля суммарной векторной погрешности.

Для выяснения этого закона суммирование n векторных погрешностей представим в виде следующей схемы (фиг. 2.4).

Дана плоская система n независимых постоянных векторов $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$, имеющих случайные углы наклона $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$, изменяющихся равновероятно в интервале $(-\pi, \pi)$ относительно неподвижной прямой, взятой в плоскости этих векторов.

Задача сводится к определению закона распределения вероятностей модуля суммарного вектора

$$\bar{\rho}_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \bar{\rho}_i.$$

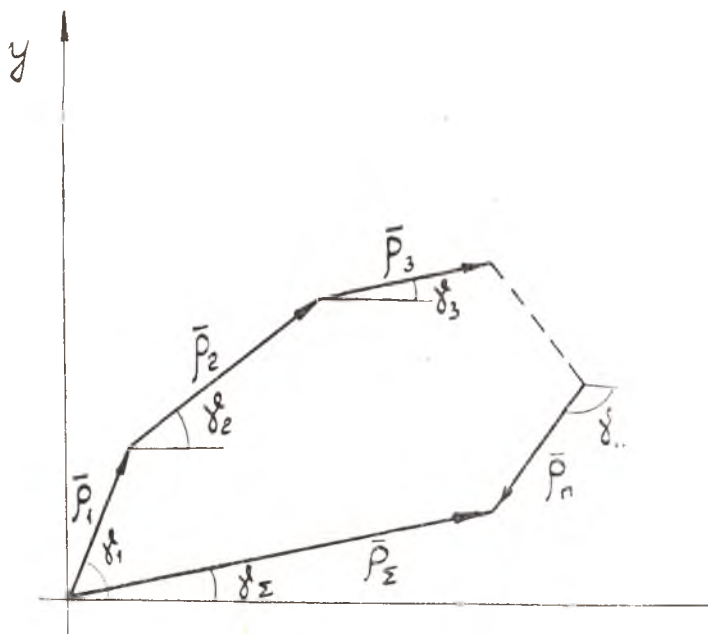


Фиг. 2.3. Схема геометрического суммирования погрешностей при центрировании деталей.

Теоретические исследования [10] показывают, что для такой схемы суммирования при стремлении числа слагаемых к бесконечности ($n \rightarrow \infty$), распределение модуля вектора ρ_{Σ} неограниченно приближается к закону распределения Максвелла с плотностью вероятностей

$$\varphi_{\rho} = \frac{\rho}{\alpha^2} \cdot e^{-\frac{\rho^2}{2\alpha^2}}, \quad (1)$$

где α — параметр закона распределения.



Фиг. 2.4. Схема суммирования n независимых постоянных векторов.

В практике при суммировании ограниченного числа погрешностей, модули которых постоянны, параметр α приближенно определяется по формуле:

$$\alpha^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \rho_i^2. \quad (2)$$

Плотность вероятностей по закону распределения Максвелла выражается кривой, изображенной на фиг. 2.5, где видно, что кривая располагается только вправо относительно начала координат, асимметрична и, асимптотически приближаясь к оси абсцисс, удаляется в бесконечность. Кривая практического распределения имеет конечные пределы и пересекает ось абсцисс в точке, удаленной от начала координат на расстоянии, равном арифметической сумме допустимых составляющих погрешностей.

$$\rho_{\Sigma} = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n \text{ или } \rho_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \rho_i .$$

В практике сборки узлов возникает необходимость, чтобы значение допустимой суммарной погрешности ρ_{Σ_0} было ограничено в более жестких пределах, т. е.

$$\rho_0 < \sum_{i=1}^n \rho_{i(max)} .$$

Тогда будут иметь место случаи, при которых суммарная погрешность, получаемая на узлах, выйдет за жесткие пределы допуска. Вероятность появления таких случаев определится площадью P_0 (на фиг. 2.5 заштрихована). Во всех остальных случаях суммарная погрешность будет не более ρ_{Σ_0} (на фиг. 2.5 площадь P).

При распределении погрешностей по закону Максвелла вероятность получения суммарной погрешности не больше некоторого заданного числа ρ_{Σ_0} , выраженной в процентах, определится следующей зависимостью:

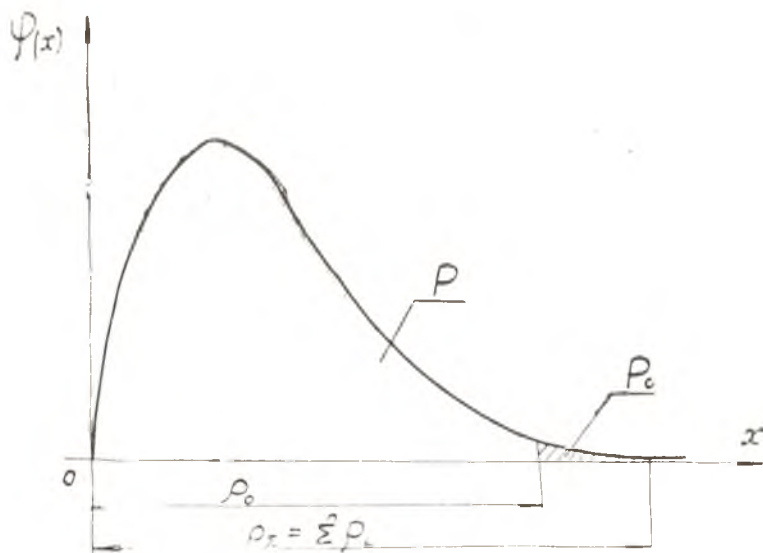
$$P = 100 \left(1 - e^{-\frac{\rho_{\Sigma_0}^2}{2a^2}} \right) . \quad (3)$$

Заменив a выражением (2), получим

$$P = 100 \left(1 - e^{-\frac{\rho_{\Sigma_0}^2}{2a^2}} \right) . \quad (4)$$

Выразим $\frac{\rho_{\Sigma_0}}{\sum_{i=1}^n \rho_{i(max)}} = k$ или $\rho_{\Sigma_0} = k \sum_{i=1}^n \rho_{i(max)}$,

где k — коэффициент сокращения величины допуска, показывающий, какую часть более жесткий допуск ρ_{Σ_0} составляет от значения $\rho_{\Sigma(max)}$.



Фиг. 2. 5. Кривая распределения векторных погрешностей по закону Максвелла.

Предполагаем, что $\rho_1 \leq \rho_2 \leq \rho_3 \leq \dots \leq \rho_n$,
тогда:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= c_1 \cdot \rho_1 \\ \rho_2 &= c_2 \cdot \rho_1 \\ &\dots \dots \dots \\ &\dots \dots \dots \\ \rho_n &= c_n \cdot \rho_1, \end{aligned} \tag{5}$$

где $1 = c_1 < c_2 < \dots < c_n$.

Пользуясь этими соотношениями, можем написать:

$$\sum_{i=1}^n \rho_i = \rho_1 \sum_{i=1}^n c_i$$

и

$$\rho_{\Sigma_0} = k \cdot \rho_1 \cdot \sum_{i=1}^n c_i. \tag{6}$$

Заменяя в формуле (4) ρ_i и $\rho_{\Sigma 0}$ их выражениями (5) и (6), получим:

$$P = 100 \left(1 - e^{-k^2 \frac{\sum_{i=1}^n c_i^2}{\sum_{i=1}^n c_i^2}} \right) . \quad (7)$$

Формула (7) выражает вероятность получения суммарной погрешности в заданных пределах в зависимости от коэффициента k и отношений величин слагаемых погрешностей.

В результате анализа формулы (7) можно сделать два основных вывода:

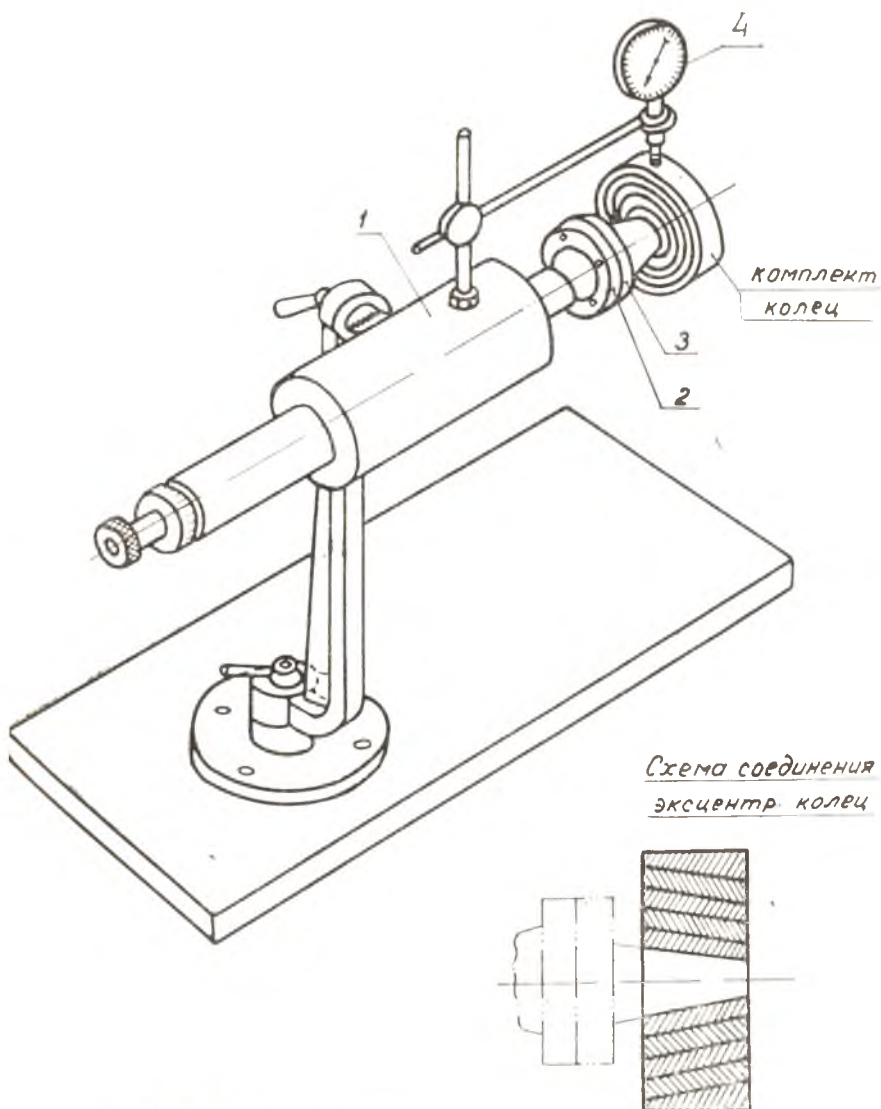
1. При заданном значении коэффициента k с возрастанием числа слагаемых вероятность получения суммарной погрешности в заданном диапазоне ($0 < \rho_{\Sigma} < \rho_{\Sigma n}$) увеличивается.

2. При заданных значениях k и n вероятность получения суммарной погрешности в заданном диапазоне будет наибольшей в случае равенства слагаемых, т. е. при $\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_n$.

В данной лабораторной работе перед студентами ставится задача экспериментального подтверждения вывода № 1 при условии равенства слагаемых ($\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_n$).

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Лабораторный эксперимент по суммированию векторных погрешностей производится на установке, схема которой изображена на фиг. 2.6. Установка представляет собой шпиндельную бабку 1, внутри которой на шарикоподшипниках вращается шпиндель. На его левом конце имеется рукоятка для удобства вращения, на правом — закреплен фланец 2 с переходником 3, имеющий конический хвостовик. Крепление переходника к фланцу обеспечивается болтовым соединением. При необходимости ось переходника 3 можно сместить относительно оси шпинделя на определенную величину (за счет зазора в болтовом соединении) и зафиксировать это положение затяжкой болтов. В этом случае при вращении шпинделя коническая поверхность хвостовика переходника будет иметь биение относительно оси вращения. Величина биения может быть принята как погрешность 1-го звена размерной цепи.



Фиг. 2.6. Схема экспериментальной установки.

При выполнении эксперимента на конический хвостовик переходника устанавливается комплект конических колец, имеющих заданный эксцентриситет внутренней поверхности кольца относительно наружной. Из-за посадки колец по коническим поверхностям соединение получается практически беззазорным.

Величина суммарного биения колец замеряется индикатором 4, стойка которого закреплена на корпусе шпиндельной бабки. Такое крепление устраняет влияние на показания индикатора всевозможных погрешностей от упругих деформаций в конструкции кронштейна и элементов крепления шпиндельной бабки в процессе замера.

Экспериментальная проверка распределения модуля геометрической суммы случайных по направлению и постоянных по величине векторных погрешностей производится в следующем порядке:

1. Установить биение хвостовика переходника, равное 0,2 мм, и закрепить переходник к фланцу шпинделя болтами.

Примечание. В данном эксперименте переходник выполняет роль первого звена размерной цепи ($\rho_1 = 0,2$).

2. Подобрать группу из пяти колец с биением наружной поверхности относительно внутренней, равным $\rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_5 = \rho_6 = 0,2$ мм.

3. Одеть первое (внутреннее) кольцо на переходник шпиндельной бабки.

4. Замерить величину биения наружной поверхности установленного кольца. Полученная величина представляет собой суммарную векторную погрешность узла, состоящего из двух звеньев (ρ_{Σ_2}).

5. Занести полученный результат в таблицу № 1 отчета. Для этого в соответствии с полученной величиной биения определить № интервала, в который попадает результат измерения; зафиксировать попадание результата измерения в данный интервал постановкой цифры «1» в графе частот (см. форму таблицы 1, приведенной ниже).

6. Снять кольцо с переходника, положить его на вращающийся круг (с целью создания характера случайности в относительном угловом положении кольца и переходника при последующей постановке).

7. Снять кольцо с вращающегося круга, вновь поставить его на переходник шпиндельной бабки и замерить биение по

наружной поверхности с последующим занесением результата измерения в таблицу № 1 отчета.

8. Повторить переходы № 6, 7 до получения общего количества замеров, равного 50.

9. Подсчитать частоту попадания величин биения в каждый интервал, т. е. m_1, m_2, m_3 и т. д.

10. Пользуясь данной методикой, повторить эксперимент для следующего сочетания суммируемых векторов, т. е.

$$\overline{\rho_{\Sigma(4)}} = \overline{\rho_1} + \overline{\rho_2} + \overline{\rho_3} + \overline{\rho_4}.$$

$$\overline{\rho_{\Sigma(6)}} = \overline{\rho_1} + \overline{\rho_2} + \overline{\rho_3} + \overline{\rho_4} + \overline{\rho_5} + \overline{\rho_6}.$$

При проведении этих работ необходимо стремиться к тому, чтобы при каждом новом взаимном сочетании колец всегда вносить элемент случайности в относительное угловое положение колец. Результаты измерения заносить в таблицы № 2 и 3 отчета.

11. По полученным значениям частот в отчете к лабораторной работе построить графики плотности распределения суммарного вектора $\rho_{\Sigma(2)}$, $\rho_{\Sigma(4)}$ и $\rho_{\Sigma(6)}$.

12. По данным, полученным из таблиц № 1, 2, 3 и графиков, определить эффективность векторного суммирования в каждом из трех случаев при заданном коэффициенте $K=0,8$ (практически это означает, что допуск на величину суммарной векторной погрешности сокращен на 20% по отношению к значению погрешности, рассчитанной как арифметическая сумма составляющих).

Эффективность суммирования, т. е. процент попадания величины суммарной погрешности в заданные (более жесткие) пределы допуска при $K=0,8$ подсчитывается по следующей формуле:

$$\Xi \% = \frac{\sum_{i=1}^{i=(s-2)} m_i}{N},$$

где m_i — частота попадания в интервал;

S — общее количество интервалов;

N — общее число замеров.

На основании полученных данных в отчете сделать выводы об эффективности векторного суммирования при различном количестве деталей, входящих в узел.

Форма таблицы №1 отчета

$n = 2, \rho_1 = \rho_2 = 0,2$										
Или интервалов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервалов	0,00- 0,04	0,04 0,08	0,08 0,12	0,12 0,16	0,16 0,20	0,20 0,24	0,24 0,28	0,28 0,32	0,32 0,36	0,36 0,40
Частоты m_i	1+1+1	1+1+1	0							
	$m_1=3$	$m_2=4$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$	$m_6=$	$m_7=$	$m_8=$	$m_9=$	$m_{10}=$
Частости $\frac{m_i}{N}$	0,06	0,08								

Форма таблицы №2 отчета

$n = 4, \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = 0,2$										
Или интервалов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервалов	0,00- 0,08	0,08 0,16	0,16 0,24	0,24 0,32	0,32 0,40	0,40 0,48	0,48 0,56	0,56 0,64	0,64 0,72	0,72 0,80
Частоты m_i										
	$m_1=$	$m_2=$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$	$m_6=$	$m_7=$	$m_8=$	$m_9=$	$m_{10}=$
Частости $\frac{m_i}{N}$										

Форма таблицы №3 отчета

$n = 6, \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_6 = 0,2$										
Или интервалов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервалов	0,00 0,12	0,12 0,24	0,24 0,36	0,36 0,48	0,48 0,60	0,60 0,72	0,72 0,84	0,84 0,96	0,96 1,08	1,08 1,20
Частоты m_i										
	$m_1=$	$m_2=$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$	$m_6=$	$m_7=$	$m_8=$	$m_9=$	$m_{10}=$
Частости $\frac{m_i}{N}$										

Фиг. 2. 7. Формы таблиц отчета.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

МЕТОДЫ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Целью работы является сравнение методов тарированной затяжки резьбовых соединений с точки зрения их точности.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомление с наиболее распространенными методами тарированной затяжки. Анализ расчетных формул, устанавливающих связь между усилием затяжки и косвенными параметрами, с помощью которых контролируется это усилие.

2. Ознакомление с методикой постановки эксперимента и применяемой оснасткой.

3. Проведение эксперимента по затяжке резьбового соединения с контролем затяжки одновременно тремя методами.

4. Расчет усилия затяжки, соответствующего каждому из методов, и построение графиков зависимостей.

5. Анализ результатов экспериментов и выводы о точности методов затяжки.

6. Составление отчета по работе.

Продолжительность лабораторной работы 2 часа.

Оснастка к работе

1. Установка для проведения опыта.
2. Болт $M12 \times 1,5$; $l = 83$ мм.
3. Гайка $M12 \times 1,5$.
4. Индикаторы 3 шт. (точность измерения 0,01).
5. Динамометрический ключ.
6. Ключ плоский $s = 19 \times 17$.

МЕТОДЫ ТАРИРОВАННОЙ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Одним из наиболее важных требований, предъявляемых к сборке резьбовых соединений, является обеспечение заданного усилия затяжки, действующего в направлении оси болта или шпильки. В производственных условиях получили широкое распространение следующие три метода тарированной затяжки, позволяющие по косвенным параметрам контролировать усилие затяжки резьбового соединения:

- 1) затяжка с контролем момента на ключе;
- 2) затяжка с контролем угла поворота гайки;
- 3) затяжка с контролем удлинения болта или шпильки.

Рассмотрим характерные особенности каждого из этих методов.

Затяжка с контролем момента на ключе осуществляется с помощью предельных и динамометрических ключей, которые позволяют получать определенный момент затяжки.

Связь между моментом на ключе ($M_{кл}$) и осевым усилием затяжки (P_3) выражается следующим соотношением:

$$M_{кл} = P_3 \left[d_{ср} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \frac{\mu_p}{\cos \beta}}{1 - \operatorname{tg} \alpha \frac{\mu_p}{\cos \beta}} \right) + \frac{\mu_T}{3} \left(\frac{D^3 - d_{отв}^3}{D^2 - d_{отв}^2} \right) \right], \quad (1)$$

где

$M_{кл}$ — момент на ключе, кг·см;

P_3 — осевое усилие затяжки, кг;

α — угол подъема резьбы;

β — половина угла профиля резьбы;

μ_p — коэффициент трения в резьбе;

μ_T — коэффициент трения на торце гайки;

$d_{ср}$ — средний диаметр резьбы, см;

D и $d_{отв}$ — диаметры окружностей, ограничивающих площадь опорной поверхности гайки, см.

Усилие затяжки определяется, исходя из действующих нагрузок на элементы резьбового соединения в процессе эксплуатации с учетом обеспечения прочности и долговечности резьбового соединения.

Получить заданную величину затяжки при этом методе

возможно при условии, что известны значения коэффициентов трения μ_p и μ_T . Трудность здесь заключается в том, что в реальных резьбовых соединениях коэффициенты трения не являются постоянными и могут колебаться в пределах 0,05—0,5 и более. Наибольшее влияние на коэффициенты трения оказывают род материала сопрягаемых деталей, чистота поверхностей, вид антикоррозионного покрытия (оцинкование, кадмирование, омеднение и др.), род смазки. Поэтому точность рассматриваемого метода контроля усилия затяжки зависит от степени соответствия принимаемых коэффициентов трения их действительным значениям.

Однако, если учесть все конструктивные и технологические особенности резьбового соединения конкретного типа и для этих условий экспериментально определить коэффициенты трения, то колебание их значений будет в более узком диапазоне и точность метода может быть значительно повышена.

Этот метод тарированной затяжки производителен, прост в выполнении и легко поддается механизации.

Затяжка с контролем угла поворота гайки отличается большой простотой и выполняется в следующем порядке: с помощью простого ключа гайка затягивается с целью обмятия неровностей на контактных поверхностях, после чего гайка отвертывается на 1—2 оборота и вновь наворачивается от руки или при помощи слабого предельного ключа до плотного соприкосновения с опорной поверхностью. Затем гайка дотягивается ключом на определенный угол $\varphi_{зат}$.

Расчет угла поворота гайки (или болта) для обеспечения заданной силы затяжки производится по формуле:

$$\varphi_p = \frac{360}{s} \cdot P_3 l \left(\frac{1}{E_\delta F_\delta} + \frac{1}{E_\partial F_\partial} \right), \quad (2)$$

где

- φ_p — расчетный угол поворота гайки в градусах;
- P_3 — осевое усилие затяжки, кг;
- s — шаг резьбы, мм;
- l — длина болта (шпильки) равная толщине стягиваемых деталей (фиг. 3.1), мм;
- E_δ, E_∂ — модули упругости материалов болта и стягиваемых деталей, кг/мм²;
- F_δ, F_∂ — площади сечения болта и стягиваемых деталей, мм².

Площадь сечения F_{δ} подсчитывается по формуле

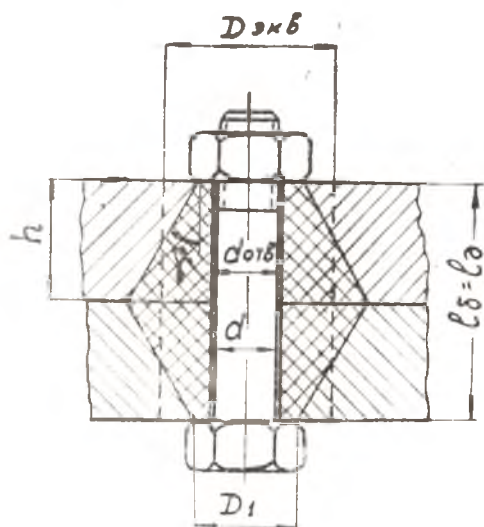
$$F_{\delta} = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Площадь сечения соединяемых деталей обычно определяют в предположении, что напряжения распространяются по так называемым «конусам давления» (фиг. 3.1). Обычно принимают, что

$$\operatorname{tg} \gamma = 0.5.$$

Если заменить рассматриваемый конус «эквивалентным цилиндром» ($D_{\text{экв}}$), то площадь сечения F_{δ} выразится следующей зависимостью

$$F_{\delta} = \frac{\pi}{4} [(D_1 + h \cdot (\operatorname{tg} \gamma)^2) \cdot d_{\text{отв}}^2].$$



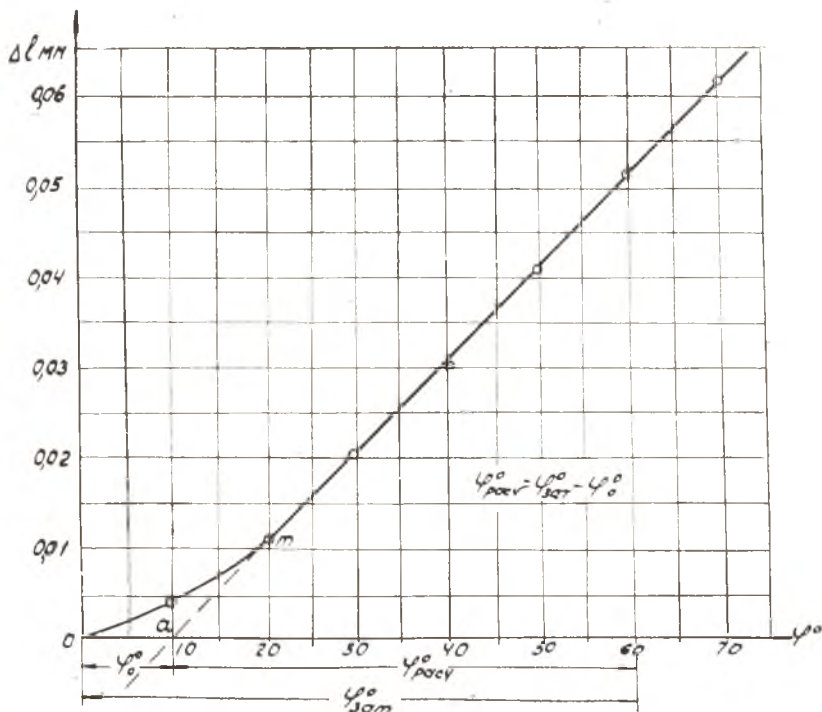
Фиг. 3.1. Схема резьбового соединения.

Преимуществом метода затяжки по углу поворота является отсутствие в расчетных формулах коэффициентов трения, которые вследствие нестабильности резко снижают точность расчетов. Кроме того, этот метод не требует сравнительно дорогих динамометрических ключей и прост в выполнении.

Недостатком метода следует считать малую точность затяжки, имеющую следующие причины:

1) погрешности субъективного характера, выражающиеся в неточном нахождении начального положения гайки при заворачивании ее от руки до упора во фланец;

2) наличие в начале затяжки периода, при котором происходит непропорциональное изменение удлинения болта Δl в зависимости от угла поворота $\varphi_{зат}$.



Фиг. 3.2. График зависимости Δl от $\varphi_{зат}$.

Если по экспериментальным данным построить график зависимости Δl от $\varphi_{зат}$ (фиг. 3.2), то в начальный период затяжки изменение величины Δl проходит по кривой до точки «m» вследствие того, что в этот период происходит обжатие деталей, смятие неровностей, деформация отдельных элементов резьбы и т. п. Заменяв криволинейный участок графика

прямой линией (на фиг. 3.2 показана пунктиром), получим значение исходного угла φ_0 , при котором поворот гайки не вызывает удлинения болта. Тогда истинное значение угла затяжки равно:

$$\varphi_p = \varphi_{\text{нат}} - \varphi_0.$$

Его и следует принимать при расчете усилия затяжки по углу поворота. Величина угла φ_0 иногда составляет 25–30% от $\varphi_{\text{нат}}$;

3) трудность определения площади сечения стягиваемых деталей F_0 вследствие условности расчета в предположении распределения напряжений по «конусам давления» и замены этих конусов в расчетах «эквивалентным цилиндром». Отсутствуют также точные данные по углу конуса γ .

Повышение точности этого метода достигается уточнением расчетов, внесением коррективов по углу φ_0 (после его экспериментального определения). С целью уменьшения влияния на затяжку упруго-пластических деформаций поверхностей в стыке деталей резьбового соединения рекомендуется двух-трехкратное предварительное «обжатие» деталей под нагрузкой, близкой к расчетной.

Затяжка с контролем удлинения болта состоит в том, что в процессе затяжки замеряется величина удлинения болта. Связь между удлинением болта Δl_b , имеющим одинаковое сечение по длине, и усилием затяжки P_3 выражается законом Гука:

$$\Delta l_b = \frac{P_3 \cdot l_b}{E_b \cdot F_b}, \quad (3)$$

где

P_3 — осевое усилие затяжки, кг;

l_b — длина болта (шпильки), равная толщине стягиваемых деталей, мм;

E_b — модуль упругости материала болта, кг/мм²;

F_b — площадь сечения болта, мм².

Этот метод затяжки является наиболее точным благодаря наличию прямой связи между P_3 и Δl_b . Величины коэффициентов трения, а также площадь сечения сопрягаемых деталей F_0 , определение которых представляет большие трудности, не входят в расчетную формулу.

Следует, однако, заметить, что применение этого метода иногда ограничивается вследствие трудности подхода к бол-

там в собираемом двигателе, а также необходимости создания в конструкции соединения измерительных баз. Кроме того, затяжка коротких болтов и особенно шпилек связана со значительными погрешностями. Обычно величину l_{δ} принимают равной толщине фланцев стягиваемых деталей. Фактически при затяжке гайки происходит удлинение болта не только на этом участке, но и в резьбовой части, т. е. на участке гайки, которая формулой (3) не учитывается. Погрешность также возникает за счет прогиба головки болта.

В авиационных двигателях этим методом пользуются при затяжке таких ответственных резьбовых соединений, как стяжные болты роторов компрессора и турбин, силовые шпильки и т. д.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ РАССМАТРИВАЕМЫХ МЕТОДОВ ЗАТЯЖКИ

Сущность методики сравнения точностных возможностей рассматриваемых методов затяжки состоит в том, что затяжка одного и того же резьбового соединения осуществляется одновременно по моменту, углу поворота гайки и замеру удлинения болта.

Значение осевого усилия P_z для каждого метода затяжки определяется из приведенных выше формул (1), (2), (3), т. е.

$$P_{z(M)} = M_{кл} \left[\frac{1}{\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \frac{\mu_p}{\cos \beta}}{1 - \operatorname{tg} \alpha \frac{\mu_p}{\cos \beta}} \right) \cdot \frac{d_{cp}}{2} + \frac{\mu_T}{3} \left(\frac{D^3 - d_{отв}^3}{D^2 - d_{отв}^2} \right)} \right] = M_{кл} \cdot \Lambda_M,$$

$$P_{z(\varphi)} = \varphi_p \left[\frac{s}{360 \left(\frac{1}{E_{\delta} F_{\delta}} + \frac{1}{E_{\partial} F_{\partial}} \right) l} \right] = \varphi_p \cdot \Lambda_{\varphi},$$

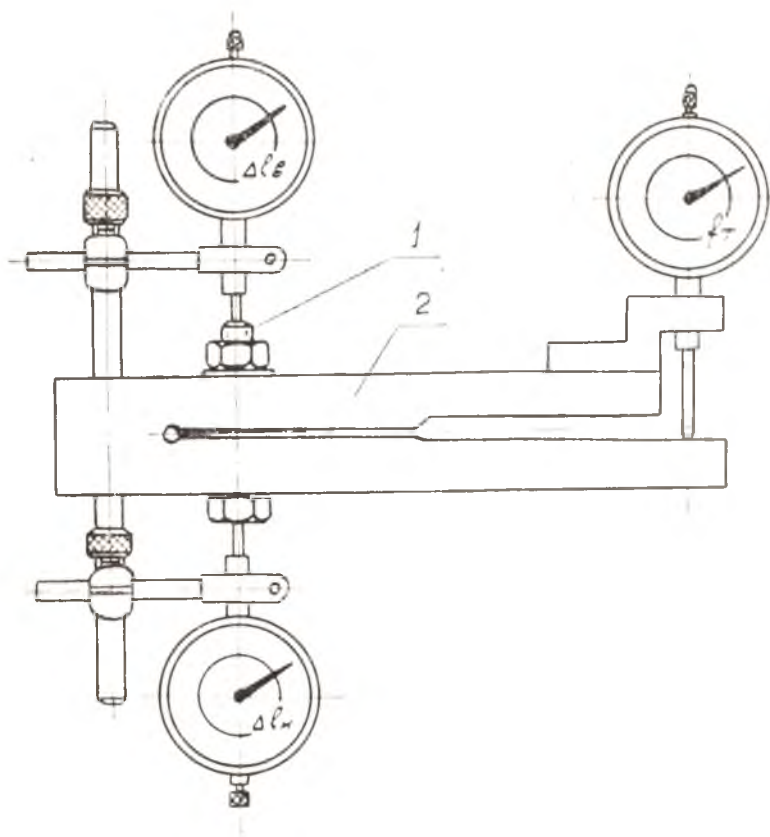
$$P_{z(\Delta l)} = \Delta l_{\delta} \cdot \frac{E_{\delta} \cdot F_{\delta}}{l_{\delta}} = \Delta l_{\delta} \cdot \Lambda_{\Delta l}.$$

Если рассматриваемые методы затяжки равноценны по своей точности, то должно существовать равенство:

$$P_{z(M)} = P_{z(\varphi)} = P_{z(\Delta l)} = P_{z(\tau)},$$

где $P_{\text{в}(T)}$ — истинное значение усилия затяжки, определяемое путем предварительной тарировки болта,

Тарировка производится с помощью динамометра (фиг. 3.3). Результаты тарировки выражаются графиком зависимости усилия затяжки $P_{\text{з}}$ от удлинения болта Δl .

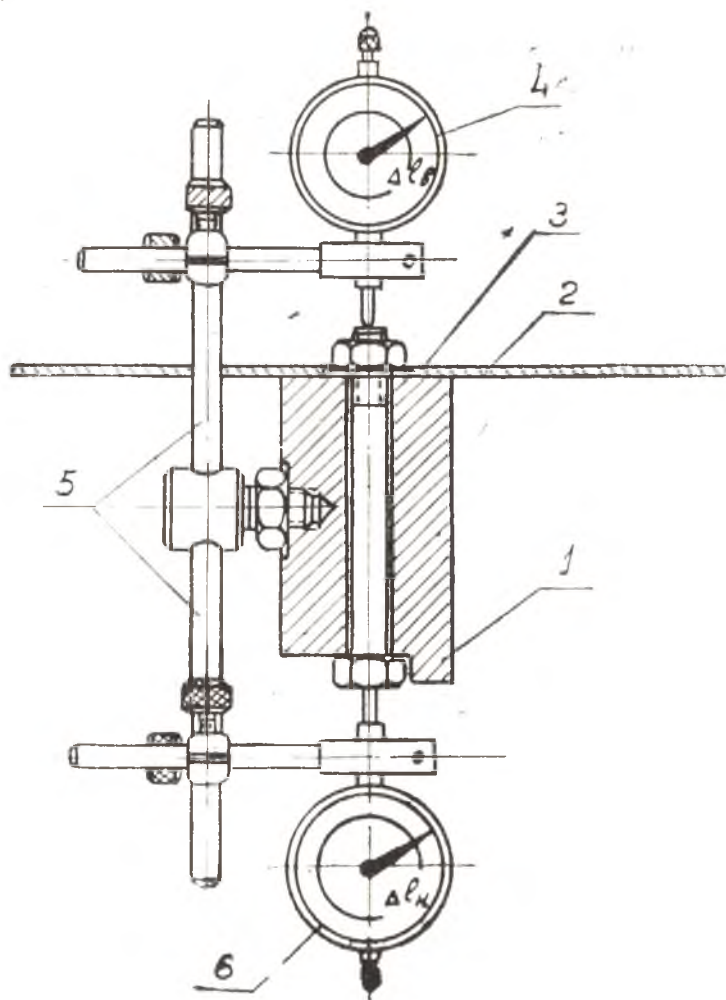


Фиг. 3.3 Схема тарировки болта с помощью динамометра.
1 — болт испытываемый; 2 — динамометр.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для оценки точности методов контроля усилия затяжки используется приспособление (фиг. 3.4), состоящее из втул-

ки 1, жестко укрепленной на подставке. В отверстие втулки устанавливается опытный болт 3. На втулке укреплены кронштейны 5 для установки верхнего 4 и нижнего 6 индикаторов, измеряющих удлинение болта, и лимб 2 для отсчета угла поворота гайки.



Фиг. 3.4. Конструкция приспособления

1 — втулка; 2 — лимб; 3 — болт испытуемый; 4 — индикатор верхний; 5 — кронштейн; 6 — индикатор нижний.

Затяжка гайки производится динамометрическим ключом, позволяющим измерять момент затяжки с высокой точностью. Ключ предварительно тарируется, и результаты тарировки заносятся в таблицу, прикладываемую к ключу.

Для отсчета угла поворота динамометрический ключ снабжен указательной стрелкой.

При проведении лабораторной работы используется болт с резьбой $12 \times 1,5$; $l_0 = 83$ мм, материал — ст. 30ХГСА.

Лабораторный эксперимент производится в следующей последовательности.

1. Проверить правильность установки болта во втулку приспособления согласно фиг. 3.4.

2. С помощью простого ключа затянуть гайку с целью смятия неровностей на контактных поверхностях, после чего отвернуть гайку и вновь навернуть от руки.

3. Приподняв ножку верхнего индикатора, установить на гайку динамометрический ключ (не поворачивая гайки) и совместить стрелку индикатора ключа с нулевым делением шкалы.

4. Подвести ножки индикаторов приспособления к торцам болта и совместить стрелки индикаторов с нулевым делением шкал (ножки индикаторов должны быть установлены по оси болта).

5. Зафиксировать начальное угловое положение динамометрического ключа по лимбу.

6. Произвести затяжку гайки динамометрическим ключом через равные интервалы момента $M_{кл}$: 100, 200, 300, 400 кг·см. Перевод показаний индикатора ключа в кг·см осуществляется по тарировочной таблице, приложенной к ключу. Для каждого значения момента определяется угол затяжки ($\varphi_{зат}$) гайки ($\varphi_{зат} = \varphi_i - \varphi_{нач}$), а также показания верхнего (Δl_v) и нижнего (Δl_n) индикаторов. Все полученные данные заносятся в таблицу № 1 отчета. Форма таблицы № 1 приведена ниже.

7. Отвернуть гайку и повторить эксперимент еще раз с занесением результатов замеров в таблицу отчета.

8. Для каждого значения момента найти средне-арифметическую величину $\varphi_{зат}$, Δl_v , Δl_n и записать их в таблицу отчета, после чего вычислить величину удлинения болта по формуле

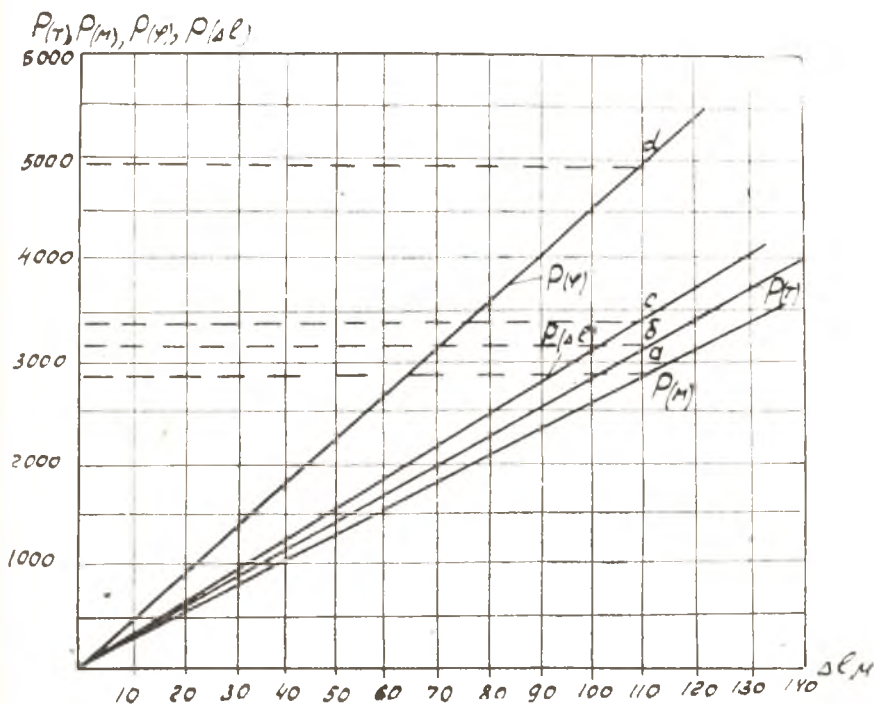
$$\Delta = \Delta l_v - \Delta l_n.$$

9. По полученным значениям величин Δl и $\varphi_{\text{зат}}$ построить график зависимости Δl от $\varphi_{\text{зат}}$ (аналогичный фиг. 3.2) и определить величину исходного угла φ_0 .

10. Для каждого значения момента вычислить величину расчетного угла затяжки по формуле $\varphi_p = \varphi_{\text{зат}} - \varphi_0$ и занести в таблицу № 1 отчета.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. В соответствующие графы таблицы № 2 отчета перенести из табл. № 1 величины моментов $M_{\text{кт}}$ (в кг·см), расчетных углов затяжки φ_p (в град.) и удлинения болта Δl (в мм). Форма таблицы приведена ниже.



Фиг. 3.5. Графики зависимостей $R_{z(M)}, R_{z(\varphi)}, R_{z(\Delta l)}, R_{z(T)}$ от Δl .

2. Для каждого значения $M_{\text{кл}}$, φ_D и Δl определить усилие затяжки по следующим формулам:

$$P_{з(m)} = A_m \cdot M_{\text{кл}} \quad (\text{кг});$$

$$P_{з(\varphi)} = A_\varphi \cdot \varphi_D \quad (\text{кг}),$$

$$P_{з(\Delta l)} = A_{\Delta l} \cdot \Delta l \quad (\text{кг});$$

Значение коэффициентов A_m , A_φ , $A_{\Delta l}$, а также соответствующие графики для облегчения вычислений имеются на рабочем месте.

Полученные данные заносятся в соответствующие графы таблицы № 2 отчета.

3. На основе полученных данных в отчете построить графики зависимостей $P_{з(m)}$, $P_{з(\varphi)}$, $P_{з(\Delta l)}$ от Δl , после чего по данным тарировки болта построить график зависимости $P_{з(\tau)}$ от Δl (фиг. 3.5).

4. На построенном графике провести ординату, которая пересекала бы все кривые зависимостей (фиг. 3.5), и для точек а, б, с и д определить величины усилия затяжки $P_{з(m)}$, $P_{з(\varphi)}$, $P_{з(\Delta l)}$, $P_{з(\tau)}$.

5. Определить погрешность величины затяжки для каждого метода по следующим формулам:

$$\varepsilon_m = \frac{P_{з(m)} - P_{з(\tau)}}{P_{з(\tau)}} \cdot 100 \quad (\%);$$

$$\varepsilon_\varphi = \frac{P_{з(\varphi)} - P_{з(\tau)}}{P_{з(\tau)}} \cdot 100 \quad (\%);$$

$$\varepsilon_{\Delta l} = \frac{P_{з(\Delta l)} - P_{з(\tau)}}{P_{з(\tau)}} \cdot 100 \quad (\%),$$

В отчете по лабораторной работе сделать выводы о точности трех методов контроля затяжки.

Форма таблицы № 1 отчета

Эксп. точки	$M_{кл}$ кг · см	$\varphi_{зат}$ $\varphi_t - \varphi_{нач}$ град.	$\Delta l_{в}$ мм	$\Delta l_{п}$ мм	$\Delta l =$ $= \Delta l_{в} -$ $= \Delta l_{п}$ мм	$\varphi_p =$ $\varphi_{зат} -$ $= \varphi_0$ град.			
1	100	$\frac{1}{2}$	ср.	$\frac{1}{2}$	ср.	$\frac{1}{2}$	ср.		

Форма таблицы № 2 отчета

Эксп. точки	$M_{кл}$ кг · см	$P_{з(л)}$ кг	φ_p град.	$P_{з(\varphi)}$ кг	Δl мм	$P_{з(\Delta l)}$ кг
1						

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

СБОРКА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В УЗЛЕ КОРОБКИ ПРИВODOB

Целью работы является изучение технологического процесса сборки цилиндрических и конических зубчатых передач, а также проверка и регулировка качества зацепления передач. В работе частично рассматриваются вопросы сборки узлов с подшипниками качения и сборки резьбовых соединений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Краткое ознакомление с конструкцией узла.
 2. Разборка узла.
 3. Сборка конических и цилиндрических зубчатых передач с проверкой и регулировкой качества зацепления.
 4. Окончательная сборка узла.
 5. Составление отчета по работе.
- Продолжительность лабораторной работы 4 часа

Перечень оснастки для выполнения лабораторной работы

П р и с п о с о б л е н и я

Л4-01 — съемник для демонтажа ведомой шестерни стартера	1 шт.
Л4-02 — съемник для демонтажа привода ведущей шестерни стартера	1 шт.
Л4-03 — приспособление для запрессовки ведомой конической шестерни стартера	1 шт.

Л4-04 — приспособление для стопорения ведущей цилиндрической шестерни	1 шт.
Л4-05 — приспособление для стопорения ведомой конической шестерни стартера	1 шт.
Л4-06 — приспособление для замера зазора в зубьях конических и цилиндрических шестерен	1 шт.
Л4-07 — приспособление для стопорения шестерни привода топливного насоса	1 шт.
Л4-08 — приспособление для замера зазора в зацеплении шестерен запасного привода	1 шт.
Л4-09 — кронштейн с индикатором для замера зазора в зацеплении шестерен стартера	1 шт.
Л4-10 — оправка цанговая для замера зазора в шестернях стартера	1 шт.
Л4-11 — спец. вороток для вращения коробки приводов	1 шт.
Л4-12 — оправка для запрессовки привода ведущей шестерни стартера	1 шт.
Л4-13 — оправка для запрессовки привода топливного насоса	1 шт.

Слесарный инструмент

Ключ $s = 9 \times 11$ плоский	1 шт.
Ключ $s = 9$ торцовый	1 шт.
Ключ $s = 11$ торцовый	1 шт.
Ключ $s = 17 \times 19$ плоский	1 шт.
Л4-14 — ключ специальный $s = 6 \times 6$ для винтов привода маслонасоса	1 шт.
Л4-15 — ключ специальный для гайки центрального валика	1 шт.
Ключ динамометрический $M = 2$ кгм	1 шт.
Пневмогайковерт	1 шт.
Оправка сальниковая	1 шт.
Отвертка	1 шт.
Молоток 200 г	1 шт.

Мерительный инструмент

Стойка для индикатора	1 шт.
Индикатор часового типа (точность измерения 0,01)	2 шт.
Индикатор рычажный (точность измерения 0,01)	1 шт.
Микрометр 0-25 мм	1 шт.
Штанген-маузер	1 шт.
Щуп наборный	1 шт.

Оборудование

Сборочная тележка для узла коробки приводов	1 шт.
Компрессор воздушный $P = 6$ атм	1 шт.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА КОРОБКИ ПРИВОДОВ

Рассматриваемый узел двигателя является редуктором для понижения числа оборотов приводов вспомогательных агрегатов, обслуживающих двигатель, а также приводов, используемых для нужд самолета.

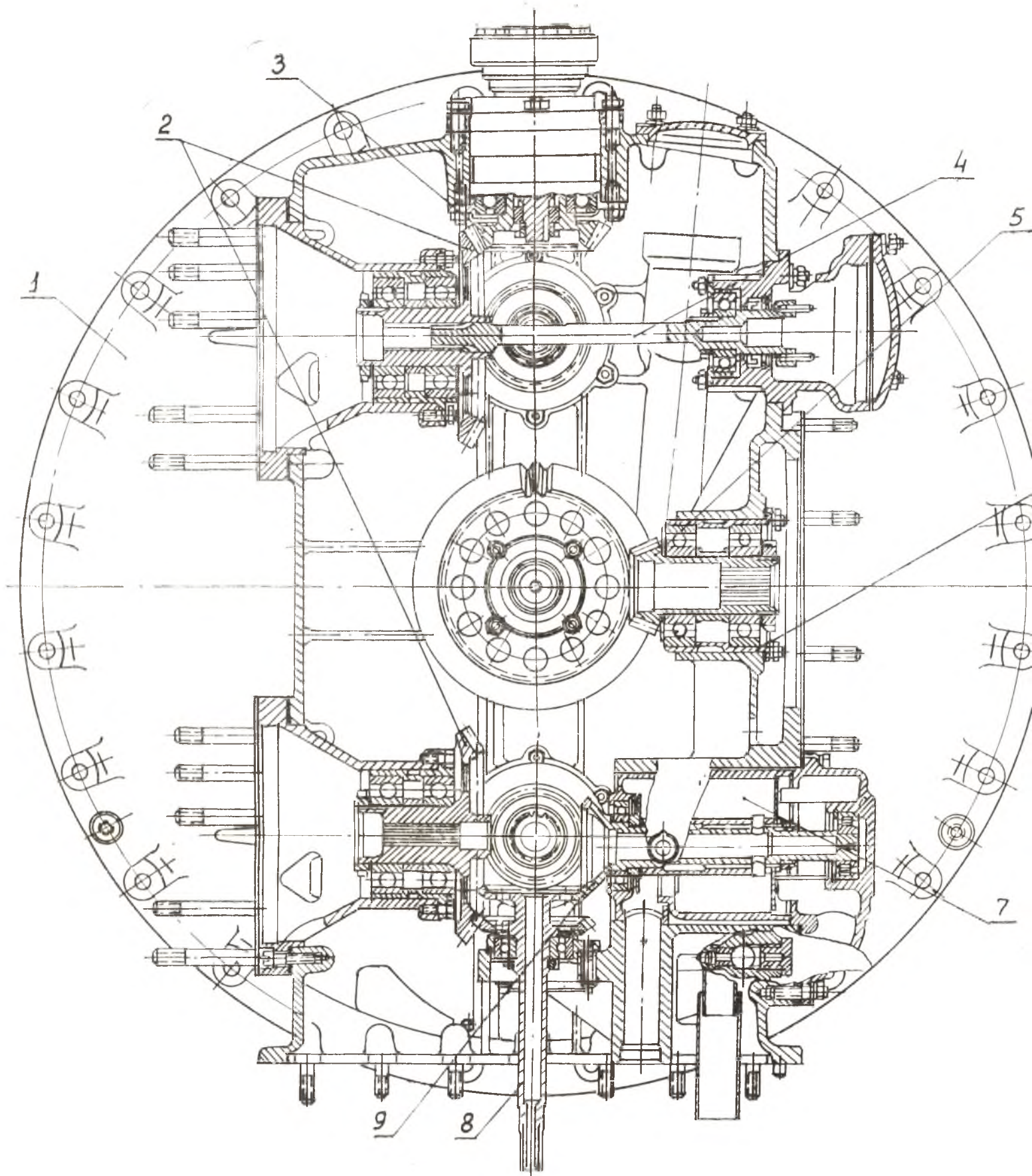
Корпус коробки 1 (фиг. 4.1) представляет отливку из магниевого сплава.

Внутри коробки приводов смонтированы узлы конических передач; на корпусе имеются фланцы для крепления вспомогательных агрегатов, получающих вращение от приводов узла. К нижнему фланцу крепится на шпильках коробка масляных насосов. Вращение от вала двигателя передается на ведущую цилиндрическую шестерню коробки приводов через промежуточную шлицевую рессору 15. Ведущая шестерня вращается с числом оборотов, равным числу оборотов вала двигателя. В средней части валика ведущей цилиндрической шестерни на двух шариковых подшипниках установлена свободно ведомая коническая шестерня стартера 12. Эта шестерня находится в зацеплении с ведущей конической шестерней 5, передающей вращение от стартера, расположенного на фланце коробки приводов слева (если смотреть на коробку со стороны рессоры привода 15).

Ведомая коническая шестерня стартера имеет внутри храповой механизм 14, который связан с вальком ведущей цилиндрической шестерни шлицами. Храповой механизм состоит из трех собачек 13 с пружинами и служит для запуска двигателя от стартера и для отсоединения от последнего при работе двигателя.

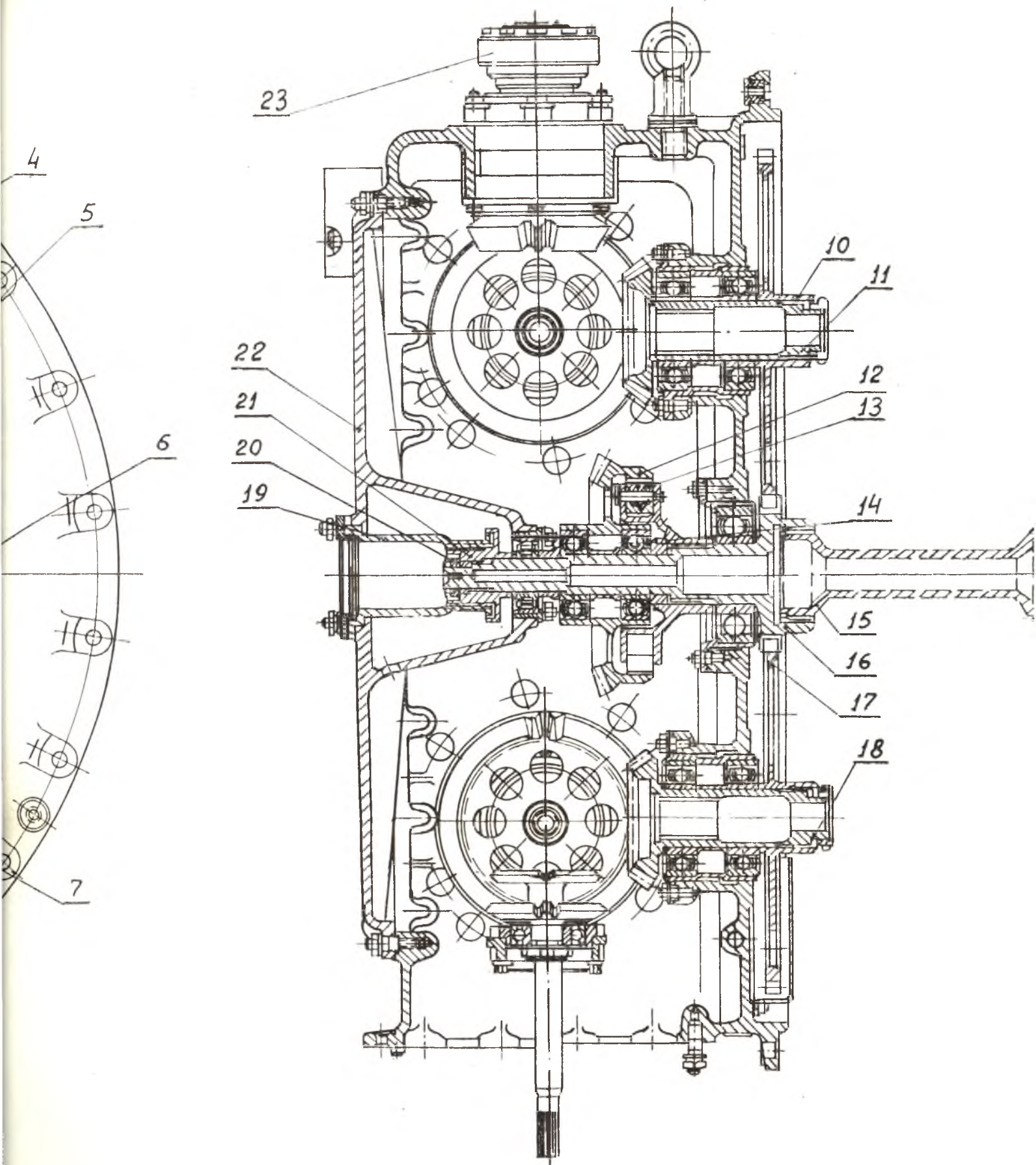
Ведущая цилиндрическая шестерня 16 находится в зацеплении с двумя ведомыми цилиндрическими шестернями 10 и 17. Каждая из этих шестерен посажена на хвостовики ведущих конических шестерен 11 и 18, расположенных внутри коробки. Верхняя ведущая коническая шестерня передает вращение приводу верхнего топливного насоса, установленному на фланце коробки приводов справа. От привода верхнего топливного насоса вращение передается на запасной привод коробки 23. .

Во внутренние шлицы конической шестерни верхнего топливного насоса вставлена рессора привода тахометра 4. Фланец привода установки генератора тахометра расположен на левой стороне коробки приводов. Нижняя ведущая



Фиг. 4.1. Конструкция

1 — корпус коробки; 2 — ведомые шестерни запасного привода; 4 — рессора п привода стартера; 6 — привод стартера; вода маслососа и центрифуги; 9 — шестодомая цилиндрическая шестерня верхняя вода (верхняя); 12 — ведомая коническая го механизма; 14 — храповой механизм; 17 — ведущая цилиндрическая шестерня; 18 — ведущая коническая шестерня п 20 — гайка крепления лабиринтной втулки корпуса коробки; 23 — запасной привод



1. Конструкция узла коробки приводов.

— ведомые шестерни привода топливных насосов; 3 — шестерня; 4 — рессора привода тахометра; 5 — ведущая шестерня привода стартера; 6 — ротор центрифуги; 7 — шестерня привода стартера; 8 — шестерня привода стартера; 9 — шестерня привода ротора центрифуги; 10 — ведомая шестерня; 11 — ведущая коническая шестерня привода стартера; 12 — ведомая коническая шестерня стартера; 13 — собачка храпового механизма; 14 — рессора привода коробки; 15 — ведомая шестерня; 16 — ведущая шестерня; 17 — ведомая цилиндрическая шестерня нижняя; 18 — ведомая шестерня привода (нижняя); 19 — втулка суфлера, втулка запасной привода коробки; 20 — втулка; 21 — лабиринтная втулка; 22 — крышка привода коробки.

коническая шестерня передает вращение приводу нижнего топливного насоса, установленному также на фланце коробки приводов справа. В свою очередь от конической шестерни привода нижнего топливного насоса передается вращение на привод масляного насоса. Двойная шестерня валика привода масляного насоса 8 передает вращение шестерне 9 ротора центрифуги, которая служит для отделения воздуха от масла.

В верхней части коробки приводов расположен запасной привод.

РАЗБОРКА УЗЛА КОРОБКИ ПРИВодОВ

Разборка узла производится в соответствии с операционной картой, имеющейся на рабочем месте. Процессе разборки заключается в последовательном снятии с корпуса коробки отдельных подузлов и деталей: крышки коробки приводов; привода тахометра; крышки центрифуги с регулировочной прокладкой; подузла центрифуги; подузла ведущей шестерни стартера с регулировочной прокладкой; привода нижнего и верхнего топливного насоса с регулировочной прокладкой; привода масляного насоса; подузла ведомой шестерни стартера и храповой муфты.

Все снятые подузлы укладываются в соответствующем порядке на лабораторном столе и далее не разбираются.

СБОРКА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В УЗЛЕ КОРОБКИ ПРИВодОВ

Процесс сборки зубчатых передач осуществляется на основании операционных карт, имеющихся на рабочем месте. Последовательность выполнения операций следующая.

Оп. 5. Постановка привода верхнего топливного насоса. Проверка и регулировка зацепления.

Оп. 10. Постановка привода тахометра.

Оп. 15. Установка ведомой конической шестерни стартера в корпус коробки.

Оп. 20. Постановка подузла ведущей конической шестерни стартера. Проверка и регулировка зацепления.

Оп. 25. Постановка привода масляного насоса.

Оп. 30. Постановка привода нижнего топливного насоса.

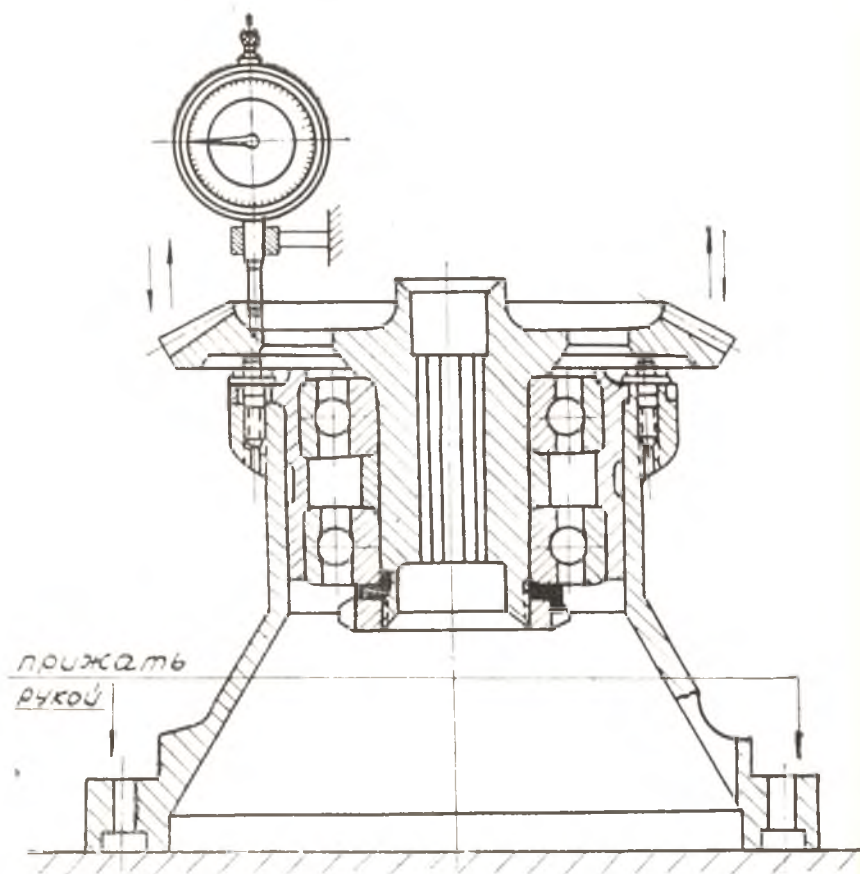
Оп. 35. Постановка подузла центрифуги и регулировка осевого зазора в крышке центрифуги.

Оп. 40. Проверка качества зацепления цилиндрической зубчатой передачи.

Выполнение операций при сборке зубчатых передач отличается некоторыми особенностями.

1. Для повышения надежности работы шарикоподшипников в каждом собранном подузле привода проверяется величина внутреннего радиального зазора в подшипниках. Контроль этого зазора производится путем проверки величины осевого перемещения шестерни относительно корпуса привода (фиг. 4.2). По ТУ величина осевого перемещения должна быть не менее 0,03 мм.

В лабораторной работе такая проверка делается на одном приводе верхнего топливного насоса.



Фиг. 4.2. Схема проверки зазора в подшипниках привода.

2. При сборке конической зубчатой передачи в корпус коробки устанавливается соответствующий привод и ведущая шестерня вводится в зацепление с ведомой. Предварительно перед установкой привода на фланец устанавливается регулировочная прокладка (или набор прокладок). При первоначальной установке привода толщина прокладок выбирается ориентировочно. В данной работе толщина прокладок принимается равной 1 мм для каждого привода. С установленным набором прокладок проверяется величина бокового зазора в зубчатом зацеплении. Для этого одна из конических шестерен фиксируется неподвижно с помощью приспособления, а на поверхности другой шестерни (или вала) укрепляется поводок с одним или четырьмя равномерно расположенными рычажками. В поверхность рычага поводка упирается ножка индикатора. Расстояние от оси поводка до точки касания рычага ножкой индикатора должно соответствовать радиусу начальной окружности той шестерни, на которой укреплен поводок (на рычаге это расстояние обычно отмечается риской). При окружном покачивании шестерни с закрепленным поводком индикатор будет измерять фактическую величину бокового зазора в зацеплении шестерен. Для оценки величины бокового зазора в сопряжении других пар зубьев такая проверка производится не менее чем в четырех точках, равномерно расположенных по окружности с поворотом шестерен на 90°.

Результаты замеров величины бокового зазора сравниваются с требуемыми по ТУ и в случае несоответствия производится расчет величины коррекции толщины регулировочной прокладки по формуле

$$\Delta x = \frac{\Delta e}{2 \sin \alpha \cdot \sin \varphi}$$

где Δx — величина коррекции (изменения) толщины регулировочной прокладки;

Δe — требуемое изменение величины бокового зазора

$$(\Delta e = e_{\text{зад}} - e_{\text{по Т.У.}});$$

α — угол зацепления;

φ — угол начального конуса шестерни, положение которой изменяется при корректировке регулировочной прокладки.

По результатам расчета величины Δx производится корректировка толщины регулировочной прокладки. Места рас-

положения регулировочных прокладок в узле коробки приводов следующие.

Для зацепления шестерен привода верхнего и нижнего топливного насоса: а) под торцом ведущей конической шестерни; б) под фланцем корпуса привода (для ведомой конической шестерни).

Для зацепления шестерен привода от стартера: а) под торцом ступицы храповой муфты (для ведомой конической шестерни); б) под фланцем стакана привода (для ведущей конической шестерни).

Для зацепления шестерен привода маслонасоса — а) под фланцем стакана (для ведомой конической шестерни).

Для зацепления шестерен привода ротора центрифуги — б) под торцом ведомой конической шестерни ротора.

При корректировке толщины регулировочной прокладки следует иметь в виду, что при увеличении толщины прокладки в местах «а» боковой зазор уменьшается, а в местах «б» — увеличивается; при уменьшении толщины прокладки наблюдается соответственно обратная зависимость.

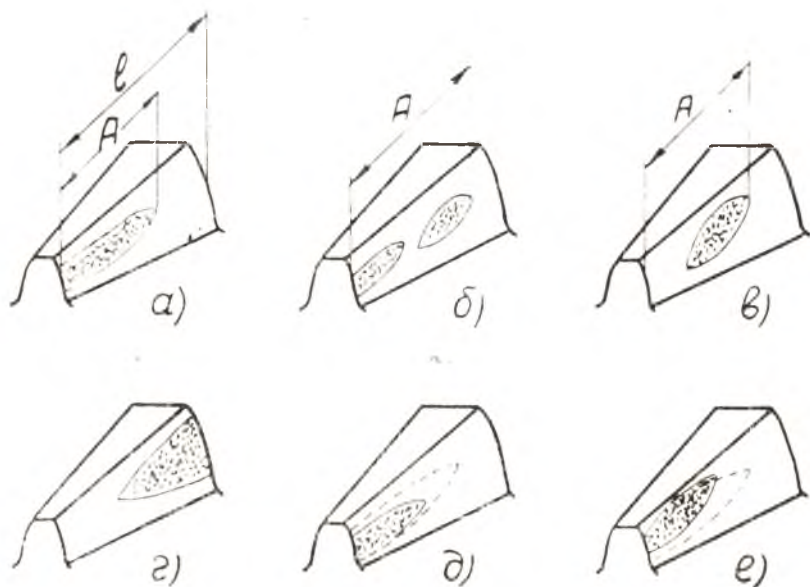
После корректировки толщины прокладки производится повторная проверка величины бокового зазора вышеописанным способом.

Определение величины и характера контакта в зацеплении зубьев производится по отпечатку краски, для чего зубья ведущей шестерни смазываются минеральной краской, и она несколько раз проворачивается в направлении рабочего вращения, притормаживая одновременно ведомую шестерню. Отпечатки краски на зубьях ведомой шестерни дают возможность оценить качество зацепления шестерен по контакту.

Образцы допустимых и недопустимых отпечатков краски на зубьях шестерен обычно указываются в технологической документации на узел. Для рассматриваемой конструкции коробки приводов такие образцы указаны на фиг. 4.3. Наиболее благоприятным является тип «а», когда отпечаток располагается у узкого конца зуба на длине $A=0,6l$. Допустимыми также считаются и такие отпечатки, когда они имеют небольшой разрыв (тип «б») или несколько отступают от края узкого конца (тип «в»). Указанные разрывы в расчете длины отпечатка не учитываются, и фактической длиной считается размер A (фиг. 4.3).

Расположение отпечатка на стороне широкого конца зуба (тип «г») недопустимо. Такой отпечаток не может быть ис-

правлен при сборке без замены деталей. Отпечатки типа «д» (смещение отпечатка ближе к ножке зуба) или типа «е» (смещение отпечатка ближе к головке зуба) хотя и являются недопустимыми, но могут быть исправлены изменением взаимного положения вершин начальных конусов зацепляющихся шестерен. Так, отпечаток типа «д» может быть приведен к нормальному положению либо смещением ведомой шестерни в сторону точки пересечения вершин начальных конусов шестерен, что вызовет также и уменьшение величины бокового зазора, либо смещением ведущего колеса по направлению от точки пересечения вершин конусов, что также вызовет увеличение бокового зазора. Если при этом боковой зазор может выйти за пределы ТУ, регулировку отпечатка следует производить одновременным смещением обеих шестерен.

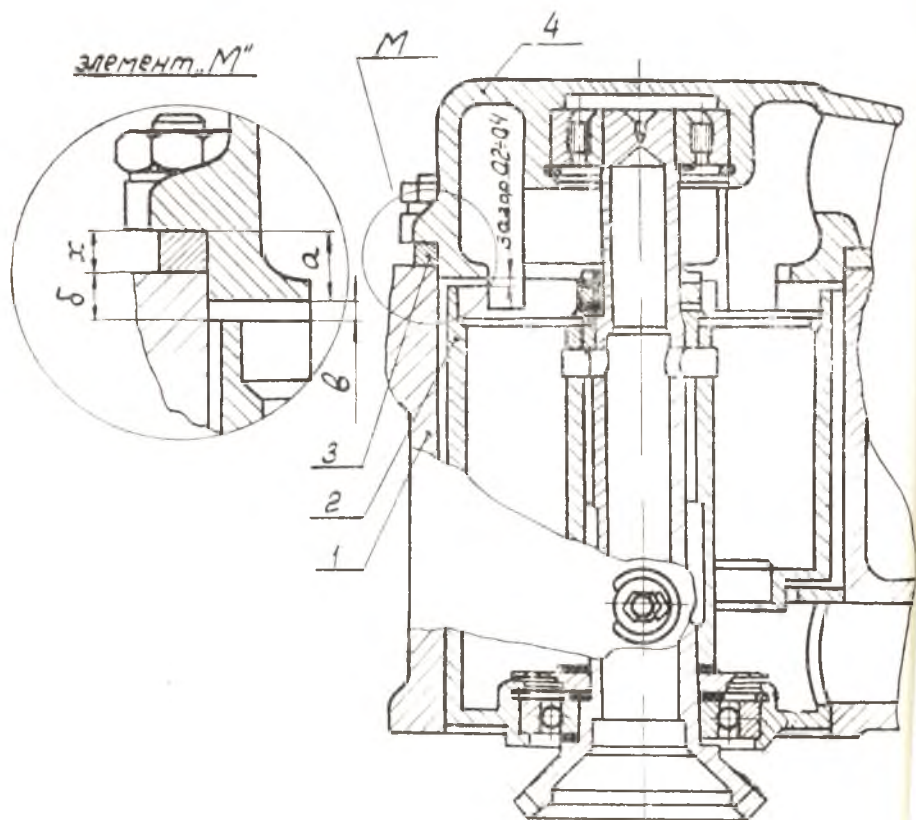


Фиг. 4.3. Вид допустимых (а, б, в) и недопустимых (г, д, е) отпечатков краски в зацеплении зубьев конических шестерен.

Отпечаток краски типа «е» может быть отрегулирован несколькими способами в зависимости от его длины и факти-

ческой величины бокового зазора. При перемещении ведомой шестерни от точки пересечения вершин конусов отпечаток смещается в нормальное положение, увеличивается его длина, но увеличивается и боковой зазор. При перемещении ведущей шестерни в сторону точки пересечения вершин конусов отпечаток также исправляется, но длина его и боковой зазор уменьшаются. Возможен также комбинированный способ.

Во всех случаях изменение положения шестерен производится путем замены толщины регулировочных прокладок.



Фиг. 4.4. Схема контроля осевого зазора в подзудле центрифуги.

- 1 — корпус коробки; 2 — ротор центрифуги; 3 — прокладка регулировочная; 4 — крышка центрифуги.

3. При установке крышки центрифуги на корпус коробки важным условием сборки является контроль и регулировка осевого зазора «в» (фиг. 4.4) между торцом стакана ротора центрифуги и торцом крышки. Величине этого зазора гарантирует отсутствие касания вращающейся детали о неподвижную при работе узла. По ТУ величина зазора «в» должна быть в пределах 0,2—0,4 мм и обеспечивается путем изменения толщины регулировочной прокладки под крышкой. С этой целью при сборке определяются фактические размеры у крышки и у привода, после чего определяется необходимая толщина прокладки по формуле:

$$x = a + v - б,$$

где

x — толщина регулировочной прокладки;

a — расстояние между плоскостью коробки и торцом стакана ротора;

б — высота буртика у крышки;

v — требуемый зазор (0,2—0,4).

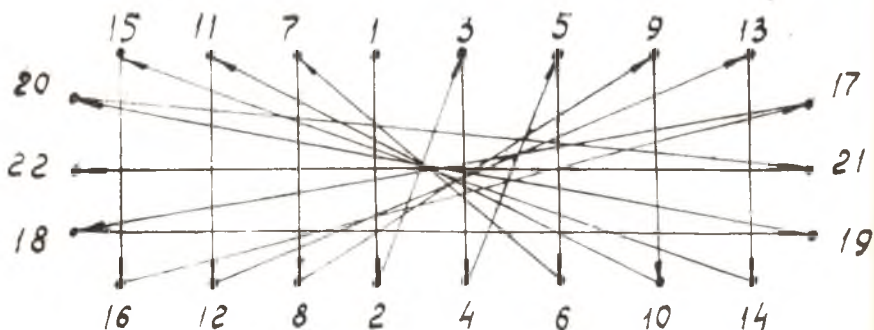
По данным расчета величины x подбирается прокладка (или набор прокладок) необходимой толщины.

4. При сборке цилиндрических зубчатых передач определение величины бокового зазора предусмотрено двумя способами (с целью их сравнения). В зацеплении ведущей и верхней ведомой цилиндрической шестерен величина бокового зазора измеряется индикатором с применением поводка (аналогично сборке конических зубчатых передач). В зацеплении ведущей и нижней ведомой цилиндрической шестерен боковой зазор измеряется с помощью наборного щупа. По ТУ величина бокового зазора должна быть в пределах 0,2—0,35 мм, что обеспечивается только путем замены шестерен.

5. По окончании сборки всех зубчатых передач производится контроль качества зацепления проверкой вращения шестерен. Вращение должно быть легким, плавным, без заедания и резкого шума.

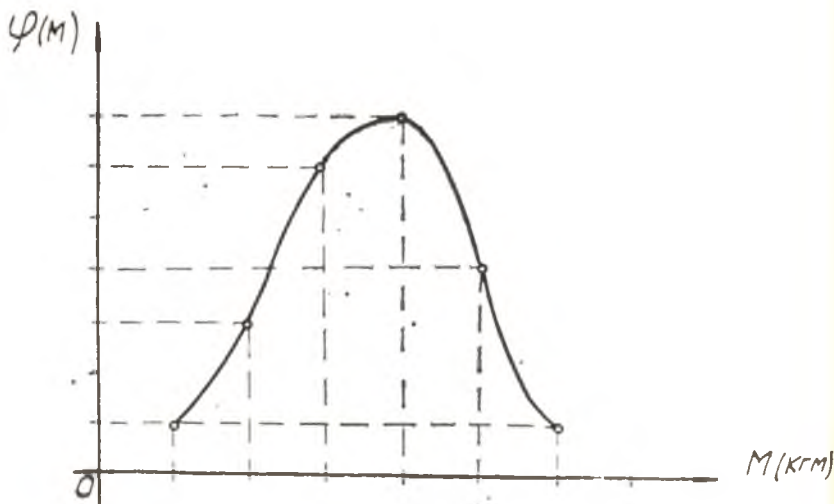
ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ СБОРКА УЗЛА

Сборка узла заканчивается операцией постановки и крепления крышки коробки. Фланец крышки крепится с помощью двадцати двух гаек на шпильках корпуса. Для устранения перекосов и коробления крышки при креплении затяжка гаек производится в соответствии со схемой, указанной на фиг. 4.5.



Фиг. 4.5. Схема затяжки гаек крепления крышки узла.

Сборка резьбовых соединений с большим количеством затягиваемых гаек или болтов требует значительного времени. В настоящее время этот процесс стремятся по возможности механизировать. В лабораторной работе механизация процесса затяжки гаек обеспечивается путем применения пневмогайковерта, создающего ограниченный момент затяжки. Для



Фиг. 4.6. Кривая практического распределения величины момента затяжки.

выявления характеристики этого процесса представляет особый интерес экспериментальная проверка стабильности получения момента затяжки при работе гайковертом. Стабильность может быть оценена определением параметров рассеивания $M_{\text{зат}}$ после построения кривой практического распределения. С этой целью после затяжки гаек гайковертом фактический момент затяжки измеряется точным динамометрическим ключом. Полученные данные используются для построения кривой распределения (фиг. 4.6) и определения поля практического распределения $M_{\text{зат}}$ и величин $x_{\text{ср}}$ и σ .

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе должны быть указаны:
величина осевого перемещения шестерен в шариковых подшипниках;

величина боковых зазоров в зацеплении конических и цилиндрических шестерен;

характер отпечатков краски для конических шестерен и методы регулирования неправильных отпечатков;

расчет величины регулировочной прокладки под крышкой центрифуги;

кривая практического распределения $M_{\text{зат}}$ и определенные параметры распределения;

методы достижения заданной точности сборки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

УРАВНОВЕШИВАНИЕ РОТОРА ДВИГАТЕЛЯ

Целью работы является изучение процесса динамической балансировки высокооборотных роторов авиационных двигателей на балансировочной машине с электрической измерительной схемой.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомление с видами неуравновешенности.
2. Ознакомление с принципиальной схемой и устройством балансировочной машины.
3. Ознакомление с конструкцией собираемого узла и техническими требованиями на сборку и балансировку. Определение величины допускаемого дисбаланса для ротора.
4. Практическое выполнение процесса уравнивания ротора до величины дисбаланса, полученной расчетом.
5. Составление отчета по работе.

Продолжительность лабораторной работы 2 часа.

Перечень оборудования, приспособлений и инструмента к лабораторной работе

Оборудование

Машина для динамической балансировки.

Приспособления

1. Технологическая обойма для левого подшипника.
2. Технологическая обойма для правого подшипника.
3. Шкив приводной.
4. Ремень приводной.

5. Весы аналитические (точность измерения 100 мГ).
6. Разновесы.

Вспомогательные материалы

Пластлин.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВИДАХ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

При конструировании узлов авиационных двигателей деталям или узлам, вращающимся с высоким числом оборотов, придают форму, обеспечивающую их уравновешенность. Однако готовый узел или деталь оказывается всегда неуравновешенным за счет суммирования основных ошибок:

$$z_0 = z_1 + z_2 + z_3,$$

где z_0 — суммарная неуравновешенность ротора;

z_1 — неуравновешенность, возникшая за счет погрешности изготовления деталей при механической обработке (биение поверхностей, непараллельность торцов и др.);

z_2 — неуравновешенность, возникающая за счет неравномерного распределения материала в объеме детали (газовые раковины, шлаковые включения и т. п.);

z_3 — неуравновешенность, возникающая в результате погрешностей сборки узла из-за допущенных перекосов или смещения сопряженных деталей.

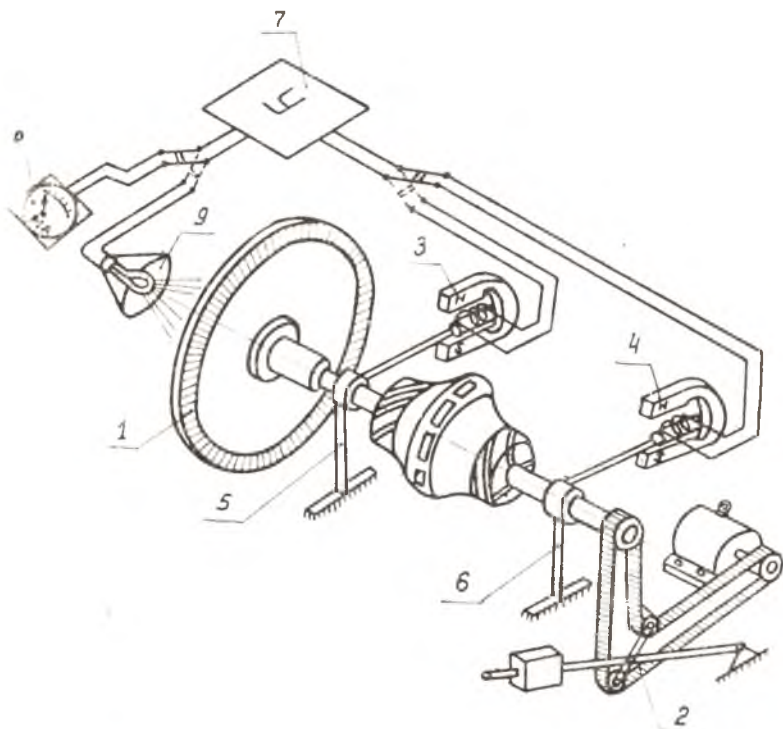
При вращении с большим числом оборотов в неуравновешенных роторах развиваются неуравновешенные центробежные силы инерции или неуравновешенные моменты, вызывающие вибрацию опор всего двигателя, что ведет к преждевременному износу деталей и подшипников.

Неуравновешенные центробежные силы могут быть определены как статическими, так и динамическими методами балансировки. Неуравновешенные моменты определяются только динамическими методами балансировки.

При статической балансировке невозможно выявить расположение неуравновешенной массы по длине детали, поэтому ей подвергаются детали, имеющие небольшую по сравнению с диаметром длину (крыльчатки насосов, компрессоров, диски турбин и т. д.). Статическая балансировка, как правило, является предшествующей операцией перед сборкой деталей в узлы. Динамической балансировке подвергаются собранные узлы, а также детали, имеющие большую длину и вращающиеся с большим числом оборотов.

СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ БАЛАНСИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

В рассматриваемой схеме балансировочной машины для измерения величины дисбаланса используются электромагнитные датчики (фиг. 5.1).



Фиг. 5.1. Схема машины для динамической балансировки.

1 — балансируемый ротор; 2 — приводной ремень; 3, 4, — датчики электромагнитные;
5, 6 — опоры подвижные; 7 — усилитель; 8 — гальванометр; 9 — стробоскопическая лампа.

Опоры, на которые устанавливается ротор, подвижны в горизонтальной плоскости. С опорами связаны датчики, представляющие собой катушки, расположенные в полях двух сильных постоянных магнитов. Если ротор неуравновешен, то при его вращении опоры, а следовательно, и катушки датчиков начнут колебаться, и в их обмотках возникнут пульсир-

ющие электрические токи. Напряжение этих токов пропорционально амплитуде колебания катушек. Возникшие токи усиливаются в усилителе и подаются в гальванометр или микроамперметр, находящийся на пульте управления. Величина дисбаланса оценивается в электрических величинах, а затем с помощью тарировочной таблицы выражается в единицах неуравновешенности. Для определения углового положения неуравновешенной массы используется стробоскопический эффект, позволяющий зрительно «останавливать» вращающееся тело, если частота вспышек лампы совпадает с числом оборотов балансируемой детали. Для этой цели машина снабжена комплектом неоновых ламп, вспыхивающих при прохождении «тяжелого места» через горизонтальную плоскость или точку, расположенную в горизонтальной плоскости.

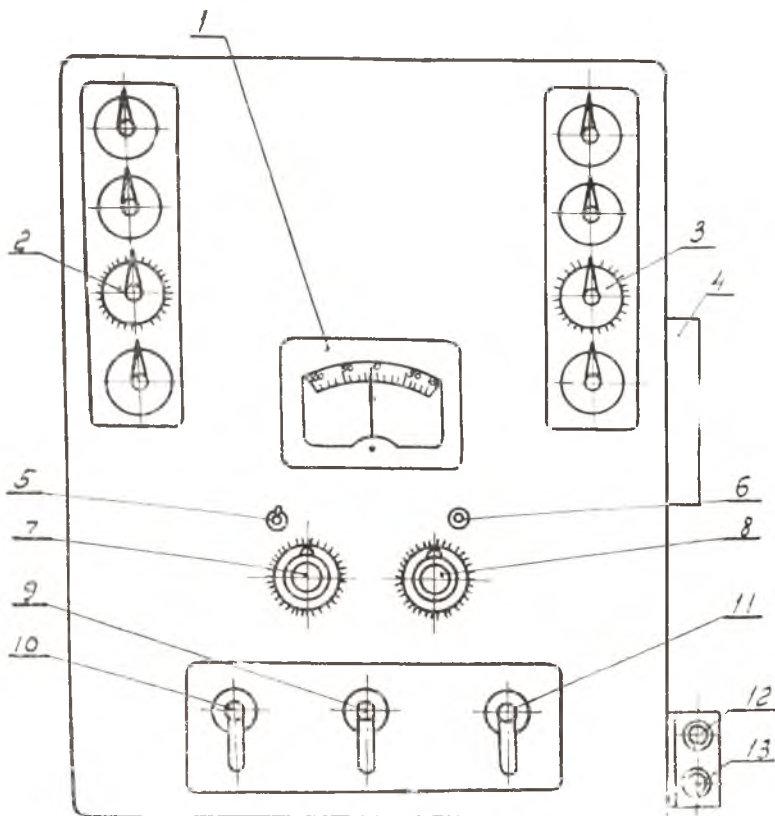
По желанию рабочего-балансировщика с помощью соответствующих переключателей балансирующая машина может быть настроена таким образом, чтобы в момент вспышки лампы «тяжелое место» располагалось либо со стороны балансировщика, либо с противоположной стороны от него. Для конкретных балансирующих машин в зависимости от характеристики работы усилителя и неоновых ламп может иметь место сдвиг фазы вспышки лампы и положения неуравновешенной массы в этот момент. Это означает, что вспышка неоновых ламп происходит не точно в горизонтальной плоскости, а с некоторым отклонением от нее вверх или вниз. В этих случаях действительная плоскость вспышки уточняется индивидуально для каждой балансирующей машины и отмечается соответствующей риской на кожухе или корпусе машины.

Вспышка лампы зрительно «останавливает» ротор, и положение его в момент «остановки» оценивается по белой черте, нанесенной в произвольной точке освещаемого торца ротора. После действительной остановки ротора (при выключении машины) и совмещения черты на торце с ее положением, отмеченным при вращении, угловое положение неуравновешенной массы определяется по фактической плоскости, через которую проходит неуравновешенная масса в момент вспышки. Определение величины дисбаланса и углового положения неуравновешенной массы производится для каждой из двух плоскостей коррекции относительно левой или правой опоры в отдельности.

Для балансируемого (в данной лабораторной работе) ро-

тора плоскостями коррекции являются колесо турбины и крыльчатка насоса.

На пульте управления машиной (фиг. 5.2) имеются левая и правая панели (соответственно опорам машины), на которых установлены по четыре рукоятки. Две из них (2 и 3) относятся к потенциометрам, позволяющим исключить влияние токов, идущих от датчика одной опоры на токи датчиков второй опоры. Остальные три рукоятки на каждой панели пред-



Фиг. 5.2 Вид на панель пульта балансировочной машины.

- 1 — гальванометр; 2, 3 — потенциометры настройки; 4 — блок неоновых ламп; 5 — тумблер; 6 — лампа сигнальная; 7, 8 — потенциометры; 9 — рукоятка переключателя датчиков опор; 10 — рукоятка режима балансировки («величина — место»); 11 — рукоятка чувствительности гальванометра; 12, 13 — кнопки «пуск» — «стоп».

назначаются для настройки балансирующей машины, которая производится по мере необходимости. Имеющиеся на пульте потенциометры 7 и 8 и рукоятка 11 за счет ввода дополнительного сопротивления позволяют сделать менее чувствительным гальванометр, что необходимо при большом дисбалансе ротора. Установкой рукоятки 9 влево или вправо включается датчик той опоры, относительно которой определяется неуравновешенность. Рукоятка 10 служит для переключения системы машины с режима определения величины дисбаланса на режим определения углового положения неуравновешенной массы. Уравновешивание производится на 700 об/мин.

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОНСТРУКЦИЕЙ ТУ НА БАЛАНСИРУЕМЫЙ РОТОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДОПУСКА НА НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬ

Перед выполнением процесса балансировки необходимо по чертежу (фиг. 5.3) детально ознакомиться с конструкцией собираемого узла. На основе изучения конструкции ротора по чертежу и в натуре необходимо проанализировать все причины, которые могут вызвать появление неуравновешенных масс в данном роторе. Далее следует выявить все возможные (для данной конструкции ротора) способы устранения неуравновешенности и сравнить их со способами, предусмотренными в ТУ.

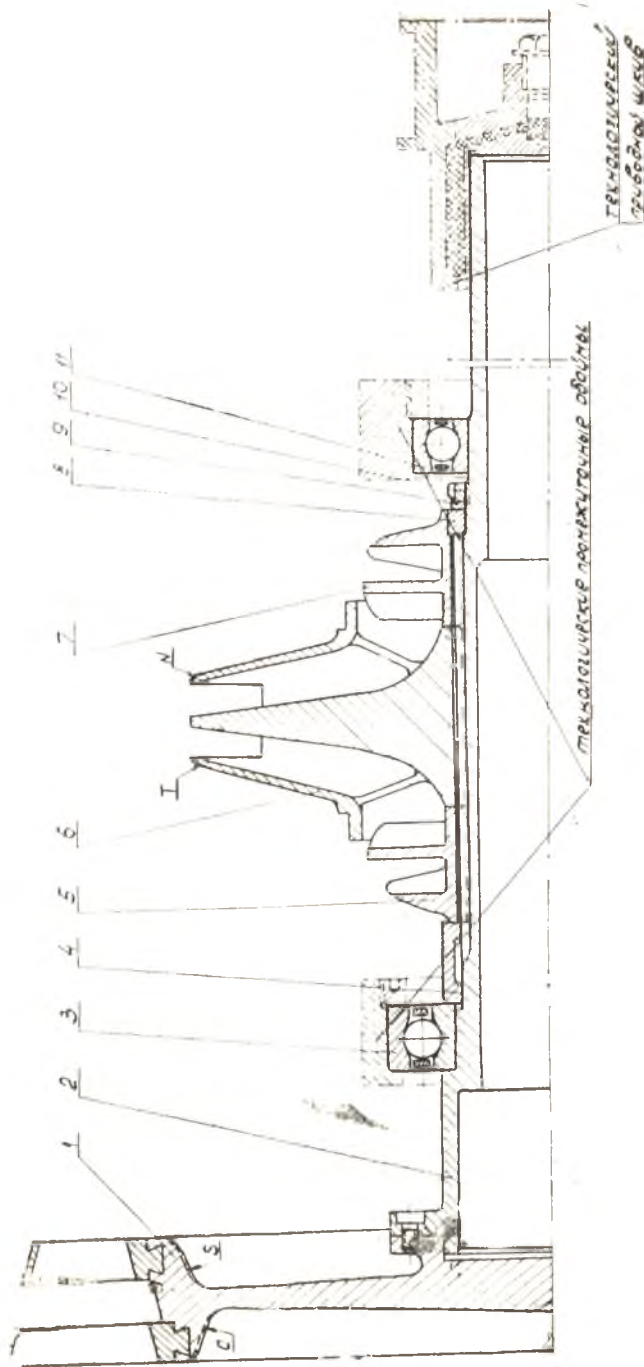
Для рассматриваемой конструкции ротора устанавливаются следующие ТУ на балансировку:

а) ротор отбалансировать динамически в двух плоскостях приведения, т. е. со стороны колеса турбины и крыльчатки насоса;

б) устранять неуравновешенность за счет снятия материала с поверхностей «С» и «S» для колеса турбины (на глубину не более 1 мм) и с поверхностей «Т» и «N» для крыльчатки в пределах контура, показанного штриховыми линиями, выдерживая плавный переход на исходный контур;

в) в местах снятия материала поверхность тщательно заполировать.

Допуск на неуравновешенность определяют, исходя из отношения величины центробежной силы P_c , возникающей вследствие наличия неуравновешенной массы, к весу G ротора. Это отношение выбирается в пределах 0,1—0,3. По нему определяется допустимое смещение e центра тяжести. Вели-



Фиг. 5. 3. Чертеж балансируемого ротора.

1 — диск турбины; 2 — вал турбины; 3 — шарикоподшипник; 4 — втулка; 5, 7 — крыльчатка осевая; 6 — крыльчатка радиальная; 8 — втулка; 9 — шайба; 10 — гайка; 11 — шарикоподшипник.

чина e может быть также выражена в виде удельной неуравновешенности Q , представляющей собой отношение величины неуравновешенности q , выраженной в г·см, к весу ротора (т. е. $Q = e = \frac{q}{G}$). При смещении центра тяжести ротора на величину e центробежная сила определяется по следующей формуле:

$$P_{ц} = \frac{G}{g} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \cdot e, \quad (1)$$

где g — ускорение силы тяжести, м/сек²;

n — число рабочих оборотов ротора двигателя, об/мин.

Решив уравнение (1) относительно e , получим:

$$e = \frac{P_{ц}}{G} \cdot \frac{g \cdot 10^8}{n^2}, \quad [\text{мк}]. \quad (2)$$

$$\text{Здесь } \frac{P_{ц}}{G} = (0,1 - 0,3).$$

Выражая e через удельную неуравновешенность, имеем:

$$e = Q = \frac{q}{G}. \quad (3)$$

Тогда

$$q = G \cdot e, \quad \text{г.см.} \quad (4)$$

Исходные данные по весу балансируемого ротора и номинальному числу оборотов студенты получают на рабочем месте.

При выполнении данной лабораторной работы студенты на основании приведенных формул (2) и (4) рассчитывают (в отчете) допустимое значение остаточной неуравновешенности. В дальнейшем полученная величина q является исходной при оценке точности балансировки ротора.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЦЕССА УРАВНОВЕШИВАНИЯ РОТОРА

Динамическая балансировка ротора производится в следующей последовательности:

а) проверяется от руки легкость вращения ротора, закры-

бается крышка кожуха и замок кожуха, одевается ремень и спускается груз натяжного приводного ремня;

б) тумблером 5 (фиг. 5.2) включается пульт управления машиной. Сигнальная лампочка 6 при этом загорается;

в) нажатием кнопки 12 («пуск») приводится во вращение балансируемый ротор. Делается выдержка в течение 2--3 минут для набора оборотов ротора, потом подвижные опоры машины растормаживаются поворотом рукояток вверх;

г) рукоятка 9 переключателя опор «левая»—«правая» переводится в положение «левая», рукоятка 11 изменения чувствительности гальванометра переключается в положение «В», а рукоятка 10 режима балансировки устанавливается в положение «величина». Если не наблюдается резкого отклонения стрелки гальванометра в сторону, то рукоятка 11 переключается в положение «А»;

д) по гальванометру определяется величина неуравновешенности для левой опоры;

е) переключением рукоятки 10 режима балансировки в положение «место» определяется угловое положение неуравновешенной массы для левой опоры путем засечки местоположения освещаемой черты;

ж) затормаживаются подвижные опоры машины (поворотом рукояток вправо) и затем нажатием кнопки 13 («стоп») выключается электродвигатель привода. Делается выдержка до полной остановки ротора;

з) на облегченной стороне ротора в левой плоскости коррекции наклепывается соответствующий уравнивающий груз из пластилина;

и) вновь повторяется проверка уравновешенности левой опоры. Уравнивание производится до того момента, при котором стрелка гальванометра будет находиться в пределах допускаемой неуравновешенности (при положении потенциометров 7 и 8 соответствующем тарировке);

к) производится уравнивание ротора на правой опоре, т. е. в правой плоскости коррекции. При этом рукоятка 9 переключателя опор «левая»—«правая» переводится в положение «правая»;

л) по окончании процесса балансировки машина выключается нажатием кнопки 13 («стоп»), после чего выключается пульт управления. Поднимается натяжной груз и снимается приводной ремень.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе приводятся: допустимая величина неуравновешенности, полученная расчетом; величина неуравновешенности до балансировки ротора; величина остаточной неуравновешенности ротора после проведения динамической балансировки для обеих плоскостей коррекции; заключение о точности метода динамической балансировки в соответствии с требованиями ТУ и мероприятия, которые необходимо проделать для ротора взамен временных уравнивающих грузиков, установленных при выполнении работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПНЕВМОИСПЫТАНИЯХ

Целью работы является изучение существующих в настоящее время методов контроля герметичности соединений (отдельно собранных узлов и окончательно собранных двигателей летательных аппаратов). Сравнение рассматриваемых методов по точности*.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомление с задачами контроля герметичности соединений.
2. Ознакомление с методами контроля герметичности.
3. Изучение конструкции оборудования для испытания герметичности соединений.
4. Выполнение эксперимента по отысканию негерметичных мест соединений различными методами.
5. Составление отчета по работе с анализом точностных характеристик различных методов.

Продолжительность лабораторной работы: 4 часа.

Перечень оснастки для выполнения лабораторной работы

Оборудование

Пневмораспределительный щиток	1 шт.
Ванна с водой для проверки герметичности	1 шт.

* Выполнению данной работы должно предшествовать изучение студентом теоретических положений рассматриваемого вопроса с использованием методического пособия — конспекта лекций для самостоятельной проработки темы «Контроль герметичности сборочных соединений при пневматических испытаниях».

Баллон с газом «Фреон-12»	1 шт.
Баллон со сжатым воздухом	1 шт.
Баллон V = 3 литра для увеличения объема в испытываемом узле	1 шт.
Тезеискатель ГТИ-3	1 шт.
Усилитель низкой частоты	1 шт.
Манометр образцовый кл. 0,2 (0—6 атм.)	1 шт.
Трубопровод дренажный (за пределы помещения)	1 шт.

Приспособления и инструмент

Банка с мыльной эмульсией	1 шт.
Кисть волосая	1 шт.
Салфетка х/б	1 шт.

НАЗНАЧЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ПО КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СОЕДИНЕНИИ

Качество изготовления сварных узлов, а также сборки узлов, магистралей и т. п., внутренние полости которых подвержены воздействию давления жидкости, пара или газа, определяется путем проведения проверки герметичности стыков, а для сварных узлов — еще и путем дополнительной проверки прочности стыков.

Для контроля сварного соединения узла на прочность обычно применяются гидравлические испытания. Пневматические испытания не являются прочностными, а служат для определения негерметичности сварных и сборочных соединений и проводятся после гидравлических испытаний.

Основанием для проведения испытаний на герметичность как окончательно собранного изделия, так и отдельных узлов, агрегатов, трубопроводов, арматуры, емкостей и т. п. являются указания в чертежах, технических условиях и технической документации, где оговариваются величина давления, время выдержки, требования к прочности, герметичности и другие параметры.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СОЕДИНЕНИИ ПРИ ПНЕВМОИСПЫТАНИЯХ

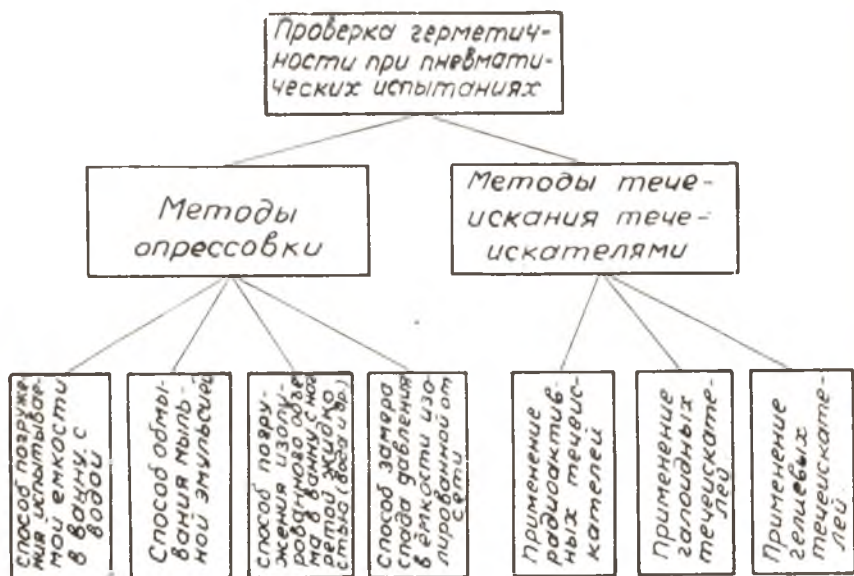
Наиболее распространенным методом контроля герметичности соединений является метод опрессовки. В объемах создается избыточное давление, а выход газа в атмосферу обнаруживается по образованию пузырьков воздуха при погружении испытываемого объема в жидкость или при покрытии его поверхности мыльной эмульсией. В ряде случаев

течь обнаруживается по падению давления в замкнутом объеме. Для изолированных от окружающей среды объемов применяется погружение в ванну с горячей водой.

Однако возможности такого метода (опрессовки) ограничены. Требования современной техники привели к созданию новейшей аппаратуры для отыскания течей и к разработке новых методов их обнаружения.

К таким наиболее совершенным методам в настоящее время относятся методы течеискания с применением приборов-течеискателей, работающих по различным схемам и имеющих свои характерные особенности в зависимости от области их применения, чувствительности и других параметров.

Таким образом, все применяемые методы испытаний на герметичность можно классифицировать по схеме на фиг. 6. 1.



Фиг. 6. 1. Классификация методов проверки герметичности при пневматических испытаниях.

В данной лабораторной работе ставится задача сравнить рассмотренные выше методы экспериментальной проверки. Сущность ее заключается в том, что одна и та же величина

течи (имеющаяся в соединении проверяемого узла) контролируется различными методами.

Результаты экспериментальной проверки позволяют установить, какие точностные и эксплуатационные характеристики имеет тот или иной метод.

В процессе проведения эксперимента течь контролируется двумя методами:

а) методом опрессовки (погружение в ванну с водой; покрытие мыльной эмульсией; проверка общего спада давления);

б) методом течеискания (с применением галоидного течеискателя ГТИ-3).

КОНСТРУКЦИЯ ПРИМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

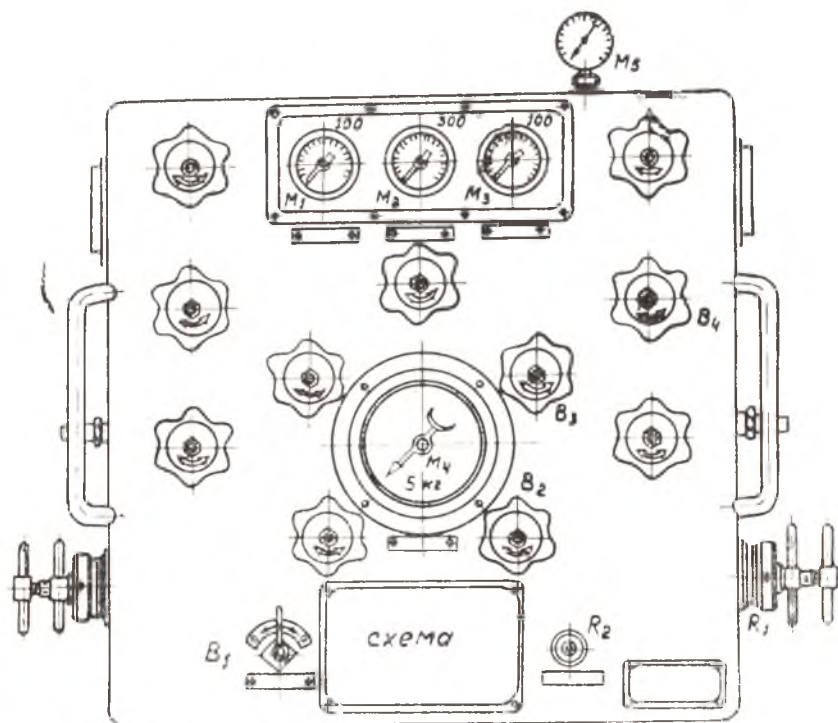
Воздушно-распределительный щиток (фиг. 6.2), применяемый в настоящей лабораторной работе, предназначается для проведения различного рода пневматических испытаний узлов и изделий в эксплуатации. Он обладает большой универсальностью в работе, обеспечивая выполнение самых разнообразных по назначению операций.

Для обеспечения условий проведения лабораторной работы схема щитка в отличие от действующей несколько видоизменена: часть магистралей полностью выключена из работы, а в оставшейся части изменена разводка трубопроводов.

В измененном виде схема воздушно-распределительного щитка, используемая в работе, показана на фиг. 6.3.

К входному штуцеру пневмощитка от баллона 3 подводится воздух давлением ≈ 50 атм. Давление на вход в щиток измеряется манометром M_1 . Давление на выходе из щитка регулируется настройкой двух последовательно установленных редукторов R_1 (высокого давления) и R_2 (низкого давления). Настройка редукторов по давлению контролируется соответственно манометрами M_2 и M_3 . Для защиты от перегрузок перед редуктором R_2 установлен предохранительный клапан (Пр. кл. 1). На выходе из щитка установлен запорный вентиль V_1 , за которым смонтирована магистраль, состоящая из трубопровода, вентиля V_2 и баллона 5 объемом $V = 3$ литра, служащих для искусственного увеличения емкости в системе проверяемого изделия. Подвод воздуха от щитка к изделию 1 осуществляется с помощью гибкого шланга. Другой гибкий шланг, подсоединенный к изделию и

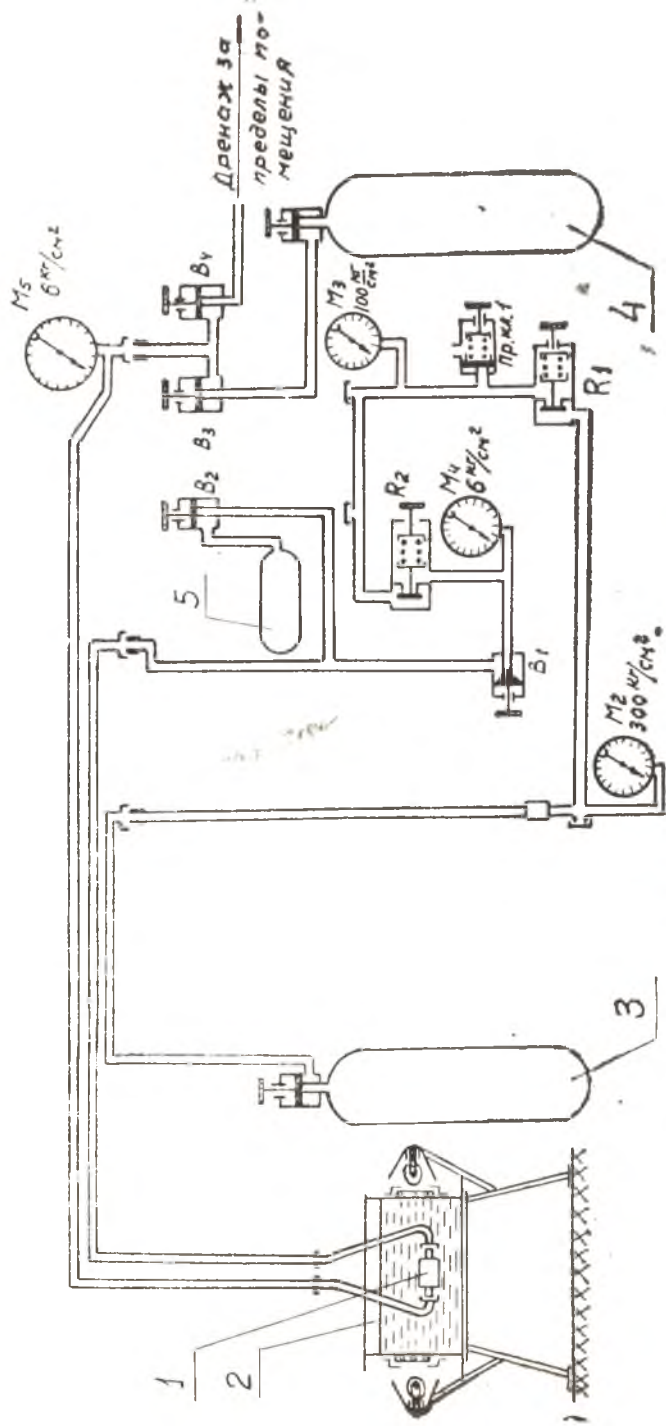
щитку, служит для контроля фактического давления в изделии при помощи образцового манометра (кл. 0,2) M_5 . Газ «Фреон-12» подается от специального баллона 4 через вентиль B_3 в магистраль контрольного манометра и далее по шлангу в изделие. Такая схема встречного подвода газа «Фреон-12» и воздуха способствует лучшему перемешиванию при необходимости получения смеси определенной концентрации.



Фиг. 6.2. Общий вид воздушно-распределительного щитка.
 R_1 , R_2 — редукторы; B_1 , B_2 , B_3 , B_4 — вентили запорные; M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 — манометры.

Дренаж давления из изделия производится путем открытия вентиля B_4 . При этом воздух или газ «Фреон-12» из изделия выпускается в атмосферу.

Ванна для испытания изделия на герметичность представляет собой емкость, выполненную из листовой стали. Для



Фиг. 6.3. Схема проверки герметичности.

1 — испытываемое изделие; 2 — ванна с водой; 3 — баллон воздушный; 4 — баллон с газом «Фреон 12»; 5 — баллон-ресивер ($V \cong 3$ лит.) R₁, R₂ — редукторы; B₁, B₂, B₃, B₄ — ventили запорные; M₁, M₂, M₃, M₄, M₅ — манометры.

удобства в работе ванна устанавливается на подставке сварной конструкции. В двух боковых стенках ее прорезаны прямоугольные окна, закрываемые герметично пластинами из органического стекла. Снаружи ванны, против окон, установлены электролампы, закрытые кожухами для обеспечения подсветки жидкости при проверке. Ванна заливается водой, в которую добавляется 0,3% хромпика для предохранения деталей от коррозии.

ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОТЫСКАНИЮ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ МЕСТ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Экспериментальная проверка проводится с участием лаборанта в такой последовательности:

Метод опрессовки

Проверка способом погружения в ванну с водой заключается в следующем:

1. Включить лампы подсветки у ванны с водой.
2. Открыть вентиль на воздушном баллоне. Проверить по манометру M_2 давление в баллоне (оно должно быть 35—50 ати).
3. Проверить по манометру M_3 настройку редуктора R_1 . Давление должно быть в пределах 35—40 ати.
4. При закрытом вентиле V_1 настроить редуктор R_2 на давление 5,5 ати (давление контролировать по манометру M_1).
5. Медленно открывая вентиль V_1 , плавно подать давление 3 ати в проверяемое изделие, после чего закрыть вентиль V_1 . Давление контролировать по образцовому манометру M_5 (пользуясь графиком).
6. Опустить проверяемое изделие в ванну с водой и проверить герметичность соединений в проверяемом узле.
7. При наличии негерметичности соединений в узле с помощью секундомера замерить среднее время (в секундах), за которое выделяется один пузырек воздуха. Среднее время определять по пяти или шести пузырькам. Найденное время записать в отчет.
8. Открытием вентиля V_1 поднять давление в проверяемом узле до 5 ати.
9. Вновь замерить среднее время (в секундах) выделения одного пузырька воздуха и записать в отчет.
10. Медленно понижая давление с помощью дренажного

вентиля сначала до 2,5, затем до 2 ати и т. д., установить, при каком минимальном давлении можно еще зарегистрировать течь в проверяемом узле данным способом и записать в отчет (за критерий минимально возможной для регистрации течи условно принимается течь, при которой время выделения одного пузырька составляет более 30 сек. Такую течь, имеющуюся в узле и расположенную за пределами непосредственного визуального наблюдения, очень трудно проконтролировать).

11. Вынуть узел из ванны и протереть его поверхности салфеткой.

12. Выключить лампы подсветки у ванны.

Проверка **способом покрытия мыльной эмульсией** заключается в следующем:

13. При давлении, отмеченном в пункте 10, произвести контроль герметичности соединений проверяемого узла нанесением на место предполагаемой течи мыльной эмульсии. При четком появлении мыльных пузырьков у места негерметичности указать об этом в отчете.

14. Медленно снизить давление на 0,5 атм и вновь проверить герметичность с помощью мыльной эмульсии. Записать в отчете, возможно ли зарегистрировать течь при этом давлении.

Проверка способом замера спада давления:

15. При давлении, отмеченном в пункте 14, и закрытых вентилях V_1 и V_4 проверить спад давления по манометру M_5 за время $t = 5$ мин. Записать в отчет величину спада (в долях одного деления шкалы манометра).

16. Плавно повысить давление до 5 ати с помощью вентиля V_1 и затем, закрыв вентиль, вновь проверить спад давления по манометру M_5 за $t = 5$ мин. Записать в отчете величину спада.

17. Незначительным отвертыванием винта шарикового клапана (установленного на входе в проверяемый узел) искусственно увеличить течь в системе узла так, чтобы спад давления был в пределах 4—5 делений по манометру за 1 минуту (при начальном давлении 5 ати).

Записать в отчет величину спада (в делениях манометра) за 1 минуту.

18. Открыть вентиль V_2 на пневмощитке, подключив тем самым дополнительный объем от емкости $V = 3$ лит. (см. схему фиг. 6.3).

19. Открытием вентиля V_1 установить в полости проверяемого узла и емкости $V=3$ лит. давление, равное 5 ати, после чего закрыть вентиль V_1 .

20. Определить спад давления (в долях одного деления шкалы манометра M_5 за 1 мин.). Величину спада записать в отчет.

21. Открыть дренажный вентиль V_4 и снизить давление в полости узла и емкости $V=3$ лит. до 0 ати. По окончании дренажа воздуха закрыть вентили V_2 и V_4 .

22. Завернуть полностью винт шарикового клапана у входа в проверяемый узел.

Проверка **методом течеискания:**

23. Собрать схему течеискателя ГТИ-3, подключив его к электросети, и произвести настройку в соответствии с техническим описанием прибора (производителю лаборантом).

24. Открыть запорный вентиль на баллоне с газом «Фреон-12».

25. Медленным открытием вентиля V_3 плавно подать давление, установленное в пункте 14 (но не ниже 1 ати).

26. Проконтролировать течь с помощью течеискателя ГТИ-3. Величину отклонения стрелки прибора и увеличения частоты сигнала записать в отчете.

27. Выключить из работы течеискатель ГТИ-3.

28. Закрыть вентиль на баллоне с газом «Фреон-12».

29. Закрыть вентиль на воздушном баллоне.

30. Открыть вентиль V_3 и сдренажировать давление газа «Фреон-12» из плоскости узла до 0 ати.

31. При открытом вентиле V_4 открыть вентиль V_1 и сдренажировать давление воздуха из магистралей пневмоцикла.

32. Закрыть вентили V_1 и V_4 и полностью разгрузить пружину редуктора R_2 .

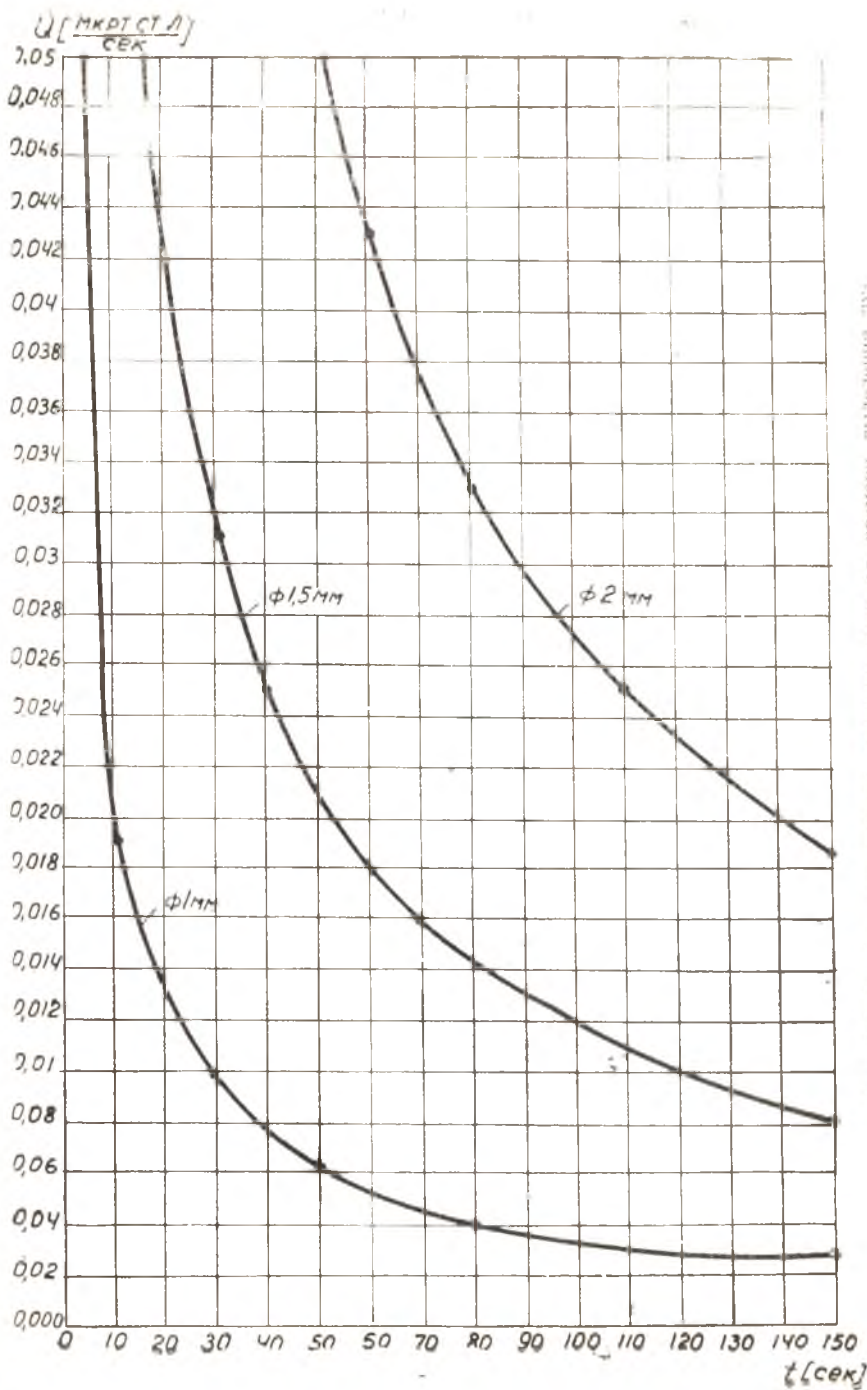
СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

На основании данных, полученных при экспериментах, необходимо:

а) определить по графику фиг. 6.4 величину минимально контролируемой течи способом погружения узла в жидкость;

б) проверить зависимость, по которой чувствительность метода опрессовки способом погружения узла в жидкость изменяется пропорционально отношению давления $\frac{P_2 - 1}{P_1 - 1}$.

Проверку производить по соотношению времени выделения



Фиг. 6.4. График зависимости величины течи от времени вытекания струи воздуха.

одного пузырька при соответствующих давлениях опрессовки, т. е.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_2^2 - 1}{P_1^2 - 1},$$

где P_2 и P_1 — абсолютное давление, ата;

в) подтвердить, что чувствительность способа замера спада давления пропорциональна отношению объемов $\frac{V_2}{V_1}$, т. е.

$$\frac{\Delta P'_{\text{сп}}}{\Delta P''_{\text{сп}}} = \frac{p' \text{ (дел./мин.)}}{p'' \text{ (дел./мин.)}} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Объем V_1 находится суммированием следующих составляемых:

- объем проверяемого узла 60 см³;
- объем подводящего и контрольного шлангов 100 см³;
- объем трубопроводов 40 см³.

Объем V_2 находится путем суммирования следующих составляемых:

$$V_2 = V_1 + 3000 \text{ см}^3 = 3200 \text{ см}^3.$$

В заключении по работе дать ответ на следующие вопросы.

1. В каком из двух способов проверки (способ погружения узла в жидкость и способ покрытия мыльной эмульсией) чувствительность выше?

2. Дать оценку чувствительности способа замера спада давления по сравнению с первыми двумя способами метода опрессовки.

3. Оценить чувствительность метода теческаниния по сравнению с методом опрессовки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

СБОРКА УЗЛА КОМПРЕССОРА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА

Целью работы является изучение особенностей технологического процесса сборки узла компрессора центробежного типа с приводом от мультипликатора. Дополнительно работа дает возможность подкрепить основные теоретические положения курса по составлению и решению сборочных размерных цепей; сборке цилиндрических зубчатых передач; сборке резьбовых соединений и статической балансировке деталей и узлов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Краткое ознакомление с конструкцией узла.
 2. Разборка узла.
 3. Сборка узла.
 4. Составление отчета по работе.
- Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

Перечень оснастки для выполнения лабораторной работы

П р и с п о с о б л е н и я

- Л17-01 — приспособление для статической балансировки деталей узла компрессора.
- Л17-02 — оправа для установки деталей при статической балансировке.
- Л17-03 — противовес для статической балансировки узла ротора компрессора.
- Л17-04 — приспособление для фиксирования валика крыльчатки от вращения.
- Л17-05 — приспособление для снятия крыльчатки с вала ротора.
- Л17-06 — подставка для сборки валика крыльчатки.
- Л17-07 — втулка технологическая.

Л17-08 — оправа для запрессовки крыльчатки на вал.

Л17-09 — поддержка для вала при напрессовке крыльчатки на вал.

Слесарный инструмент

Л17-10 — ключ (вороток) для вращения узла.

Л17-11 — спец. ключ для пробки крепления соединительной муфты.

Л17-12 — спец. ключ для гайки крепления крыльчатки.

Л17-13 — спец. клещи для снятия колпачка гайки крепления крыльчатки.

Л17-14 — винт отжимной для демонтажа крышек.

Л17-15 — оправа деревянная для выпрессовки центрального подшипника.

Оправа свищовая, ключ $s = 11$ торцовый, ключ $s = 14$ торцовый, отвертка, молоток слесарный 200 гр., чертилка.

Мерительный инструмент

Стойка для индикатора, индикатор часового типа, штангенциркуль, щуп наборный, щуп специальный толщиной 1,2 мм, контрольный груз (пластина) 0,4 г, уровень.

Оборудование

Л17-16 — подставка поворотная для сборки узла.

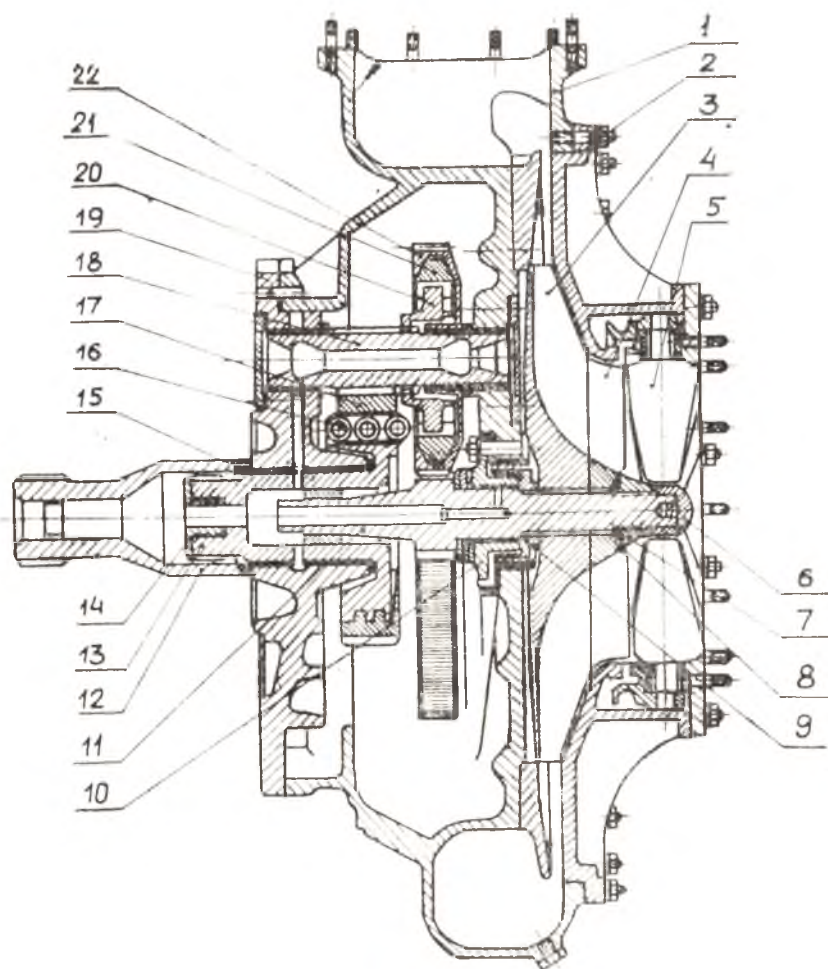
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА

Конструкция центробежного компрессора авиационного двигателя изображена на фиг. 7.1. Кинематическая схема привода к ротору компрессора указана на фиг. 7.2. Крыльчатка компрессора получает вращение от вала двигателя через мультипликатор, служащий для повышения числа оборотов. Крутящий момент для вращения крыльчатки передается от вала двигателя через упругое соединение ведущей шестерни «а» на малую шестерню «в» мультипликатора и далее через фрикционную шестерню «с» на шестерню валика крыльчатки «d».

Передаточное отношение мультипликатора равно:

$$i = \frac{n \text{ вала двиг.}}{n \text{ крыльчатки}} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = 11,05.$$

Для уменьшения окружной нагрузки на зубьях ведущей шестерни и шестерни валика крыльчатки, а также для исключения радиального усилия на опоры шестерен передача крутящего момента с ведущей шестерни на шестерню валика крыльчатки осуществляется через три пары двойных шесте-

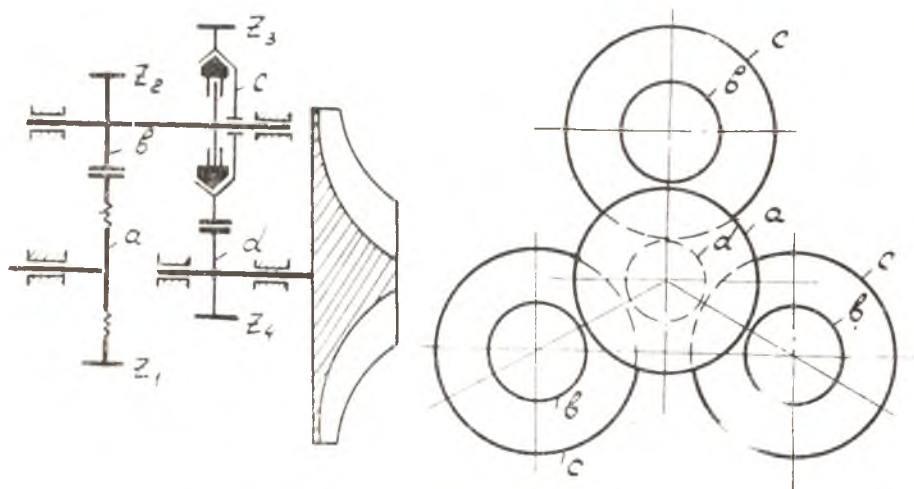


Фиг. 7. 1. Конструкция узла компрессора центробежного типа.

1 — корпус компрессора; 2 — крышка корпуса; 3 — крыльчатка; 4 — ВИА; 5 — корпус поворотных лопаток; 6 — колпачок; 7 — гайка; 8 — шайба сферическая; 9 — втулка маслоотражательная; 10 — подшипник центральный; 11 — валик крыльчатки; 12 — муфта соединительная; 13 — упругая муфта; 14 — цапка; 15 — шайба сферическая; 16 — пружина; 17 — шестерня ведущая; 18 — шестерня мультипликатора; 19 — крышка мультипликатора; 20 — поводок; 21 — суларь; 22 — шестерня мультипликатора — фрикционная.

рен «с» и «в», равнорасположенных по окружности. Это позволило выполнять шестерни более легкими, т. к. окружное усилие, действующее на зуб шестерни, уменьшается втрое против одинарной передачи. Кроме того, валик крыльчатки оказался полностью разгруженным в радиальном направлении.

Механизм зубчатой передачи размещен в корпусе, являющемся одновременно и корпусом компрессора.



Фиг. 7.2. Кинематическая схема привода.

а — ведущая шестерня; в — ведомая шестерня; с — шестерня фрикционная; d — шестерня валика крыльчатки.

Крыльчатка 3 (фиг. 7.1) с вращающимся направляющим аппаратом 4 посажена на прямоугольные шлицы вала 11 и затянута гайкой 7.

Большие скорости вращения крыльчатки (число оборотов крыльчатки на номинальном режиме 22 650 об/мин) предъявляют высокие требования к уравновешенности ротора. Поэтому при сборке производится балансировка крыльчатки и ротора. Вал крыльчатки 11 выполнен заодно с шестерней, которой передается вращение от трех больших шестерен мультипликатора 22.

На крышку корпуса компрессора устанавливается узел корпуса поворотных лопаток 5, служащий для изменения

производительности компрессора. Все лопатки узла поворачиваются синхронно при вращении рычага, расположенного с наружной стороны.

Выходной патрубок компрессора выполнен заодно с корпусом 1, крыльчатка размещается между стенкой корпуса и крышкой (входным патрубком) компрессора. Диффузор компрессора выполнен непосредственно в корпусе.

В связи с тем, что механизм мультипликатора и крыльчатка компрессора работают при большом числе оборотов и значительных нагрузках, большое значение приобретает точность выполнения сборочных соединений как в зубчатом зацеплении, так и в подвижных соединениях скользящих подшипников. При анализе технических условий на узел можно установить, что величина монтажных зазоров и натягов колеблется в довольно узких пределах.

РАЗБОРКА УЗЛА КОМПРЕССОРА И МУЛЬТИПЛИКАТОРА

Разборка узла производится в соответствии с операционной картой, имеющейся на рабочем месте. Процесс разборки заключается в том, что с корпуса компрессора последовательно снимают: соединительную муфту привода мультипликатора; крышку мультипликатора; ведущую и ведомые шестерни мультипликатора; корпус поворотных лопаток входного направляющего аппарата; крышку корпуса компрессора; вал крыльчатки компрессора; крыльчатку и вращающийся направляющий аппарат; центральный подшипник вала компрессора.

Все снятые подузлы укладываются в соответствующем порядке на лабораторном столе и далее не разбираются.

СБОРКА УЗЛА КОМПРЕССОРА И МУЛЬТИПЛИКАТОРА

Основными техническими условиями, выполняемыми при сборке узла, являются:

1. Статическая неуравновешенность крыльчатки компрессора и вращающегося направляющего аппарата, не превышающая 1,6 г·см.

2. Статическая неуравновешенность собранного ротора компрессора, не превышающая 2,6 г·см.

3. Осевой зазор в пяте ротора 0,25—0,45 мм.

4. Осевой зазор между крыльчаткой и крышкой 1,7—1,9 мм.

5. Радиальный зазор между лабиринтом и маслоотражательной втулкой 0,18—0,22 мм.

6. Зазор между поворотными лопатками (в открытом состоянии) и лопатками ВНА не менее 1,2 мм.

7. Зазор между концами поворотных лопаток и колпачком ротора 0,6—2,5 мм.

8. Осевое перемещение рычага поворотных лопаток 0,1—0,6 мм.

9. Подбор по шагу зацепления комплекта шестерен мультипликатора. Разница между максимальным шагом ведущей шестерни и минимальным шагом ведомой должна быть не более 0,015 мм, а разница между максимальным шагом ведомой шестерни и минимальным шагом ведущей — не более 0,008 мм.

Процесс сборки узла компрессора и мультипликатора осуществляется на основании операционных карт, имеющихся на рабочем месте. Последовательность выполнения операций такова:

Оп. 5. Статическая балансировка деталей и собранного узла ротора.

Оп. 10. Проверка и регулировка зазоров по узлу компрессора.

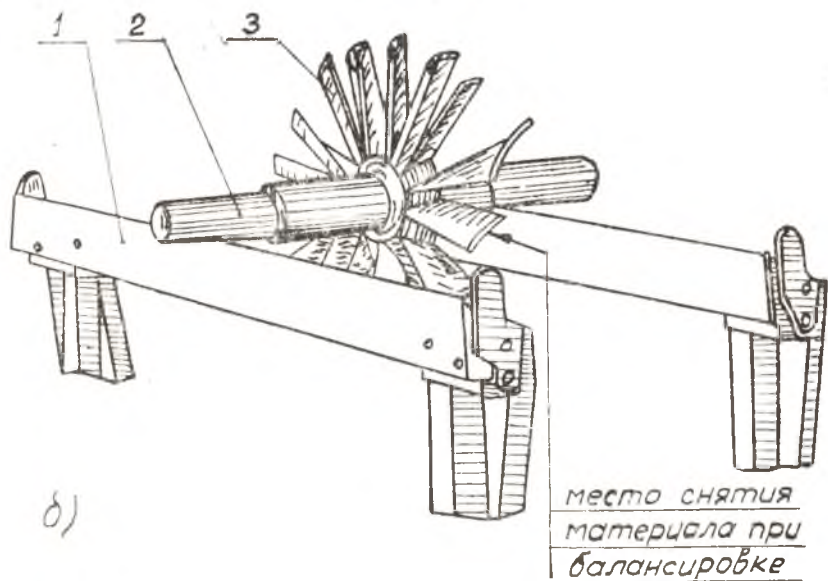
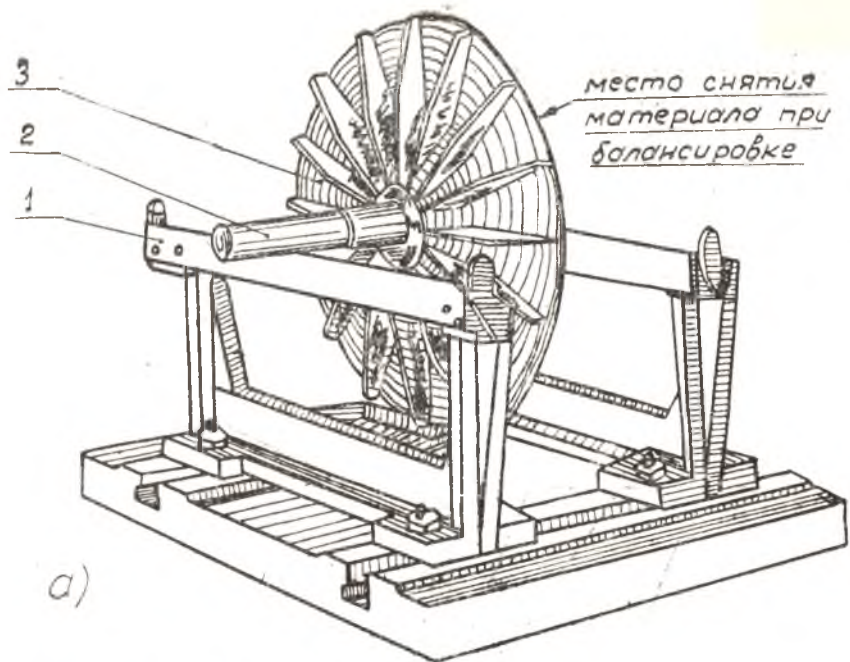
Оп. 15. Сборка узла компрессора.

Оп. 20. Подбор шестерен мультипликатора по шагу зацепления.

Оп. 25. Сборка мультипликатора.

Характерные особенности выполнения операций при сборке узла:

1. При выполнении операции № 5 статической балансировке подвергаются крыльчатка компрессора, вращающийся направляющий аппарат (ВНА), а также ротор компрессора в сборе. Балансировка производится на призмах, горизонтальность которых проверяется по уровню. Перед балансировкой каждую из деталей (крыльчатку и ВНА) плотно сажают на технологическую оправку. Затем, после установки на призмы, определяют величина и угловое положение неуравновешенной массы. Устранение неуравновешенности производится за счет снятия металла с поверхностей, указанных на фиг. 7. 3. После балансировки отдельных деталей производится сборка ротора компрессора в компоновке, указанной на фиг. 7. 4, и последующая проверка его уравновешенности. Проверка точности балансировки производится конт-

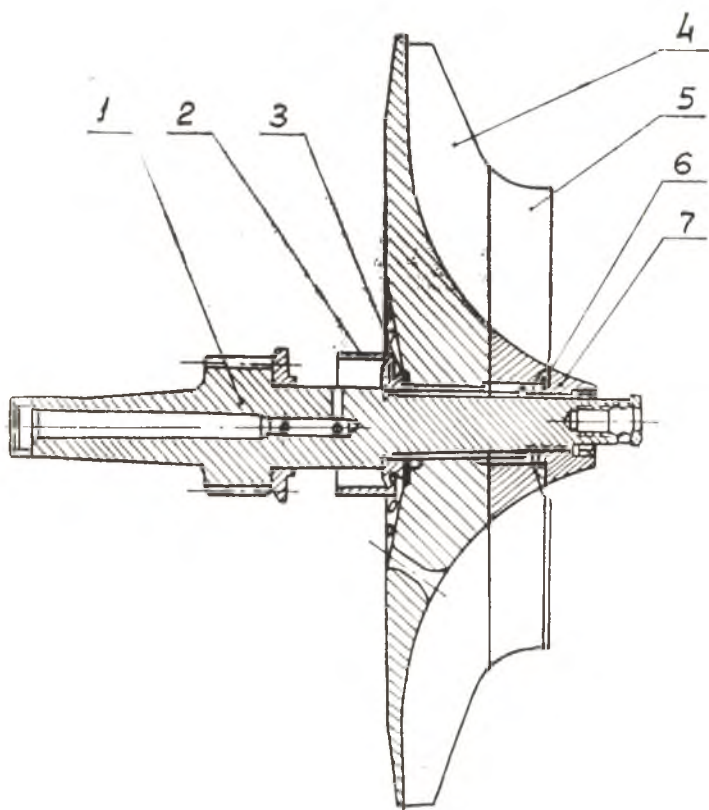


Фиг. 7.3. Статическая балансировка крыльчатки (схема «а») и ВИА (схема «б»).

1 — призмы, 2 — оправка технологическая; 3 — балансируемая деталь.

рольным грузом, вес которого и радиус установки определяются, исходя из величины допустимой неуравновешенности. После установки контрольного груза в горизонтальной плоскости деталь во всех случаях должна выводиться из состояния равновесия. В соответствии с требованиями ТУ точность балансировки крыльчатки и направляющего аппарата контролируется грузом 0,4 г на радиусе 80 мм от оси, а точность балансировки ротора — грузом 0,4 г на радиусе 130 мм.

2. В процессе выполнения операции № 10 производится

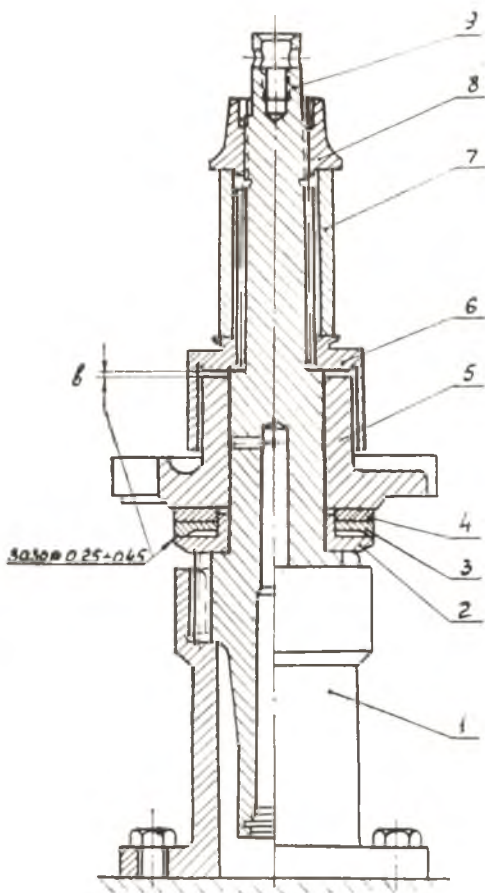


Фиг. 7.4. Ротор компрессора (балансируемый).

1 — валик крыльчатки; 2 — втулка маслоотражательная; 3 — шайба; 4 — крыльчатка;
5 — В Н А; 6 — шайба сферическая; 7 — гайка.

проверка и регулировка зазора в пяте ротора и осевого зазора между крыльчаткой и крышкой компрессора.

Для контроля зазора в пяте на валик компрессора устанавливается комплект деталей в соответствии с фиг. 7.5 и крепится гайкой. Затем с помощью двух наборных щупов контролируется величина зазора «в». При этом центральный



Фиг. 7.5. Схема проверки зазора в пяте ротора.

1 — подставка для сборки; 2 — втулка; 3 — опорное кольцо пяты; 4 — калибровочное кольцо пяты; 5 — подшипник центральный; 6 — втулка маслоотражательная; 7 — втулка технологическая; 8 — гайка; 9 — валик крыльчатки.

подшипник поднимается вверх до упора в маслоотражательную втулку. Величина зазора должна быть в пределах 0,25—0,45 мм, что обеспечивается подбором толщины калибровочного кольца пяты.

Осевой зазор между крыльчаткой компрессора и крышкой (фиг. 7.6) должен выдерживаться в пределах ТУ при условии полного выбора зазора «в» в пяте ротора, т. е. когда крыльчатка смещена до предела в сторону крышки. Зазор обеспечивается путем установки на вал крыльчатки регулировочной прокладки соответствующей толщины (между торцами крыльчатки и маслоотражательной втулки). Определение требуемой толщины регулировочной прокладки производится путем составления сборочной размерной цепи (фиг. 7.6). На основе решения размерной цепи можно получить следующую формулу:

$$c = a + б - в - г,$$

где c — толщина регулировочной прокладки;

a — суммарное осевое перемещение крыльчатки в корпусе;

$б$ — толщина уплотнительной прокладки между корпусом и крышкой;

$в$ — величина зазора в пяте ротора;

$г$ — осевой зазор между крыльчаткой компрессора и крышкой.

Величина суммарного перемещения крыльчатки в корпусе определяется путем проведения ложной сборки узла. Для этого в корпусе компрессора устанавливается и крепится центральный подшипник, а затем крыльчатка и крышка корпуса. При перемещении крыльчатки (с помощью оправки) от одного крайнего положения до другого индикатором измеряется величина «а». После проверки крышку и крыльчатку снимают с корпуса. Величины «б» и «в», входящие в формулу, определяются фактическими замерами.

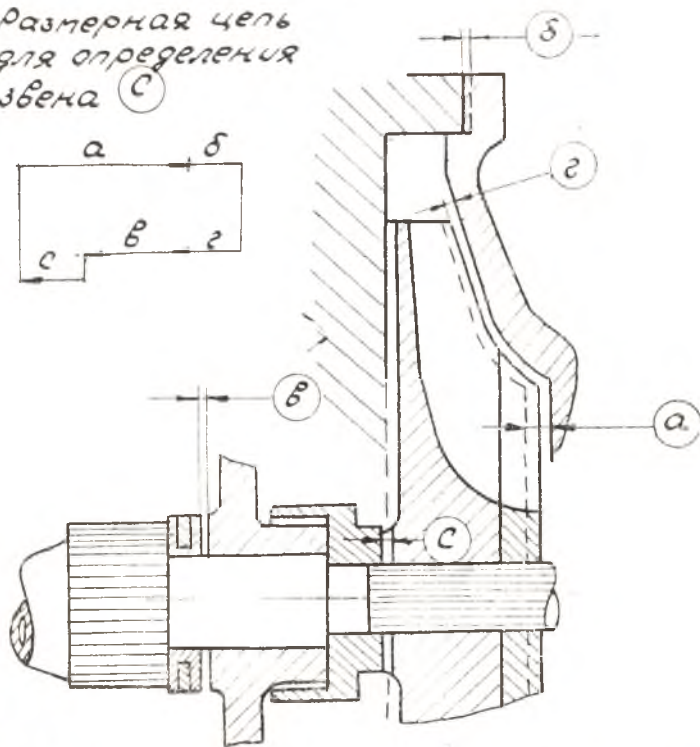
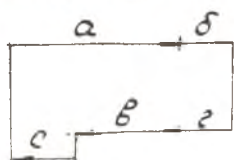
Величину зазора «г» принимают в пределах, требуемых ТУ (т. е. 1,7—1,9 мм).

В соответствии с полученным значением «с» подбирают прокладку требуемой толщины.

3. В операции 15 производится сборка узла компрессора. При сборке детали и подузлы устанавливаются в такой последовательности: валик крыльчатки с опорным и регулировочным кольцом пяты; маслоотражательная втулка и ре-

гулировочная прокладка; крыльчатка и ВНА с деталями крепления; крышка корпуса компрессора; корпус поворотных лопаток.

*Размерная цепь
для определения
звена С*



Фиг. 7. 6. Схема проверки осевого зазора между крыльчаткой и крышкой.

В процессе сборки производится замеры радиального зазора между лабиринтом и маслоотражательной втулкой; зазора между поворотными лопатками (в открытом состоянии) и лопатками ВНА; зазора между концами поворотных лопаток и колпачком ротора и осевого перемещения рычага поворотных лопаток.

4. Целью выполнения операции № 25 является проверка качества зацепления зубчатых передач мультипликатора по основному шагу. Высокие числа оборотов шестерен и особенности их конструктивного оформления предъявляют повышен-

ные требования в части обеспечения плавности работы. отсутствия ударных нагрузок, особенно при резких изменениях режима работы. Поэтому перед сборкой мультипликатора производится подбор шестерен с таким расчетом, чтобы разница в шагах зацепления не превышала нормы ГУ.

Фактические предельные значения основного шага указаны на поверхности каждой шестерни. Подбор шестерен по шагу производится для следующих передач:

а) ведущая шестерня — малые шестерни мультипликатора;

б) большие шестерни мультипликатора — шестерня валика крыльчатки.

Определение разности в шагах зацепления производится по формулам:

$$\Delta t' = t_{max}(\text{ведущ. шест.}) - t_{min}(\text{ведом. шест.}),$$

$$\Delta t'' = t_{max}(\text{ведом. шест.}) - t_{min}(\text{ведущ. шест.})$$

Величины $\Delta t'$ и $\Delta t''$ не должны превышать норм ГУ.

Проверка и подбор производится для каждой шестерни мультипликатора.

5. Сборка мультипликатора по операции № 25 заключается в последовательной установке в корпус ранее подобранных шестерен, крышки и соединительной муфты. Качество сборки зубчатых передач контролируется путем проверки вращения с использованием воротка, устанавливаемого на соединительную муфту. Вращение должно быть плавным, легким, без резкого шума.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе должны быть указаны:

а) качество уравнивания крыльчатки, вращающегося направляющего аппарата и ротора;

б) величина осевого зазора в пяте ротора и толщина калибровочного кольца;

в) расчет величины регулировочной прокладки для обеспечения осевого зазора между крыльчаткой и крышкой, а также построение размерной цепи;

г) параметры, контролируемые при сборке компрессора;

д) величина разности основного шага в зацеплении шестерен мультипликатора;

е) методы достижения заданной точности сборки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

СБОРКА УЗЛА РЕДУКТОРА ТУРБОСТАРТЕРА

Целью работы является изучение особенностей технологического процесса сборки узла редуктора планетарного типа. Дополнительно работа дает возможность подкрепить основные теоретические положения курса по составлению и решению сборочных размерных цепей; сборке узлов с подшипниками качения; сборке неподвижных неразъемных соединений; сборке зубчатых передач.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Краткое ознакомление с конструкцией узла.
 2. Разборка корпуса подшипников редуктора.
 3. Сборка узла редуктора.
 4. Составление отчета по работе.
- Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

Перечень оснастки для выполнения лабораторной работы

П р и с п о с о б л е н и я

Л18-01	— подставка под редуктор	1 шт.
Л18-02	— подставка под вал	1 шт.
Л18-03	— приспособление для демонтажа втулки подшипника	1 шт.
Л18-04	— приспособление для демонтажа внутренней обоймы с вала	1 шт.
Л18-05	— подставка для демонтажа наружной обоймы роликоподшипника	1 шт.
Л18-06	— оправа	1 шт.
Л18-07	— оправа	1 шт.

Д8-09 — ключ специальный	1 шт.
Д8-10 — ключ специальный	1 шт.
Д8-11 — ключ специальный	1 шт.
Шпильки технологические	2 шт.

И н с т р у м е н т

Ключ $s = 9 \times 11$ плоский	1 шт.
Ключ $s = 9$ торцовый	1 шт.
Ключ $s = 14$ плоский	1 шт.
Оправа свинцовая	1 шт.
Молоток стальной 200 г	1 шт.
Чертилка	1 шт.
Скоба проволоочная	1 шт.

Мерительный инструмент

Микрометр 50—75 мм	1 шт.
Индикатор внутреннего измерения (точность измерения 0,01)	1 шт.
Кольцо для настройки индикатора $\varnothing 62$	1 шт.
Глубомер	1 шт.
Индикатор со стойкой для проверки перемещения солнечной шестерни	
Индикатор рычажный со стойкой для проверки бокового зазора в зацеплении шестерен	1 шт.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА

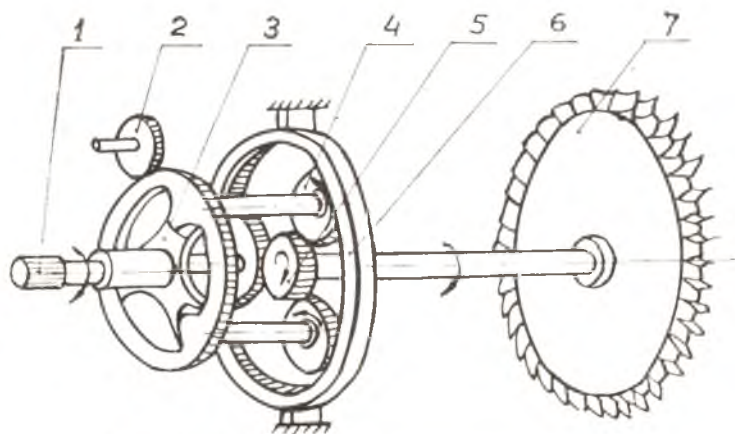
Редуктор ТС служит для понижения числа оборотов выходного вала турбостартера. Редуктор турбостартера планетарный, с передаточным отношением, равным шести. Узел состоит из корпуса подшипников, водила и корпуса редуктора, в котором размещается водило. Кинематическая схема узла показана на фиг. 8. 1. От вала свободной турбины 7 посредством шлицевого соединения вращение передается на солнечную шестерню 5, входящую в зацепление с тремя сателлитными шестернями 4, оси которых закреплены во вращающемся водиле 3. При вращении относительно своих осей сателлитные шестерни обкатываются вокруг солнечной по неподвижному зубчатому венцу 6. Крутящий момент, получаемый при этом водилом, передается шлицевым хвостовиком на соединительную муфту привода двигателя.

Узел редуктора состоит из двух основных подузлов: корпуса подшипников и корпуса редуктора.

Подузел корпуса подшипников турбины (фиг. 8. 2) состоит из корпуса 1, вала 2, роликоподшипника 7, шарикоподшипника 16, а также деталей крепления. Корпус подшипников крепится к передней половине корпуса редуктора.

Роликоподшипник 7 запрессовывается во втулку подшипни-

ка 5, которая вместе с крышкой 13 крепится к корпусу болтами. По обеим сторонам наружного кольца роликоподшипника устанавливаются два кольца со сверлениями-форсунками для впрыска смазки на подшипник. Для предотвращения попадания смазки в газовый тракт на валу турбины установлено отражательное кольцо 8 и лабиринтная втулка 10.



Фиг. 8.1. Кинематическая схема узла редуктора.

- 1 — выходной вал редуктора; 2 — шестерня привода тахометра; 3 — водило; 4 — шестерня сателлитная; 5 — шестерня солнечная; 6 — неподвижный зубчатый венец; 7 — свободная турбина.

Шарикоподшипник 16 устанавливается в корпус и крепится вместе со втулкой 18 гайкой 19. Передний конец вала турбины имеет фланец с тремя шпильками для крепления диска турбины и тремя штифтами 14 для передачи крутящего момента. На заднем хвостовике вала выполнены шлицы для передачи крутящего момента на солнечную шестерню 23 редуктора. Последняя крепится на хвостовике вала при помощи гайки 21 и двух сухариков 20.

Корпус редуктора состоит из переднего 27 и заднего 28 корпусов, отлитых из алюминиевого сплава АЛ-4 и соединенных между собой при помощи шпилек. Передний подшипник 24 водила редуктора установлен в корпусе подшипников, а задний 32 — в стальной втулке заднего корпуса. В стенке заднего корпуса вверху расточено посадочное гнездо для насоса датчика оборотов свободной турбины 29. На заднем

хвостовике водила находится втулка 31 подвода смазки в полость хвостовика.

Водило редуктора 38 состоит из двух частей, скрепленных призонными болтами. Внутренние обоймы роликоподшипников на хвостовиках водила крепятся пружинными кольцами. В водиле, на осях 25 и роликоподшипниках расположены три сателлитных шестерни 26, оси которых фиксируются зубчатым венцом 30, прикрепленным к водилу винтами и служащим для привода шестерни насоса датчика.

Оси шестерен имеют сверления для подвода смазки к кольцу 42 с жиклерами впырка на роликоподшипники. Между наружными обоймами роликоподшипников установлено стопорное кольцо 41, фиксирующее шестерню относительно подшипников в осевом направлении, и дистанционное кольцо 40, служащее для обеспечения осевого зазора в роликоподшипниках.

Сателлитные шестерни получают крутящий момент от солнечной шестерни 22, которая самоустанавливается относительно сателлитных шестерен и равномерно распределяет нагрузку между ними. С другой стороны сателлитные шестерни обкатываются по внутреннему зацеплению зубчатого венца 37, соединенного со шлицевым венцом 35. В осевом направлении зубчатый венец фиксируется кольцом 36, запрессованным в передний корпус редуктора, и буртом шлицевого венца 35.

РАЗБОРКА УЗЛА

Разборка узла производится в соответствии с операционными картами, имеющимися на рабочем месте. Процесс разборки производится в следующей последовательности: корпус подшипников отсоединяется от корпуса редуктора; разбирается корпус подшипника, затем редуктор.

Все снятые подузлы укладываются в соответствующем порядке на лабораторном столе и далее не разбираются.

СБОРКА УЗЛА РЕДУКТОРА

Основными техническими условиями при сборке узла являются:

1. Посадка колец роликоподшипника вала турбины:
для наружного кольца — натяг 0,00—0,015 мм,
для внутреннего кольца — натяг 0,004—0,012 мм.

2. Радиальный зазор в роликоподшипнике, установленном в узел, не менее 0,1 мм.

3. Посадка форсуночных колец роликоподшипника во втулку с зазором 0,00 до 0,012 (обеспечивается методом группового подбора).

4. Осевой зазор между форсуночным кольцом и торцом крышки 0,00—0,3 мм.

5. Осевое перемещение солнечной шестерни относительно вала 0,5—1,0 мм.

6. Осевое перемещение сателлитных шестерен, установленных в узел, 0,1—0,4 мм.

7. Комплект сателлитных шестерен подобрать по шагу зацепления с солнечной шестерней. Разница между максимальным шагом солнечной и минимальным сателлитной шестерни не более 0,015 мм, а между максимальным шагом сателлитной шестерни и минимальным солнечной — не более 0,008 мм.

8. Суммарный боковой зазор в зацеплении сателлитных шестерен с зубчатым венцом должен быть в пределах 0,2—0,45 мм.

9. Зазор между торцом солнечной шестерни и заглушкой водила редуктора должен быть не менее 0,5 мм.

10. Осевое перемещение водила редуктора в узле 0,2—0,4 мм.

Процесс сборки узла редуктора осуществляется на основании операционных карт, имеющихся на рабочем месте. Последовательность выполнения операций технологического процесса определяется как конструктивными особенностями узла, так и характером предъявляемых ТУ и установлена следующей:

Оп. 5. Сборка корпуса подшипников.

Оп. 10. Сборка зубчатой передачи редуктора.

Оп. 15. Окончательная сборка узла редуктора.

Характерные особенности выполнения операций при сборке узла:

1. Процесс сборки корпуса подшипников по операции 5 включает в себя сборку ряда мелких подузлов (втулка роликоподшипника и вал турбины) и последующую их установку в корпус. Перед сборкой подузлов производятся работы по определению посадок в соединениях колец подшипников и форсуночных колец. Величина посадок для колец подшипников определяется расчетом после измерения сопрягаемых деталей.

Посадка форсуночных колец во втулку обеспечивается в пределах ТУ по принципу группового подбора деталей. Для этого на форсуночных кольцах и втулках ставится клеймо, № группы, указывающей нахождение фактического размера детали в пределах определенных значений отклонений от номинала. Процесс контроля посадки в соединениях указанных деталей сводится к проверке соответствия номера группы охватывающей и охватываемой детали.

Одним из важных этапов сборки подузлов является также определение величины радиального зазора в роликоподшипнике для запрессованного состояния. Искомая величина радиального зазора может быть вычислена по следующей формуле:

$$e_{\text{запр.}} = e_{\text{своб.}} - 0,6i_{\text{вн.}} - 0,7i_{\text{нар.}},$$

где $e_{\text{запр.}}$ — величина радиального зазора подшипника, установленного в узел;

$e_{\text{своб.}}$ — величина зазора в свободном состоянии (до запрессовки);

$i_{\text{вн.}}$ — $i_{\text{нар.}}$ — фактические величины натягов соответственно по внутреннему и наружному кольцу подшипника.

Аналогичную проверку радиального зазора $e_{\text{запр.}}$ следует проводить и для шарикоподшипника. В лабораторной работе эта проверка не производится только с целью экономии времени.

После сборки подузла втулки производится определение осевого зазора между торцом форсуночного кольца и торцом крышки. На основе решения размерной цепи величина этого зазора может быть подсчитана по следующей формуле:

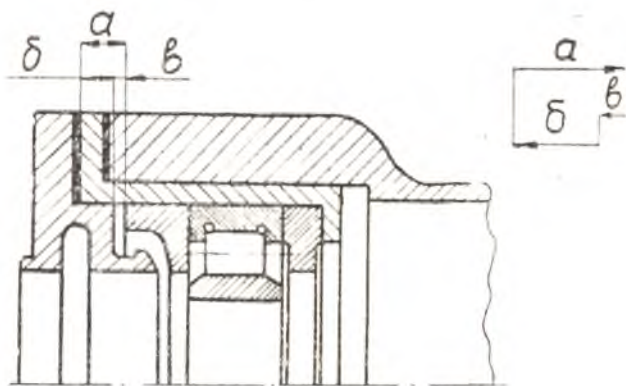
$$в = а - б,$$

где $в$ — искомый зазор;

$а$ и $б$ — размеры сопрягаемых деталей (фиг. 8.3).

Окончательная сборка корпуса подшипников производится в определенной последовательности: запрессовка подузла втулки в корпус; установка подузла вала турбины; установка и крепление солнечной шестерни.

При окончательно закрепленной солнечной шестерне с помощью индикатора проверяется осевое перемещение шестерни по шлицам вала. Величина перемещения должна соответствовать требованиям ТУ.



Фиг. 8.3. Схема определения осевого зазора «в».

Дополнительно с помощью глубомера проверяется размер «л» от торца солнечной шестерни до плоскости соединения корпуса подшипников с корпусом редуктора. Величина l_* используется в дальнейшем при сборке узла редуктора, находится, как

$$l_{max} = l_* + c,$$

где c — осевое перемещение солнечной шестерни.

2. В процессе выполнения операции 10 производится сборка зубчатых передач планетарного редуктора. При сборке подузла водила, в соответствии с техническими требованиями, проверяется осевое перемещение сателлитов за счет зазора в роликоподшипниках. Проверка производится с применением индикатора путем передвижения сателлита в два крайних положения.

Условие обеспечения плавности работы зубчатой передачи и уменьшения динамических нагрузок требует проведения подбора шестерен по основному шагу. В подобранном комплекте шестерен разница в шаге зацепления по всем зубьям не должна превышать нормы ТУ. Определение величины разности в шагах зацепления производится по следующим формулам:

$$\Delta t' = t_{max}(\text{ведущ. шест.}) - t_{min}(\text{ведом. шест.}),$$

$$\Delta t'' = t_{max}(\text{ведом. шест.}) - t_{min}(\text{ведущ. шест.}),$$

Фактические предельные значения основного шага клеймятся на поверхности каждой шестерни (при изготовлении).

Следующим параметром, проверяемым при сборке зубчатых передач редуктора, является проверка суммарного бокового зазора в зацеплении сателлитных шестерен с зубчатым венцом. Для этой цели водило редуктора устанавливается в корпус и вводится в зацепление с зубчатым венцом. При проверке суммарного бокового зазора водило редуктора усиленной руки отжимается в сторону, противоположную проверяемой шестерне-сателлиту, до выбора бокового зазора в зацеплении двух других сателлитов (отсюда и название «суммарного» бокового зазора). Зазор измеряется с помощью индикатора с упором его ножки в зуб шестерни-сателлита на радиусе начальной окружности. Сборка зубчатых передач редуктора заканчивается стадией соединения задней половины корпуса редуктора с передней.

3. Окончательная сборка узла редуктора заключается в соединении корпуса подшипников с корпусом редуктора и вводе в зацепление солнечной шестерни. Перед состыковкой корпусов производится контроль величины осевого зазора между торцом солнечной шестерни и заглушкой водила (фиг. 8.2). Для этого определяется размер «А» от торца заглушки водила до плоскости соединения корпуса редуктора с корпусом подшипников. Тогда контролируемый зазор «К» может быть рассчитан следующим образом:

$$K = A - L_{max}$$

Величина L_{max} принимается согласно данным операции № 5.

В собранном узле редуктора определяется величина осевого перемещения водила в роликоподшипниках путем замера индикатором.

Качество сборки зубчатой передачи контролируется путем проверки вращения. При поворачивании редуктора за вал турбины вращение должно быть плавным, легким, без резкого шума.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе должны быть указаны посадка колец подшипников и форсуночных колец; расчет величины радиального зазора в роликоподшипнике для за-

прессованного состояния; величина зазоров и перемещений, контролируемых при сборке корпуса подшипников; параметры, контролируемые при сборке зубчатых передач (разность в шагах зацепления, боковой зазор и т. п.); величины зазоров и перемещений, контролируемые при окончательной сборке узла; методы достижения заданной точности сборки узла.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

СБОРКА ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ДВИГАТЕЛЯ V-2

Целью работы является изучение особенностей технологического процесса узловой и общей сборки турбонасосного агрегата. Дополнительно работа дает возможность подкрепить основные теоретические положения курса по следующим вопросам: точность сборочных соединений и методы достижения заданной точности; сборка неподвижных неразъемных соединений; сборка узлов с подшипниками качения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Краткое ознакомление с конструкцией узла.
 2. Разборка агрегата на узлы и разборка узлов.
 3. Сборка узлов и общая сборка ТНА:
 - а) сборка насосов горючего и окислителя;
 - б) сборка узла турбины.
 4. Составление отчета по работе.
- Продолжительность лабораторной работы 4 часа.

Перечень оснастки для выполнения лабораторной работы

Приспособления сборочные

- Л9-01 — подставка поворотная для сборки насоса горючего.
- Л9-02 — подставка поворотная для сборки насоса окислителя.
- Л9-03 — приспособление для удерживания от проворачивания вала насоса горючего.
- Л9-04 — приспособление для удерживания от проворачивания вала насоса окислителя.
- Л9-05 — подставка шлицевая для вала насоса окислителя.

- Л19-06 — оправа для запрессовки шарикоподшипника в корпус.
 Л19-07 — оправа для запрессовки шарикоподшипника в крышку.
 Л19-08 — конус направляющий для резиновых сальников.
 Л19-09 — оправа для демонтажа шарикоподшипника с вала
 Электролампа.
 Л19-10 — редставка плечевая для вала насоса горячего.

Приспособления контрольные

- Л19-11 — приспособление для замера радиального зазора в шарико-
 подшипнике.
 Л19-12 — приспособление — призмы для проверки бienia.
 Л19-13 — приспособление для проверки торцевого бienia плоскости
 корпуса турбины.
 Л19-14 — прибор для проверки осевых размеров по узлу турбины
 с эталоном высоты.
 Стойка с индикатором.

Слесарный инструмент

- Ключ s = 5 с наружным шестигранником.
 Ключ s = 11 плоский.
 Ключ s = 11 торцовый.
 Ключ s = 14 плоский.
 Ключ s = 14 торцовый.
 Ключ s = 17 плоский.
 Ключ s = 17 торцовый.
 Ключ s = 19 плоский.
 Ключ s = 19 торцовый.
 Ключ s = 46 плоский.
 Л19-15 — ключ для круглой гайки крепления уругой муфты узла
 турбины.
 Л19-16 — ключ для гайки крепления полумуфты насоса окислителя.
 Винт отжимной.
 Выколотка свинцовая.
 Молоток.
 Отвертка.
 Л19-17 — винт-ручка для крыльчатки насоса.

Мерительный инструмент

- Микрометр (пред. изм. 0—25, 25—50, 50—75, 75—100).
 Индикатор внутреннего измерения.
 Кольцо для настройки индикатора на 25 мм.
 Кольцо „ „ „ на 40 мм.
 Кольцо „ „ „ на 62 мм.
 Кольцо „ „ „ на 90 мм.
 Кольцо „ „ „ на 60 мм.
 Кольцо „ „ „ на 72 мм.
 Штангенциркуль.
 Глубомер.
 Штангенрейсмус.
 Щуп наборный.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА

Турбонасосный агрегат (ТНА) состоит из трех конструктивных узлов: насоса горючего, турбины и насоса окислителя. Оба насоса одновременно являются и сборочными узлами. Узел турбины не является сборочным, так как сборка его может быть произведена только на базе насоса горючего. Центрирование каждого узла относительно смежного осуществляется с помощью четырех равнорасположенных по окружности радиальных шпонок, устанавливаемых в пазы корпусных деталей. Этот способ позволяет сохранять точность центрирования при значительном изменении температуры работы деталей.

Для обеспечения сборки каждый узел имеет корпус и крышку корпуса, скрепляемые при помощи фланцевого соединения. Крыльчатки обоих насосов центробежного типа. Ротор насоса горючего (фиг. 9. 1) вращается в двух шариковых подшипниках, расположенных в корпусе и крышке. Уплотнение опор манжетного типа. На валу ротора насоса на шлицах устанавливается рабочее колесо турбины.

Ротор насоса окислителя (фиг. 9. 2) вращается в двух скользящих подшипниках, расположенных в корпусе и крышке. Уплотнение опоры подшипника в корпусе осуществляется с помощью трех сегментных уплотнительных колец. Передача вращения от турбины к ротору насоса окислителя производится с помощью упругой муфты.

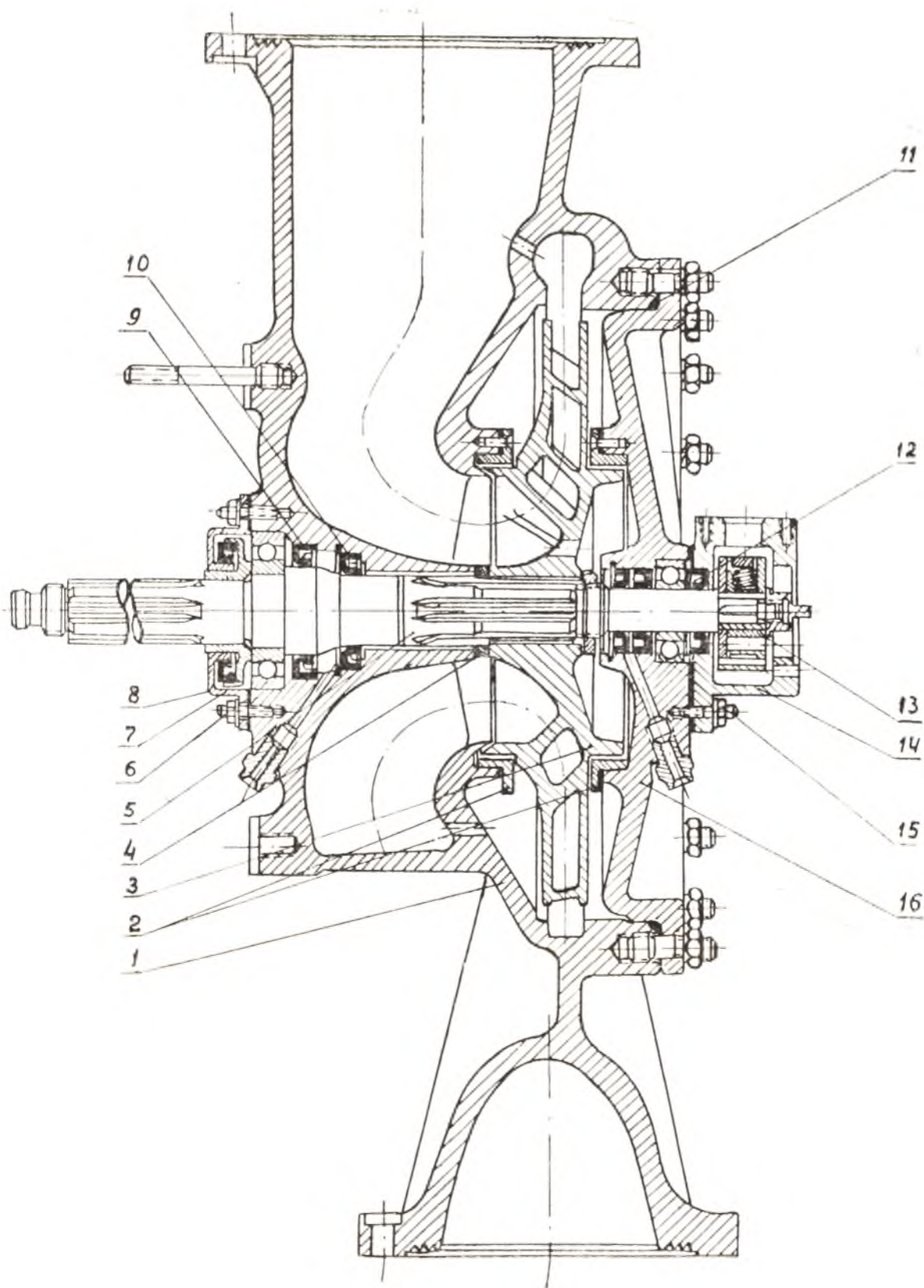
Большое число оборотов ротора ТНА вызывает необходимость его тщательного уравнивания. Поэтому перед сборкой ротор насоса окислителя подвергается статической балансировке, а ротор насоса горючего вместе с колесом турбины — динамической балансировке.

РАЗБОРКА УЗЛОВ Т. Н. А.

Разборка узлов ТНА производится в соответствии с операционными картами, имеющимися на рабочем месте. При этом бригада студентов, выполняющих лабораторную работу, по указанию преподавателя производит разборку (и последующую сборку) узла турбины и только одного из насосов.

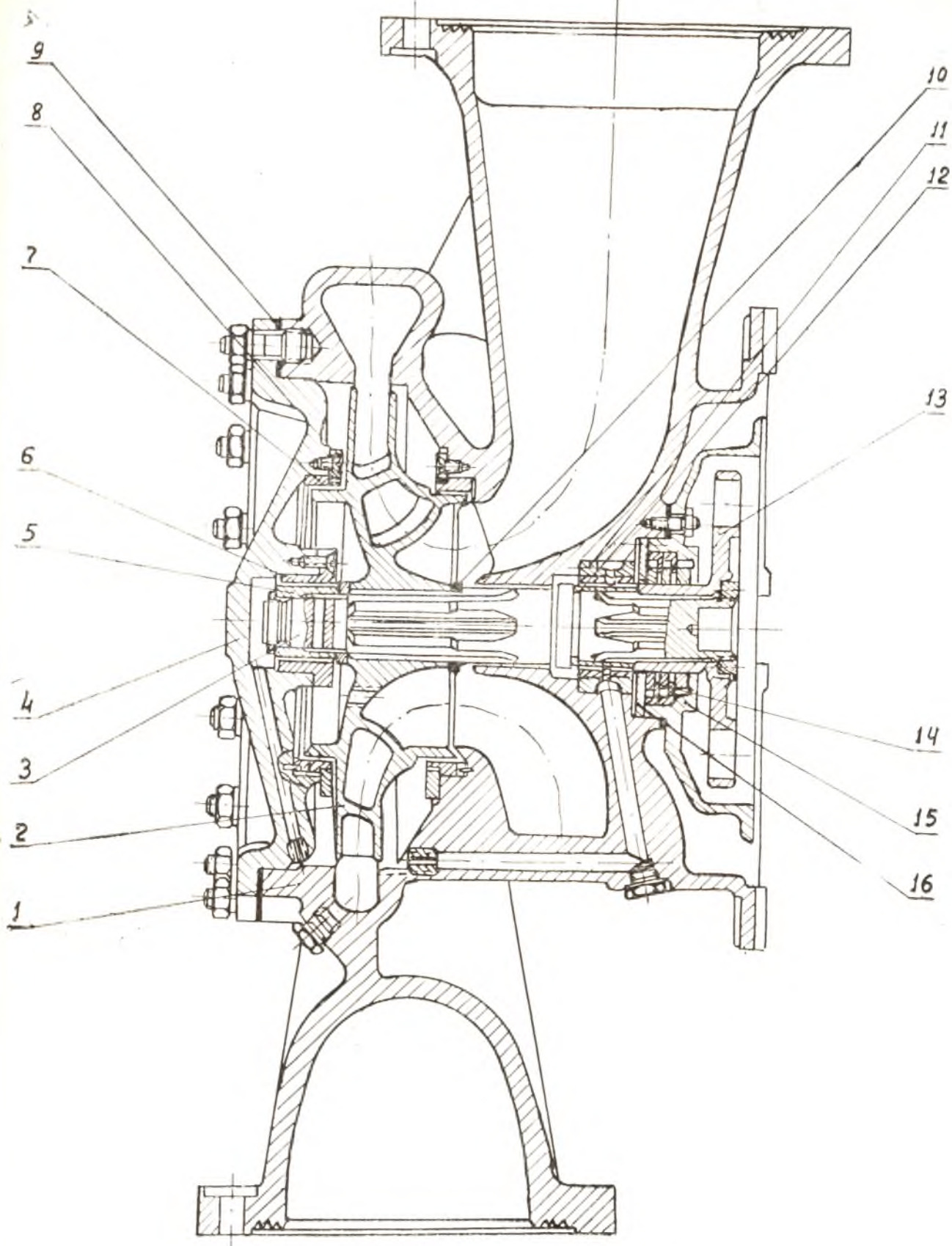
Разборка производится в такой последовательности:

Узел турбины (упругая муфта, крышка корпуса турбины, рабочее колесо турбины вместе с направляющим аппаратом, корпус турбины).



Фиг. 9.2. Конструкция узла насоса окислителя.

1 — корпус; 2 — кольцо уплотнительное; 3 — крыльчатка; 4 — кольцо регулировочное; 5 — вал ротора; 6 — шарикоподшипник; 7 — крышка уплотнения; 8 — втулка уплотнения; 9 — манжетное уплотнение; 10 — манжетное уплотнение; 11 — уплотнительное кольцо; 12 — манжетное уплотнение; 13 — ротор центробежного выключателя; 14 — шарикоподшипник; 15 — шарикоподшипник; 16 — крышка корпуса насоса.



Фиг. 9.1. Конструкция узла насоса горючего.

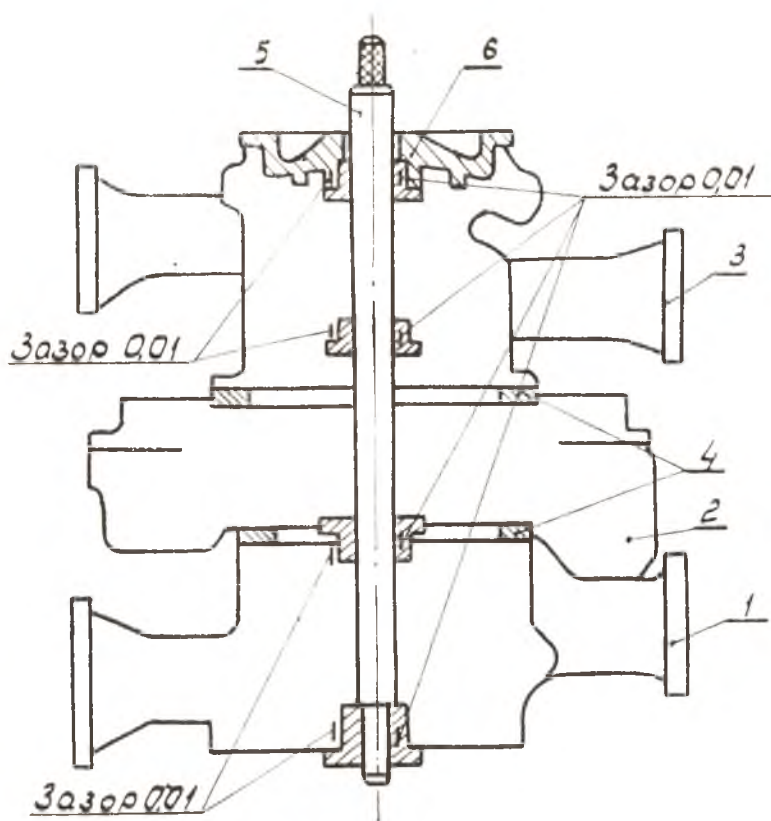
1 — корпус; 2 — крыльчатка; 3 — вал ротора; 4 — крышка корпуса; 5 — втулка скользящего подшипника; 6 — подшипник; 7 — кольцо уплотнительное; 8 — кольцо нажимное; 9 — прокладка уплотнительная; 10 — кольцо регулировочное; 11 — подшипник скользящий; 12 — втулка скользящего подшипника; 13 — ведомый фланец муфты; 14 — кольцо сегментное; 15 — корпус уплотнительных сегментов; 16 — крышка корпуса уплотнения.

Насос горючего (центробежный выключатель, крышка корпуса насоса, крыльчатка насоса, подузел уплотнения подшипника в корпусе, вал ротора с шарикоподшипником).

Насос окислителя (крышка корпуса насоса, крыльчатка насоса, вал ротора с полумуфтой, корпус уплотнения).

СБОРКА УЗЛОВ И ОБЩАЯ СБОРКА ТНА

При сборке ТНА очень важно обеспечить достаточную соосность опор под подшипники. Эта операция проводится путем ложной сборки всех корпусных деталей насосов и тур-



Фиг. 9.3. Схема проверки соосности опор подшипников.

1 — насос горючего; 2 — турбина; 3 — насос окислителя; 4 — шпонки; 5 — оправа контрольная; 6 — крышка корпуса насоса.

бины. Соосность проверяется с помощью специальной скалки, вставляемой в технологические втулки подшипников (фиг. 9.3). Втулки подбираются так, чтобы зазоры их в гнездах подшипников и между скалкой и втулкой были не более 0,01 мм. Если скалка, предварительно смазанная маслом, проходит под действием собственного веса в отверстия втулки, то соосность считается удовлетворительной. В противном случае необходимо произвести подбор (или подгонку) шпонок (фиг. 9.3). Значительное влияние на соосность оказывает затяжка гаек на шпильках с определенным усилием и равномерно по фланцу. Практическое выполнение операции по проверке соосности опор в лабораторной работе не производится.

Сборку турбонасосного агрегата разделяют на узловую и общую. При узловой собирают отдельные насосы и турбину. В общей сборке производится состыковка насоса окислителя с узлом турбины в единый турбонасосный агрегат. В лабораторной работе рассматривается только процесс узловой сборки.

СБОРКА НАСОСОВ ГОРЮЧЕГО И ОКИСЛИТЕЛЯ

Основные технические условия при сборке насосов:

По насосу горючего.

1. Посадка колец шарикоподшипников: для наружных колец — от зазора 0,01 до натяга 0,005 мм; для внутренних колец — натяг 0,00—0,02 мм.

2. Радиальный зазор в шарикоподшипниках после установки в узел: для подшипника, расположенного в корпусе, — не менее 0,03 мм; для подшипника, расположенного в крышке, — не менее 0,015 мм.

3. Радиальный зазор между уплотнительными кольцами и цилиндрическими буртами крыльчатки 0,4—0,6 мм.

4. Биение уплотнительных буртов крыльчатки относительно оси вращения ротора не более 0,1 мм.

5. Осевые зазоры «т» и «п» (фиг. 9.4) должны быть в пределах 2—4 мм.

По насосу окислителя.

1. Диаметральный зазор по подшипникам скольжения для подшипника крышки 0,55—0,65 мм; для подшипника корпуса 0,5—0,6 мм.

2. Посадка втулки подшипников: для крышки зазор 0,01—0,02 мм; для корпуса зазор 0,01—0,03 мм.

3. Радиальные зазоры между уплотнительными кольцами и цилиндрическими буртами крыльчатки 0,4—0,6 мм.

4. Биение уплотнительных буртов крыльчатки относительно оси вращения вала ротора, собранного со втулками подшипников, не более 0,1 мм.

5. Осевые зазоры «т» и «п» (фиг. 9.4) должны быть в пределах 2—4 мм.

Процесс сборки насосов осуществляется на основании операционных карт, имеющихся на рабочем месте. Характерные особенности выполнения операций при сборке насосов таковы:

1. Сборка узлов насосов начинается с определения посадок в соединении деталей. Сюда входит определение посадки по наружному и внутреннему кольцу шарикоподшипников, посадки втулок скользящих подшипников в корпусные детали, радиальных зазоров в подшипниках скольжения, радиальных зазоров в лабиринтных уплотнениях и т. д. Определение посадок производится, как правило, путем непосредственного измерения размеров сопрягаемых деталей и последующего расчета. Обеспечение посадок в пределах ТУ производят чаще всего за счет индивидуального подбора. В ряде случаев посадка обеспечивается методом группового подбора деталей (например, посадка втулок подшипников в корпус и крышку насоса окислителя).

2. Важным элементом сборки узлов с подшипниками качества является определение величины радиального зазора в шарикоподшипнике для запрессованного состояния. Если известна величина зазора подшипника в свободном состоянии (путем замера или по данным паспорта), то величина зазора в подшипнике, установленном в узел, может быть вычислена по следующей формуле:

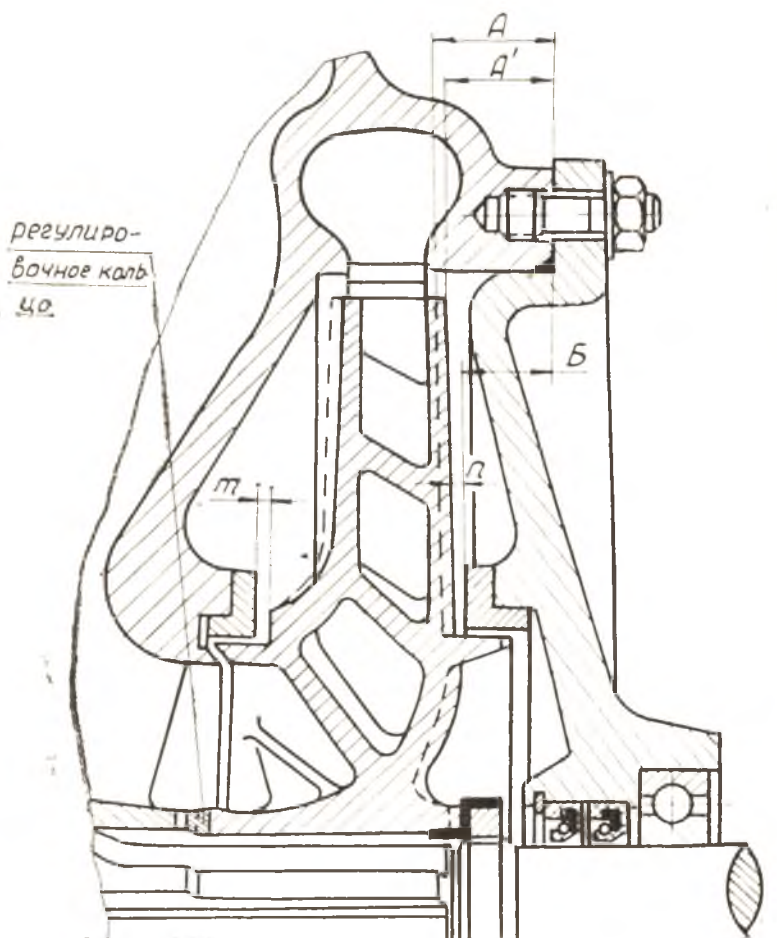
$$e_{\text{запр.}} = e_{\text{своб.}} - 0,6i_{\text{вн}} - 0,7i_{\text{нар.}}$$

где $e_{\text{запр.}}$ — величина радиального зазора в подшипнике, установленном в узел;

$e_{\text{своб.}}$ — величина зазора в свободном состоянии (до запрессовки);

$i_{\text{вн.}}, i_{\text{нар.}}$ — фактические натяги, соответственно, по внутреннему и наружному кольцу.

В лабораторной работе радиальный зазор подшипника в свободном состоянии определяется с помощью приспособления.



Фиг. 9.4. Схема проверки осевых зазоров в узлах насосов.

3. Для обеспечения равномерного радиального зазора в уплотнениях крыльчатки и исключения касания поверхностей крыльчатки о корпус перед сборкой насосов производится проверка биения уплотнительных буртов относительно оси

вращения вала. Контроль биения осуществляется индикатором, при этом вал с крыльчаткой устанавливается в специальные призмы. Положение крыльчатки на шлицах вала, обеспечивающее биение в пределах ТУ, отмечается риской взаимного положения. При последующей сборке насоса крыльчатка устанавливается на вал, ориентируясь по этим рискам.

При сборке насосов горючего и окислителя в качестве базовой детали используется корпус насоса, закрепляемый на сборочной подставке. Эта подставка позволяет поворачивать узел на 180° вокруг оси, перпендикулярной оси вала ротора. Последовательность сборки насоса следующая:

1. Установка уплотнений в корпус и крышку.
2. Установка вала с подшипниками в корпус.
3. Постановка крыльчатки насоса и регулировка зазоров.
4. Постановка и крепление крышки.

При постановке крыльчатки проверяются два осевых зазора «m» и «n» (фиг. 9.4).

Проверка зазоров производится путем замера размеров по схеме (фиг. 9.4) с последующим подсчетом по формулам:

$$m = A - A^1,$$

$$n = A^1 - B,$$

где

A — размер от торца крыльчатки до плоскости разъема корпуса с крышкой при отсутствии регулировочного кольца на валу ротора;

A^1 — размер между теми же поверхностями при установленном регулировочном кольце на валу ротора;

B — размер от торца уплотнительного кольца (в крышке) до плоскости разъема крышки с корпусом.

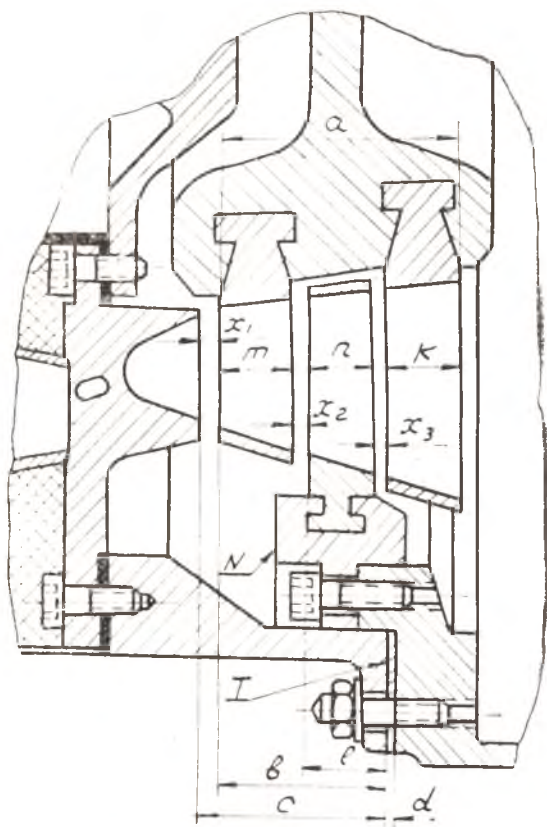
Если зазоры «m» и «n» не получаются в пределах ТУ, производится корректировка толщины ранее установленного регулировочного кольца в необходимую сторону.

СБОРКА УЗЛА ТУРБИНЫ

Основные технические условия, выполняемые при сборке узла турбины:

Биение поверхности «N» (фиг. 9.5) сегментов направляющего аппарата относительно оси вращения ротора не более 0,2 мм.

Величина осевых зазоров (фиг. 9.5): $x_1 = 0,8-2,3$ мм;
 $x_2 = 1,2-3,0$ мм; $x_3 = 0,6-1,8$ мм.



Фиг. 9.5. Схема проверки зазоров в узле турбины.

Узел турбины собирается на базе насоса горючего с использованием сборочной подставки, предназначенной для сборки насоса.

Последовательность сборки узла следующая:

- а) установка корпуса турбины и его крепление к корпусу насоса горючего;
- б) постановка рабочего колеса с сегментами направляющего аппарата и регулировка зазоров;

в) постановка крышки корпуса турбины и регулировка зазоров;

г) постановка упругой муфты.

Сборка турбины производится по операционным картам, имеющимся на рабочем месте. Характерные особенности выполнения техпроцесса сборки узла таковы:

1. Правильность крепления корпуса турбины контролируется путем проверки торцевого биения по плоскости соединения корпуса с крышкой относительно оси вращения ротора. Допустимая величина торцевого биения не более 0.2 мм.

2. Биение поверхности N сегментов направляющего аппарата проверяется индикатором при предварительной постановке сегментов на корпус турбины. В случае повышенного биения производится подбор сегментов.

3. В процессе сборки узла контроль осевых зазоров x_1 , x_2 и x_3 производится путем замера размеров по схеме фиг. 9.5 с последующим подсчетом по формулам, составленным на основе уравнений сборочных размерных цепей, т. е.

$$\begin{aligned}x_1 &= c + d - b, \\x_2 &= b - m - e, \\x_3 &= a - (m + n + r) - x_2.\end{aligned}$$

Значения букв, входящих в формулы, показаны на схеме фиг. 9.5. Обеспечение осевых зазоров в пределах ТУ производится путем изменения размеров компенсирующих звеньев.

4. Качество сборки узла турбины совместно с насосом горючего дополнительно проверяется путем проверки вращения ротора. При проворачивании ротора от руки за упругую муфту вращение должно быть плавным, без заеданий и шума.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе должны быть указаны:

1. Все полученные данные фактических величин посадок, осевых и радиальных зазоров, биений поверхностей, полученных при сборке насосов и узла турбины.

2. Заключение о возможных причинах отклонений фактических величин (зазоров, биений) от заданных по техническим условиям.

3. Все применяемые в лабораторной работе методы достижения заданной точности сборки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **В. Н. Беликов, А. Н. Никитин.** Сборка авиационных двигателей. «Машиностроение». 1964.
 2. **В. Н. Беликов, А. Н. Никитин, М. Е. Левит.** Руководство к лабораторным работам по курсу «Технология двигателей летательных аппаратов», раздел «Сборка двигателей», МАИ, 1962.
 3. **И. А. Биргер.** Расчет резьбовых соединений. Оборонгиз, 1959.
 4. **В. А. Захаров.** Суммирование погрешностей взаимного расположения цилиндрических поверхностей при сборке узлов авиадвигателей. Труды КуАИ, выпуск XXVII, 1967.
 5. **В. А. Ланис, Л. Е. Левина.** Техника вакуумных испытаний, Госвергониздат, 1963.
 6. **М. П. Новиков.** Основы технологии сборки машин и механизмов. Машгиз, 1962.
 7. **М. П. Новиков.** Основы конструирования сборочных приспособлений. Машгиз, 1960.
 8. **Г. Б. Сиярев, М. В. Добровольский.** Жидкостные ракетные двигатели. Оборонгиз, 1957.
 9. **И. Г. Старостин.** Исследование методов затяжки резьбовых соединений. Диссертация. МАИ, 1959.
 10. **А. С. Шевелев, Г. П. Федорченко.** К определению точности центрирования деталей при сборке. ИВУЗ, серия «Машиностроение», № 12, 1962.
-

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие	2
Общие указания	3
Инструкция по технике безопасности для работающих в лаборатории сборки авиадвигателей	3
Работа № 1. Построение технологического процесса сборки компрессора АК-150	6
Работа № 2. Определение точности центрирования при сборке узлов	15
Работа № 3. Методы затяжки резьбовых соединений	29
Работа № 4. Сборка зубчатых передач в узле коробки приводов	42
Работа № 5. Уравновешивание ротора двигателя	54
Работа № 6. Анализ методов проверки герметичности соединений при пневмоиспытаниях	64
Работа № 7. Сборка узла компрессора центробежного типа	75
Работа № 8. Сборка узла редуктора турбостартера	87
Работа № 9. Сборка турбонасосного агрегата двигателя V-2	95
Л и т е р а т у р а	106

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ
«ТЕХНОЛОГИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»**

Редактор — И. С. Кольшева

Технический редактор — Н. М. Земскова

Корректор — А. И. Кондратьева

Сдан в набор 23.VIII.1967 г. Подписан в печать 11.III.1968 г.

ЕО05555. Формат 60 × 84¹/₁₆. Объем 6,75 печ. л. Тираж 500 экз.
Цена 30 коп.

Куйбышевский авиационный институт им. С. П. Королева,
типография УЭЗ, г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151. Заказ № 654.