ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ «КЕРЧЕНСКИЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ЛЕКЦИИ

по МДК.01.01 «Основы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судового энергетического оборудования»
Раздел 2. Техническая эксплуатация главных энергетических установок судна
для обучающихся специальности
26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок

на тему: «Коленчатые валы»

Керчь
2022 г.

Организация-разработчик: ГБП ОУ РК «КМТК»

Разработчик: Мочалов Юрий Геннадьевич, преподаватель ГБП ОУ РК «КМТК»

РАССМОТРЕНО и ОДОБРЕНО на заседании
МЦК судового электрооборудования
и судомеханических дисциплин
Протокол № 1 от «08» сентября 2022 г.
Председатель МЦК _____ Ю.Г. Мочалов

Рекомендовано к использованию на заседании
Методического совета ГБП ОУ РК «КМТК»
Протокол № _1_ от «09» сентября 2022 г.
Председатель МС _____ Е.Н. Сайко

Место дисциплины в структуре основной образовательной программы:

Раздел 2. Техническая эксплуатация главных энергетических установок судна является составной частью МДК.01.01 «Основы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судового энергетического оборудования» основной образовательной программы в соответствии с ФГОС СПО и требованиям МК ПДНВ-78 по специальности 26.02.05 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

Особое значение данный Раздел имеет при формировании и развитии ПК 1.1

ОК 1, ОК 2, ОК 3, ОК 4, ОК 5, ОК 6, ОК 7, ОК 9, ОК 10. К-4, К-5, К-9, К-10.

Лекция № 17.
Коленчатые валы.

Тема: Коленчатые валы.

Цель: Изучить устройство, принцип действия судовых устройств.

Задачи:

Познавательные: Техническая эксплуатация и ремонт судовых главных и вспомогательных механизмов, а также связанных с ними систем управления механизмов и устройств.

Развивающие: Понимать общий смысл чётко произнесённых высказываний на известные темы (профессиональные и бытовые), понимать тексты на базовые профессиональные темы; научить применять имеющиеся знания в судовых условиях.

Воспитательные: Воспитывать самостоятельность в принятии решений; совершенствовать навыки общения; содействовать воспитанию активности.

Учебное оборудование: Аудитория, укомплектованная учебной мебелью, магнитной доской, интерактивной доской и видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения.

К группе коленчатого вала относятся сам коленчатый вал, система противовесов, шестерни или звездочки приводов газораспределения и вспомогательных механизмов, демпфер крутильных колебаний и маховик.

Коленчатый вал - служит для преобразования поступательного движения поршней во вращательное и для передачи механической энергии ее потребителям. Это одна из наиболее ответственных, дорогих и сложных в изготовлении деталей. Необходимость замены или ремонта коленчатого вала сопряжена с большими трудностями, поэтому необходимость проведения такой операции для МОД и некоторых СОД определяет ресурс двигателя (до подъема вала) который у СОД составляет 50...100 тыс. часов, а у МОД 100...200 тыс. часов. Такой ресурс вполне сопоставим с полным сроком службы самого судна. Для ВОД выемка вала не такая затруднительная операция, поэтому она производится каждые 20.50 тыс. часов.

Конструктивно коленчатый вал состоит из коренных (рамовых) и шатунных (мотылевых) шеек, которые соединяются с помощью щек. Название элементов коленчатого вала, приведенное в скобках более характерно для МОД, которые унаследовали эти названия от паровых машин.

Коренные шейки располагаются вдоль оси вращения вала и опираются на рамовые подшипники. Крайние шейки делают удлиненными, располагая на выступающих из подшипника частях гребни для упорных подшипников, посадочные поверхности для шестерен или звездочек привода вспомогательных механизмов, фланец для крепления маховика [Рисунок 3.21].

Коленчатые валы МОД с числом цилиндров от четырех до восьми выполняются в виде одной секции. При большем числе цилиндров вал делают состоящим из двух секций соединяющихся между собой с помощью фланцев. При этом звездочки или шестерни привода вспомогательных механизмов и распределительного вала размешают в центральной части двигателя.

Коленчатые валы современных средне- и высокооборотных двигателей обычно из-

готавливают цельными из заготовки полученной методом поковки или литья.

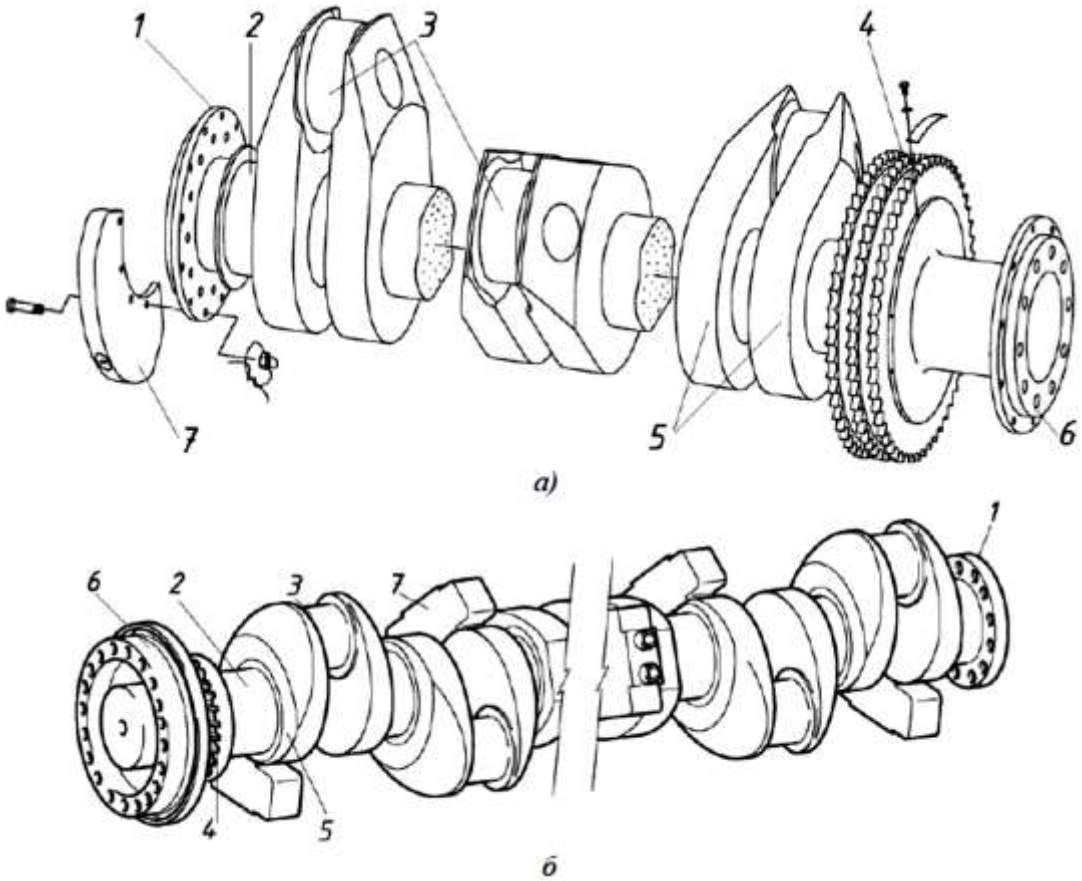

Рисунок 3.21 – Коленчатые валы судовых ДВС:

а - двухтактного МОД К98МС фирмы MAN;

б - четырехтактного СОД TBD 645 фирмы DEUTZ MWM;

1 - фланец привода вспомогательных механизмов;

2 - рамовая (коренная) шейка;

3 - мотылевая (шатунная) шейка;

4 - звездочка (шестерня) привода газораспределительного и вспомогательных механизмов;

5 - щека коленчатого вала;

6 - фланец для крепления маховика;

7 - противовесы

Шатунные шейки в продольной плоскости смещены от оси вращения коленчатого вала на величину равную половине хода поршня, которая называется радиусом кривошипа. В плоскости вращения шатунные шейки смещены относительно друг друга на угол называемый углом заклинки кривошипа φзак.

Для двухтактных двигателей этот угол обычно равен: φзак =360/ i ,

- для четырехтактных: φзак =720/ i

где *i* - число цилиндров двигателя.

В ряде случаев, для обеспечения высокой уравновешенности двигателя используют другие углы заклинки кривошипа, а у некоторых V-образных двигателей следование вспышек может происходить через не одинаковые угловые промежутки.

В МОД коренные и шатунные шейки обычно имеют одинаковый диаметр. У СОД и ВОД для обеспечения возможности демонтажа шатуна через втулку цилиндра в ряде случаев диаметр шатунной шейки уменьшают по отношению к диаметру коренной шейки.

Во избежание перегрузки коренных подшипников, при выборе порядка работы цилиндров стараются избегать последовательных вспышек в соседних цилиндрах.

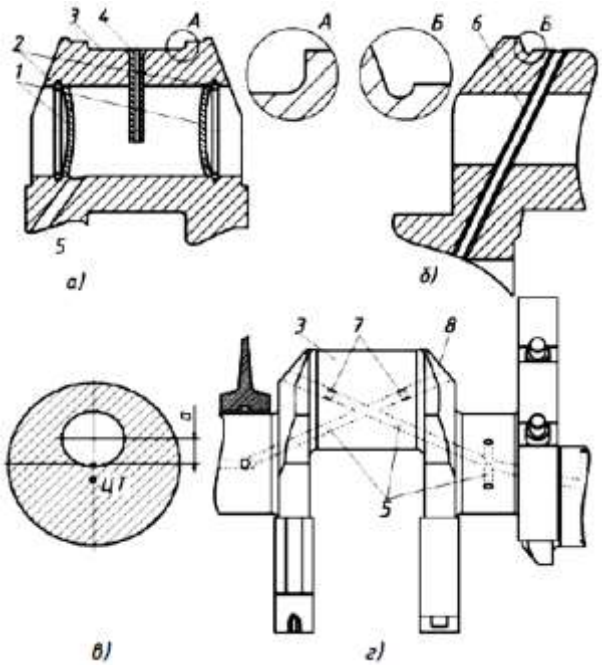

Рисунок 3.22 – Конструкция шатунных шеек коленчатого вала:

а - с полостью для сепарирования масла;

б - с подводом масла по отдельной трубке;

е - эксцентричное расположение внутренней полости;

г - сплошная шейка с наклонными сверлениями.

1 - заглушки полости шатунной шейки;

2 - стопора;

3 - шатунная шейка;

4 - трубка масляного колодца;

5 - маслоподводящий канал;

6 - маслоподводящая трубка;

7 - технологическая заглушка масляного канала;

8 - скругления щеки

Когда позволяют условия прочности, для уменьшения массы шатунных шеек, их изготавливают пустотелыми. Внутреннюю полость, часто выполняют эксцентрично, смещая ось сверления вверх относительно оси самой шейки, на величину *а* [Рисунок 3.22,*е*]. Это позволяет сместить центр тяжести *(ЦТ)* шейки ближе к оси вращения, уменьшив тем самым создаваемую ею центробежную силу. Учитывая, что сталь, и тем более чугун гораздо лучше работают на сжатие чем на растяжение, эксцентричное расположение полости позволяет в момент наибольшей нагрузки на шейку, растягивающие силы распределить по большей площади сечения, а сжимающие по меньшей. В результате жесткость шейки возрастает.

Полость в шейке, может быть использована для дополнительной сепарации масла поступающего на смазку шатунных подшипников [Рисунок 3.22,*а*]. Для этого в торцах сверлений устанавливаются заглушки, а в смазочное отверстие заделывают трубку, называемую масляным колодцем, которая входит во внутреннюю полость примерно до уровня оси шейки. При вращении вала, на механические примеси находящиеся в масле действуют центробежные силы, которые отбрасывают их к периферии, где они и оседают на поверхности внутренней полости шейки, а в трубку поступает очищенное масло. Основным недостатком рассмотренной выше схемы является то, что при пуске двигателя внутренние полости долго заполняются маслом, и все это время оно практически не поступает к шатунным подшипникам. По этой причине в ряде конструкций масло напрямую подводится к подшипнику через внутреннюю полость шейки по специально запрессованной бронзовой трубке [Рисунок 3.22, *б*].

На большинстве современных двигателей с высоким уровнем форсирования рабочего процесса, исходя из условий прочности шейки коленчатых валов изготавливают сплошными, предусматривая в них только сверления для подвода масла к шатунным подшипникам [Рисунок 3.32, *г*].

У СОД и ВОД подвод масла к подшипникам шатуна осуществляется от коренных шеек по специальным наклонным и радиальным сверлениям. Отверстия для выхода масла скругляют с целью предотвращения концентрации напряжений, в остальные отверстия устанавливаются технологические заглушки [Рисунок 3.22, *г*].

У МОД масло на смазку мотылевого подшипника поступает через сверление в шатуне от маслораспределительной системы главного соединения, куда оно подводится от циркуляционной системы смазки двигателя. Такое решение позволяет отказаться от сверлений в мотылевых шейках ослабляющих их конструкцию.

Щеки коленчатого вала соединяют между собой коренные и шатунные шейки. Размеры и форма щеки должны обеспечивать необходимую прочность и жесткость коленчатого вала. Форма щеки в значительной степени зависит от способа изготовления вала, она может быть овальной, круглой, прямоугольной со скругленными краями и т.д. В соответствии с эпюрой распределения нагрузок, со щек снимают часть метала, там, где это не сказывается на их жесткости и прочности (рис. 3.22в). В результате добиваются не только уменьшения веса вала, но и снижения неуравновешенных масс вращающихся частей.

У двигателей с умеренной длинноходностью, при выборе диаметров шеек, стараются обеспечить их перекрытие [Рисунок 3.22, *в*], исходя из условия:

$0{,}5\ (d_к + d_ш) > r$,

где $d_к$; $d_ш$ - диаметр коренной и шатунной шейки соответственно;

r - радиус кривошипа.

Это позволяет повысить прочность и жесткость вала, или дает возможность уменьшить размеры щек без снижения прочности и жесткости.

Коленчатые валы мощных малооборотных судовых дизелей обычно выполняют составными или полусоставными. Отдельные детали такого вала соединяются между собой с помощью горячей или холодной прессовой посадки с натягом. Иногда детали между собой свариваются. Отдельные элементы полусоставного коленчатого вала современного малооборотного двигателя показаны на рисунок 3.23.

Основным элементом такого вала являются кривошип, состоящий из двух щек соединенных цилиндрической перемычкой выполняющей роль мотылевой шейки.

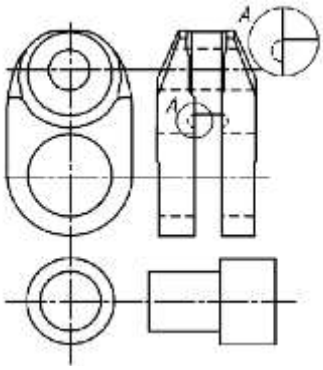

Рисунок 3.23 – Основные элементы полусоставного коленчатого вала малооборотного дизеля K98MC фирмы MAN

Кривошипы между собой соединяются с помощью цилиндрических элементов, выполняющих функции рамовых шеек. При этом геометрия щек должна обеспечивать их надежное обжатие.

Переходы между отдельными элементами вала выполняют плавными в виде скруглений, называемых галтелями [Рисунок 3.22,*а*]. В некоторых конструкциях, для уменьшения концентрации напряжении, сопряжение шейки со щекой выполняют двумя радиусами. Для этого галтели делают утопленными в шейку вала [Рисунок 3.22, *б*] или в щеку [Рисунок 3.23]. В последнем случае удается увеличить опорную поверхность шатунной

шейки.

Противовесы служат для разгрузки коренных подшипников от центробежных сил инерции и создаваемых ими моментов, возникающих в результате вращения неуравновешенных масс кривошипов. Их размещают на обратной стороне щек.

К щекам противовесы чаще всего крепят болтами или шпильками, для разгрузки которых от срезающей силы применяют различного рода замки, штифты или шпонки. Для небольших коленчатых валов противовесы изготавливают как одно целое со щеками.

Чтобы уменьшить массу противовеса его центр тяжести располагают как можно дальше от оси вала. У ВОД противовесы крайнего кривошипа иногда выполняют функции гасителя крутильных колебаний.

На кормовом конце коленчатого вала имеется фланец крепления маховика, который выполняется как одно целое с валом или отдельно напрессовывается на него [Рисунок 3.24].

Свободный конец вала используют обычно для монтажа шестерни привода навешанных на дизель насосов (масляного, водяного, топливоподкачивающего) и других вспомогательных механизмов.

Для предотвращения утечек масла выходы коленчатого вала из полости картера уплотняются [Рисунок 3.24]. Для этой цели применяют резинометаллические сальники, асбестоволоконную набивку, маслосъемные кольца, маслосгонную резьбу и др. Чтобы уменьшить попадание масла на уплотнительные элементы, перед ними со стороны картера устанавливают маслоотбойные шайбы.

Для изготовления коленчатых валов применяют наиболее качественные легированные стали, реже - модифицированные чугуны с шаровидным графитом.

Для упрочнения рабочих поверхностей элементов коленчатого вала широко применяют закалку шеек и галтелей вала токами высокой частоты с последующим низкотемпературным отпуском. Значительное повышение ресурса коленчатых валов достигается за счет азотирования, при котором усталостная прочность увеличивается в 1,5...2 раза, а износостойкость шеек возрастает более чем на 20%.

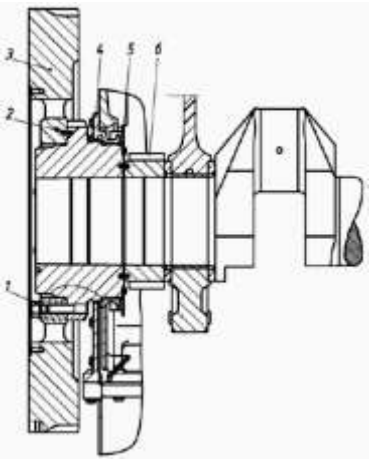

Рисунок 3.24 – Крепление маховика к коленчатому валу двигателя:

1 - болты крепления маховика;
2 - установочный штифт;
3 - маховик;
4 - фланец уплотнения вала;
5 - маслоотбойная шайба;
9 - шестерня привода вспомогательных механизмов

Маховик служит для сглаживания неравномерностей крутящего момента и представляет собой плоский диск большой массы. Во время рабочего хода поршня маховик накапливает механическую энергию, а во время нерабочих ходов отдает ее, тем самым, уменьшая колебания угловой скорости коленчатого вала. У многоцилиндровых двигателей вспомогательные ходы совершаются за счет рабочих ходов в соседних цилиндрах, по-

этому необходимость в массивном маховике у таких двигателей отпадает. В этом случае на коленчатом валу крепят только шестерню для валоповоротного устройства.

К кормовому фланцу коленчатого вала маховик обычно крепится с помощью болтов. Положение маховика фиксируется установочными штифтами, расположенными несимметрично, чтобы исключить возможность его неправильной установки. Кроме того, штифты разгружают болты крепления маховика от срезающих усилий.

На ободе маховика размещается зубчатый венец, который входит в зацепление с валоповоротным устройством, используемым для проворачивания вала двигателя во время технического обслуживания и ремонта. У ВОД небольшой мощности, венец маховика используется во время пуска для прокручивания двигателя с помощью электрического или пневматического стартера.

На цилиндрическую поверхность маховика и наносятся отметки ВМТ всех цилиндров и угловая шкала для проверки фаз газораспределения и топливоподачи [Рисунок 3.25]. У дизель-генераторов маховик используется для соединения двигателя с муфтой генератора.

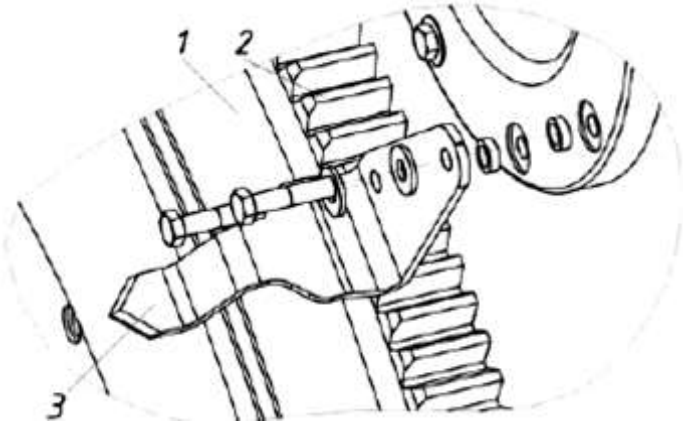

Рисунок 3.25 – Отметчик шкалы маховика:

1 - маховик;
2 - зубчатый венец;
3 - отметчик шкалы

Во время работы, коленчатый вал, воспринимает переменные по величине и направлению силы, возникающие в результате давления газов на поршень, силы инерции возвратно-поступательно и вращательно движущихся масс, моменты создаваемые этими силами. Под действием всех перечисленных факторов вал подвергается деформациям изгиба и кручения. Периодические знакопеременные относительные угловые смешения элементов коленчатого вала, происходящие под действием переменных по времени и сдвинутых по фазе крутящих моментов на отдельных кривошипах, называются *крутильными.* Наибольшую опасность для коленчатого вала представляют резонансные колебания, то есть когда вынужденные колебания вала совпадают с его собственными колебаниями. Частоты вращения коленчатого вала, при которых наступает резонанс, называются *критическими.*

Кроме крутильных колебаний, под действием возмущающих факторов вал совершает осевые колебания, которые могут нарушить нормальную работу приводов вспомогательных механизмов.

Для борьбы с различными видами колебаний коленчатого вала на нем устанавливают специальные устройства называемые гасителями или демпферами. Они устраняют эти колебания или значительно снижающие их амплитуду.

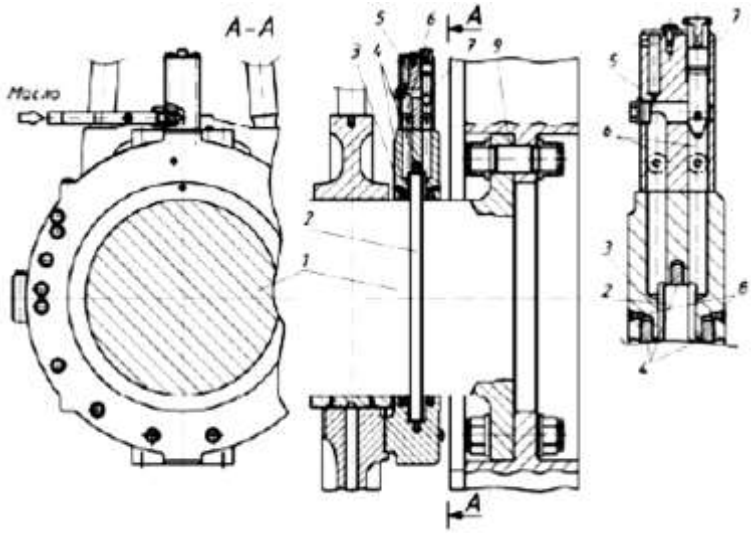

Рисунок 3.26 – Демпфер осевых колебаний коленчатого вала малооборотного двигателя RTA 72U:

1 - шейка коленчатого вала двигателя;
2 - кольцевой выступ;
3 - гидравлическая камера;
4 - уплотнения гидравлических полостей;
5 - дроссельное устройство;
6 - П- образный канал;
7 - коническое запорное устройство;
8 - дренажные отверстия для слива масла;
9 - фланец крепления демпфера крутильных колебаний

Демпфер осевых колебаний обычно устанавливают на свободном конце коленчатого вала. Пример конструкции такого демпфера для малооборотного судового двигателя показан на рисунке 3.26.

На шейке вала выполнен кольцевой выступ, играющий роль гидравлического поршня. С обеих сторон от выступа размещается гидравлическая камера, состоящая из двух половин и прикрепленная к торцу остова дизеля. Выступ делит объем камеры на две полости, в которые по специальным каналам поступает масло из системы смазки дизеля. Для уплотнения полостей в корпусе гидравлической камеры установлены три кольцевых уплотнения, два уплотняют зазоры между камерой и валом и одно зазор между выступом и камерой. При работе двигателя осевые колебания вала вызывают перемещения выступа. При этом масло вытесняется из одной полости в другую через П-образный канал, в котором установлен регулируемый дроссель с конусным запорным устройством. Необходимая энергия демпфирования создается вследствие гидравлического сопротивления при перетекании масла через зазор в дросселе. Положение конусного затвора может регулироваться, что позволяет изменять характеристики работы демпфера. Для отвода теплоты, выделяющейся при работе демпфера, предусмотрена непрерывная циркуляция - масло постоянно сливается через дренажные отверстия в корпусе камеры. Диаметр отверстии относительно не велик и они не оказывают влияния на работу устройства.

Гасители крутильных колебаний используются для снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатого вала. Обычно они устанавливаются на свободном конце коленчатого, реже распределительного вала. Их наличие создает благоприятные условия для работы, как самого коленчатого вала, так и для работы приводов вспомогательных механизмов, обеспечивая постоянство угловой скорости.

По способу воздействия на систему коленчатого вала гасители делятся на антивибраторы и демпферы крутильных колебаний.

Антивибраторы работают без поглощения колебательной энергии системы.

Наиболее распространенными являются маятниковые антивибраторы с бифилярным подвесом маятников. Они работают по принципу «расстройки» резонансной системы вала, поэтому эффективны только в узком диапазоне частот вращения двигателя. На остальных режимах они малоэффективны. По этой причине антивибраторы находят применение в двигателях дизель-генераторных установок, работающих на постоянном скоростном режиме.

Демпферы представляют собой гасители с частичным поглощением и последующим рассеиванием в окружающую среду энергии крутильных колебаний.

Поглощение энергии колебаний осуществляется та счет увеличения сухого трения в системе (гасители сухого трения), либо за счет жидкостного трения (гасители жидкостного трения), либо за счет внутримолекулярного трения в материале упругого элемента (резиновые гасители). Демпферы эффективно уменьшают амплитуды крутильных колебаний в широком диапазоне частот вращения двигателя, включая и резонансную. Поэтому демпферы нашли широкое применение на современных судовых дизелях.

На МОД и крупных СОД находят применение жидкостные гасители вибраций, на СОД и ВОД, гасители сухого трения, на ВОД относительно небольшой мощности иногда применяют резиновые гасители.

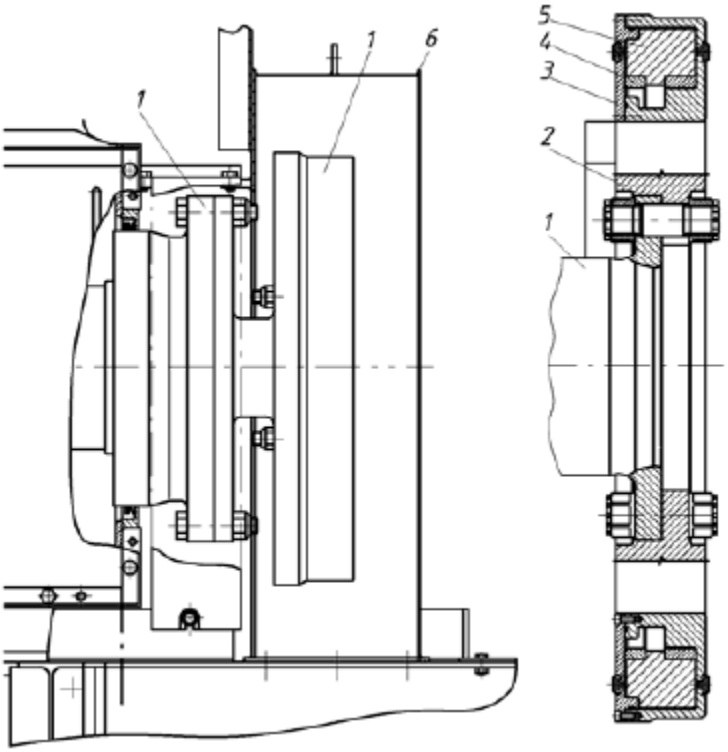

Рисунок 3.27 – Жидкостный демпфер крутильных колебаний:

1 - фланец вала;
2 - корпус демпфера;
3 - крышка корпуса;
4 - втулка маховика;
5 - маховик;
6 - защитный кожух

Демпфер жидкостного трения представляет собой кольцевой корпус, крепящийся к фланцу на свободном конце коленчатого или распределительного вала [Рисунок 3.27]. В корпусе размещается массивный кольцевой маховик, свободно вращающийся относительно корпуса.

Зазоры между корпусом и маховиком заполнены специальной силиконовой жидкостью, обладающей высокой вязкостью.

При вращении, корпус маховика совершает вместе с коленчатым валом колебательные движения, в то время как механически не связанный с корпусом маховик, за счет

сил инерции, стремится сохранить постоянную угловую скорость. При возникновении разности скоростей корпуса и маховика, в жидкости возникает трение между слоями, при котором энергия крутильных колебаний преобразуется в тепловую энергию. При этом амплитуда колебаний значительно уменьшается.

Для эффективного отвода теплоты от корпуса демпфера его обычно располагают за пределами картера двигателя.

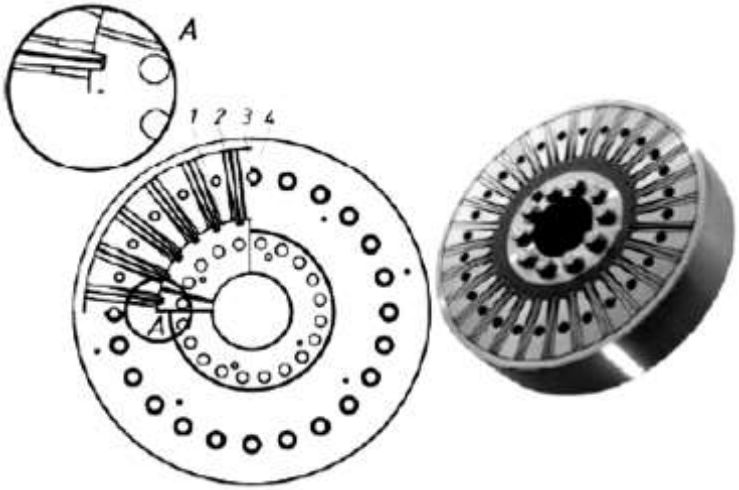

Рисунок 3.28 – Демпфер крутильных колебаний сухого трения:
1 - ступица коленчатого вала;
2 - плоские пружины;
3 - сегменты статора;
4 - крышка корпуса

Демпфер сухого трения состоит из ступицы, жестко закрепляемой на коленчатом или распределительном валу двигателя. На ступицу надевается наборный статор, который состоит из корпуса, клиновидных сегментов и зажатых между ними плоских парных пружин [Рисунок 2.38]. Пружины имеют пологие скосы, концами которых они входят в прорези на ступице. Клиновидные сегменты после сборки жестко соединяются с корпусом и крышкой, образуя маховик, упруго связанный со ступицей.

Крутильные колебания вала приводят к относительному перемещению ступицы и маховика, что вызывает упругие деформации пружин. При этом энергия крутильных колебаний затрачивается на преодоление сил упругости пружин, а амплитуда крутильных колебаний уменьшается.

Вопросы для самоконтроля:

1 Как подразделяется двигатель на его составные части?
2 Из каких частей и конструктивных элементов состоит рабочий цилиндр?
3 Для чего служат крышки рабочих цилиндров?
4 Укажите назначение и назовите конструктивные элемент поршня.
5 Для чего служат поршневые кольца?
6 На чем основано уплотняющее действие поршневых колец?
7 Чем вызывается необходимость применения маслосъемных колец?
8 Как подразделяются шатунные и рамовые подшипники?
9 Для чего служат анкерные связи?
10 Как располагаются мотыли коленчатого вала?
11 Для чего служат маховики?
12 Назовите марки материалов, из которых изготавливаются основные детали двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Захаров Г.В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Учебник / Г.В. Захаров. –М.: ТрансЛит, 2012. – 256 с., ил.

2 Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том 1 / И.В Возницкий. –М.: Моркнига, 2008. – 282 с.

3 Соловьев Е. М. Пособие механика крупнотоннажного промыслового судна. 2-е изд., перераб. и доп / Е. М. Соловьев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.

4 Вешкельский С.А. Справочник судового дизелиста. Вопросы и ответы / С.А. Вешкельский. – Л.: Судостроение, 1990. –368 с.: ил.

5 Возницкий И.В. Топливная аппаратура судовых дизелей / И.В Возницкий. Издательство ООО «Моркнига» 2007.

6 Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели Учебное пособие по специальности 2405 ООО «Моркнига» / И.В Возницкий. –С.Петербург: 2006.

7 Возницкий И.В. Современные малооборотные двухтактные двигатели / И.В Возницкий. ООО «Моркнига». –С.Петербург 2007.

8 Возницкий И.В. Судовые дизели и их эксплуатация. Учебник для мореходных училищ / И.В. Возницкий, Е.Г. Михеев. –М.: Транспорт 1990.

9 Камкин С.В. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок / С.В. Камкин, И.В. Возницкий, В.Ф Большаков. –М.: Транспорт, 1996.

Электронные ресурсы:

1 Библиотека технической литературы - http://techlib.org

2 Библиотека технической литературы - http://bamper.info

3 Техническая библиотека - http://techlibrary.ru

4 http://mga-nvr.ru/ Морской сайт для курсантов морских высших учебных заведений, будущих судоводителей и инженеров судомеханических специальностей.

5 http://sealib.com.ua/ Библиотека судовой литературы.