

Механические нагрузки

Во время работы двигателя его узлы и детали испытывают механические нагрузки, вызываемые главным образом силами давления газов в цилиндрах, силами инерции поступательно движущихся и вращающихся масс (центробежных сил). Дополнительные нагрузки возникают при монтаже деталей, а также при деформациях фундаментной рамы, возникающих при ослаблении и нарушении ее посадки на судовом фундаменте и, в ряде случаев, при деформациях корпуса судна при его неправильной загрузке и при сильном волнении моря.

Сила давления газов действует в рабочих цилиндрах и нагружает поршни, втулки цилиндров и крышки, стремясь их разорвать по образующей, вызывая в них напряжения изгиба. В течение рабочего цикла сила меняет свою величину и может быть определена по индикаторной диаграмме или расчетом. На рис. 2.1 приведены развернутые по углу поворота вала кривые сил давления газов P_2 и сил инерции поступательно движущихся масс P_j для 4-тактного (а) и 2-тактного (б) двигателей.

Механические нагрузки главным образом вызываются действием сил давления газов P_2 , сил инерции поступательно движущихся масс P_j и центробежных сил инерции вращающихся масс P_u (рис. 2.2).

Силы тяжести деталей, давления наддувочного воздуха в подпоршневой полости и силы трения относительно невелики, и их влиянием можно пренебречь.

Действующая на поршень сила $+P_2$ направлена вниз и совместно с силами инерции нагружает сам поршень. Сила P_2 , действующая на крышку цилиндра, стремится ее изогнуть,

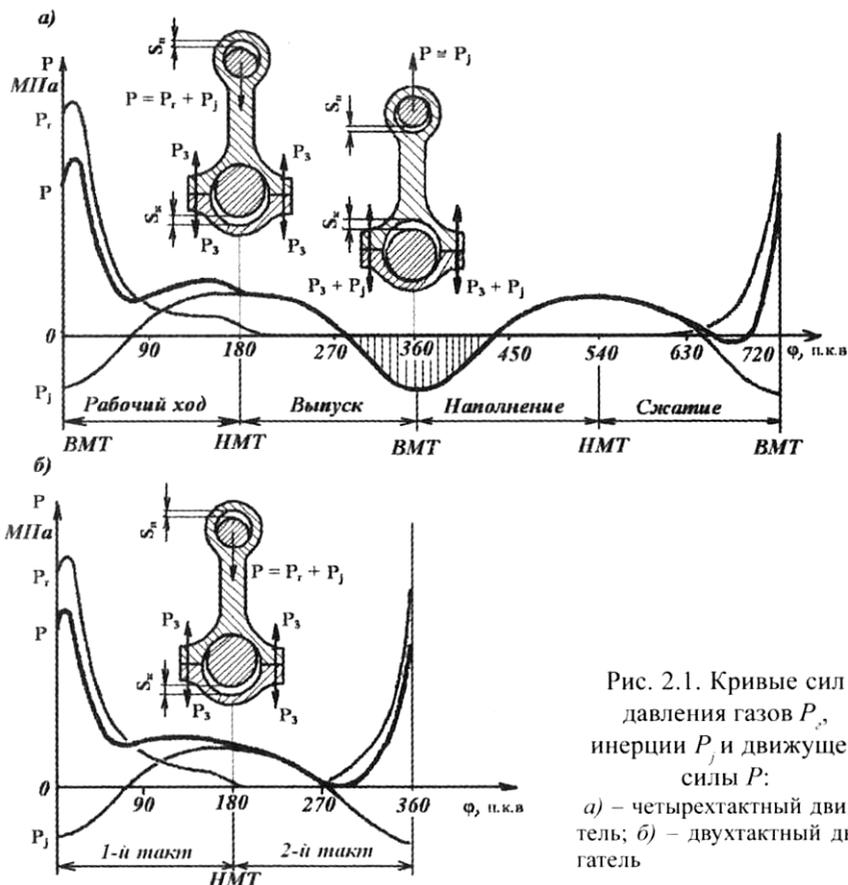


Рис. 2.1. Кривые сил давления газов P_g , инерции P_j и движущей силы P :
 а) – четырехтактный двигатель; б) – двухтактный двигатель

разорвать шпильки ее крепления к блоку цилиндров, шпильки крепления блока к станине и станины к фундаментной раме. При отсутствии анкерных связей сила P_2 создает в перечисленных элементах напряжения растяжения.

Силы $+P_2$ и $-P_2$ равны по величине и взаимно уравновешиваются (замыкаются внутри остова). Поэтому, действуя внутри остова, эти силы на судовой фундамент не передаются.

Сила инерции поступательно движущихся масс, представляющая собой произведение массы деталей поршневой группы и верхней части шатуна M_{Γ} на ускорение движения поршня a : $P_j = -M_{\Gamma}a$.

Сила инерции, как и сила давления газов, действует в направлении оси цилиндра (см. рис. 2.1а). Сила инерции так же, как и сила давления газов по ходу поршня, меняет свою величину и достигает максимумов в мертвых точках поршня, так как

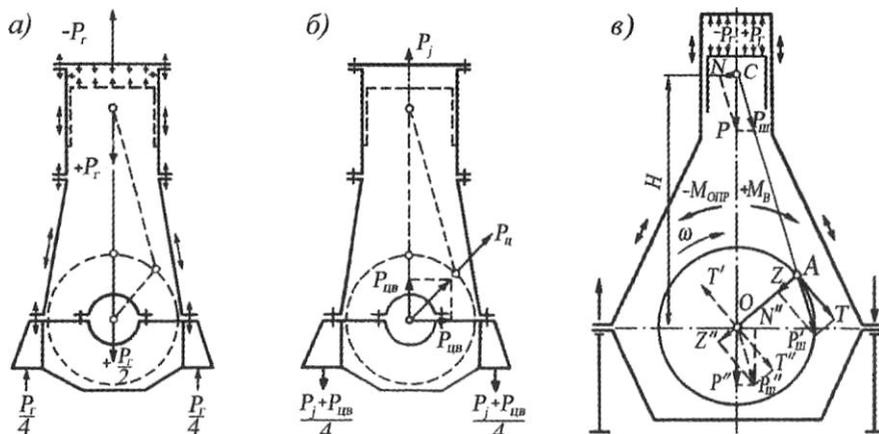


Рис. 2.2. Механические нагрузки на детали двигателя

именно в этих точках скорости поршня равны нулю, а ускорения - максимальны.

На первой половине хода поршня от ВМТ к НМТ сила P_j направлена вверх и препятствует движению поршня (в этот период работа силы инерции отрицательна), а на второй половине хода поршня сила инерции положительна (направлена вниз) и таким образом способствует движению поршня.

Предварительно условимся, что силы, способствующие движению поршня вниз, принимаем положительными и на диаграмме от оси абсцисс они откладываются вверх, силы, препятствующие движению поршня, отрицательны и откладываются вниз (см. рис. 2.1).

При отрицательном направлении сил инерции (вверх) они нагружают шатунные болты, вызывая в них растягивающие напряжения, которые при превышении оборотов сверх номинальных или ослаблении затяга болтов могут привести к их разрыву и аварии с весьма тяжелыми последствиями.

Сложение сил, приведенных к площади поршня, дает суммарную силу P

$$P = P_e + P_j;$$

ее изменение иллюстрируется на рис. 2.1а.

Суммарная сила P может быть разложена на две составляющие (см. рис. 2.2е) - на силу $P_{ш}$, направленную вдоль шатуна, и силу нормальную N , направленную перпендикулярно оси цилиндра. Нормальная сила прижимает поршень к втулке цилиндра, а в 2-тактных крейцкопфных двигателях - ползун к параллелям. Нормальная сила вызывает перекадку поршня в цилиндре, и при большом износе ЦПГ появляются глухие стуки.

В свою очередь, сила $P_{ш}$ может быть перенесена вдоль шатуна в центр кривошипного (мотылевого) подшипника и разложена на две составляющие - перпендикулярную к радиусу кривошипа (мотыля) - тангенциальную силу T и направленную вдоль щеки вала - силу Z . Тангенциальная сила T создает **крутящий момент**

$$M_{кр} = T R,$$

а пара сил N и N' , на плече H , создают равный ему, но противоположно направленный реактивный момент M , который называется **опрокидывающим моментом**, т. к. он, будучи приложенным к опорам двигателя, стремится опрокинуть двигатель в сторону, противоположную направлению вращения вала. Под действием крутящего момента в коленчатом валу возникают напряжения скручивания.

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$P_{ц} = M_{сп} r \omega^2 \quad (2),$$

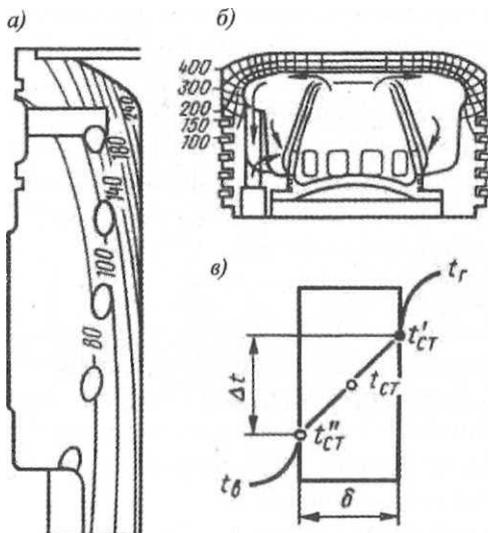
где $M_{сп}$ - масса вращающихся частей, в которые входят ориентировочно 0,6 массы шатуна, масса кривошипной шейки коленчатого вала и примерно по половине масс щек вала.

Центробежная сила приложена к центру кривошипного соединения (см. рис. 2.2б) и может быть разложена на вертикальную и горизонтальные составляющие $P_{цв}$ и $P_{цг}$. Центробежная сила направлена по радиусу кривошипа от центра вала и не меняет свою величину, если обороты остаются неизменными. Силы инерции действуют в пределах каждого цилиндра и создают моменты, определяемые как произведение силы на расстояние от оси цилиндра до центра масс двигателя.

Эти моменты, даже если они в пределах двигателя уравновешены, совместно с силой давления газов нагружают элементы остова и вызывают его деформации

§ 2.2. Термические нагрузки

Детали цилиндро-поршневой группы, образующие камеру сгорания, помимо механических нагрузок испытывают еще и действие высоких температур газов.



Воспринимаемый поршнем, втулкой цилиндра и крышкой поток теплоты отводится через их стенки в охлаждающую воду или масло. Процессу теплоотвода препятствуют термические сопротивления металла стенок. Вследствие

неодинаковых условий подвода тепла от газов к разным участкам втулки, поршня и крышки, различия в условиях охлаждения и термических сопротивлений температуры по поверхностям и толщинам стенок этих деталей распределяются неравномерно (см. рис. 2.3а, 2.3б и рис. 2.4). При этом, чем больше тепловой поток, приходящийся на единицу поверхности стенки q , больше теплопередающая толщина стенки δ и меньше коэффициент теплопроводности материала стенки λ , тем больше перепад температур по толщине стенки Δt

$$\Delta t = q\delta/\lambda$$

и тем неравномернее распределяются температуры по поверхности и объему детали.

На рис. 2.3в представлен участок теплопередающей стенки, здесь: t'_{ct} - температура стенки со стороны газов, t''_{ct} -

температура со стороны охлаждения и t_{cm} - средняя температура стенки по толщине.

Наличие перепадов температур $\Delta t = t'_{cm} - t''_{cm}$ вызывает появление в деталях термических напряжений σ_t , которые совместно с напряжениями от механических нагрузок определяют их общее напряженное состояние.

Термические напряжения рассчитываются по формуле:

$$\sigma_t = A \cdot \Delta t = A \cdot q \cdot \delta / \lambda$$

где A - постоянная, характеризующая физические свойства материала.

Из уравнения следует, что термические напряжения пропорциональны перепаду температур в стенке и увеличиваются с ростом удельного теплового потока (увеличением количества сгорающего в цилиндрах топлива), толщины стенки, и уменьшаются с ростом коэффициента

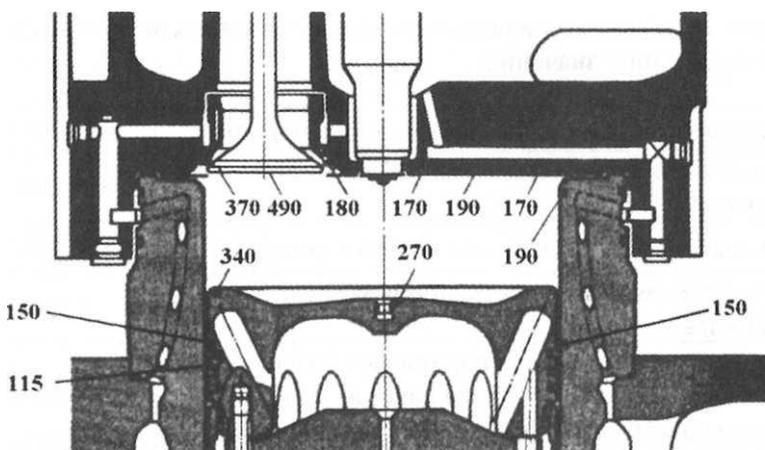


Рис. 2.4. Распределение температур по поверхностям деталей ЦПГ 4-тактного двигателя Z40

теплопередачи.

Физическая сущность возникновения термических напряжений состоит в следующем. Если медленно и равномерно по объему нагревать свободно лежащий на опорах брус, то будет происходить его свободное удлинение, и термические напряжения в нем не возникают. Если же брус закрепить между

жесткими опорами, то при его нагревании со стороны нагрева более горячие слои металла будут стремиться расшириться относительно более холодных слоев, сопротивляющихся растягивающим усилиям. В результате в горячих слоях возникают напряжения сжатия, а в холодных слоях - напряжения растяжения.

Тепловое состояние деталей ЦПГ определяет их работоспособность и надежность в эксплуатации и обобщается термином **теплонапряженность двигателя**. Это понятие может быть отнесено как к отдельной детали, так и к ее части. Показателями теплонапряженности принято считать температуры стенок деталей и температурные перепады в них.

Работоспособность деталей ЦПГ зависит не только от возникающих в них термических напряжений, но и от максимальных и местных значений температур, так как с увеличением температуры снижаются прочностные свойства металла, создаются условия для интенсивного нагаро- и лакообразования, ухудшаются условия смазки рабочей поверхности цилиндров.

В целях обеспечения надежности двигателей максимальные значения температур теплонапряженных деталей в процессе эксплуатации для применяемых в настоящее время металлов не должны превышать следующих значений:

Огневая поверхность стального днища поршня	420-500°C
Огневая поверхность алюминиевого днища поршня	300-350°C
Огневая поверхность днища крышки цилиндра	350-380°C
Охлаждаемая поверхность днища крышки цилиндра	< 200°C
Поршень в зоне канавок поршневых колец (во избежание интенсивного лако- и нагарообразования и зависания колец)	150-200°C
Зеркало втулки цилиндра (из условия сохранения)	150-200°C

масляной пленки на рабочих поверхностях)	
Посадочная поверхность выпускного клапана	< 500°С

Литература

1. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1. / И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 260 с. Стр 18-24
3. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1. / И.В.Возницкий, – М.:МОРКНИГА, 2007.- 282 с. Стр 19-26
5. Возницкий И. В. Судовые дизели и их эксплуатация / И.В.Возницкий, Е.Г.Михеев – М.:Транспорт, 1990. - 360 с стр 10-15