



Рис. 5 Кривые сил нормальной N , радиальной R , тангенциальной T , T_z , крутящего момента $M(T_z)$, угловой скорости ω

Неравномерность вращения вала

Крутящий момент двигателя, как и составляющие моменты отдельных цилиндров, непостоянен и представляет собой периодическую функцию с периодом изменения, равным углу заклинивания кривошипов $\Delta\alpha$ (см. рис. 5, а, б). Наряду с этим момент, поглощаемый гребным винтом или генератором $M_{п.эн}$, практически постоянен и на установившемся режиме должен быть равен среднему крутящему моменту двигателя $M_{п.эн} = M_{cp}$. На диаграмме $T_z(\alpha)$ (см. рис. 5, а) средняя величина момента M_{cp} представлена в виде прямой, проведенной параллельно оси абсцисс на расстоянии от нее, равном T_{cp} .

Площадь прямоугольника $ABCD$, построенного на базе $0-360^\circ$ п.к.в. с ординатой T_{cp} , будет представлять собой среднюю работу A_{cp} крутящего момента. Если рассматривать изменение момента двигателя $M(T_\Sigma)$ относительно поглощаемого момента $M_{cp}(T_{cp})$, то (см. рис.5, а, б) в отдельные периоды развиваемый двигателем момент превышает момент, потребляемый гребным винтом или иным потребителем энергии ($M > M_{cp}$), или $T_\Sigma > T_{cp}$, а в другие периоды момент двигателя меньше поглощаемого момента.

В соответствии с этим и работа крутящего момента двигателя то больше его среднего значения, то меньше. Так, на участке $0-1$ (см. рис. 5, б) работа отрицательная ($A_{нед}$). Недостаток работы восполняется путем использования части кинетической энергии вращающихся масс двигателя и гребного винта. При этом угловая скорость вала ω падает. На следующем участке $1-2$ работа положительная; избыточная работа $A_{изб}$ расходуется на увеличение кинетической энергии вращающихся масс, и угловая скорость повышается. На участке $2-3$ снова недостаток энергии, и угловая скорость снижается.

Колебание частоты вращения вала типично для поршневых двигателей и, как это видно из сделанного анализа, заключается в непостоянстве крутящего момента. При этом, чем больше изменения момента, тем больших изменений частоты вращения вала следует ожидать.

Для оценки неравномерности вращения вала вводится понятие *степени неравномерности*, под которой понимается отношение максимального приращения угловой скорости коленчатого вала к его средней угловой скорости при установившемся режиме:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{cp}} \quad (16)$$

где ω_{max} и ω_{min} - максимальное и минимальное значения угловой скорости, а $\omega_{cp} = \pi n / 30$ - средняя угловая скорость.

Из определения степени неравномерности следует, что равномерность вращения вала *тем больше, чем меньше* δ . Рекомендуемые значения δ лежат в пределах для двигателей:

главных, приводящих в движение гребной винт, δ - 1/20-1/40;

вспомогательных, приводящих в движение генераторы: постоянного тока $\delta = 1/100 - 1/150$, переменного тока $\delta = 1/150 - 1/300$.

Вал двигателя, имеющего большее число цилиндров, вращается равномернее. Неравномерность вращения вала увеличивается при выключении из работы одного или нескольких цилиндров, при увеличении неравномерности распределения мощности между цилиндрами и отклонений в значениях максимального давления цикла в цилиндрах. Для сохранения требуемой равномерности вращения вала необходимо, чтобы отклонения P_i и P_z в отдельных цилиндрах были

минимальны и не превышали соответственно $\pm 2,5$ и $\pm 3,5$ % от их среднего значения для всех цилиндров.

С увеличением махового момента вращающихся масс (а это равносильно увеличению запаса кинетической энергии) степень неравномерности δ уменьшается. Поэтому для обеспечения более равномерного вращения вала маховой момент необходимо увеличить; обычно для этого увеличивают маховой момент маховика $G_m D^2$, где G_m масса маховика, D его диаметр.

В судовых малооборотных двигателях в связи с большими вращающимися массами достаточно низкая степень неравномерности вращения обеспечивается самими вращающимися массами, поэтому необходимость в маховике отпадает, а имеющийся маховик в основном выполняет функцию зубчатого колеса валоповоротного механизма. При анализе причин, вызывающих неравномерное вращение вала, колебания угловой скорости, вызываемые неравномерностью регулятора частоты вращения и волнением моря, не учитывались, так как эти колебания по частоте несоизмеримы с рассмотренными, их период во много раз превышает время одного оборота вала.

Литература

Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 382 с Стр. 168-170, 178-185