

# **Цикл практических занятий**

## **1. Расчет элементов смазочной системы**

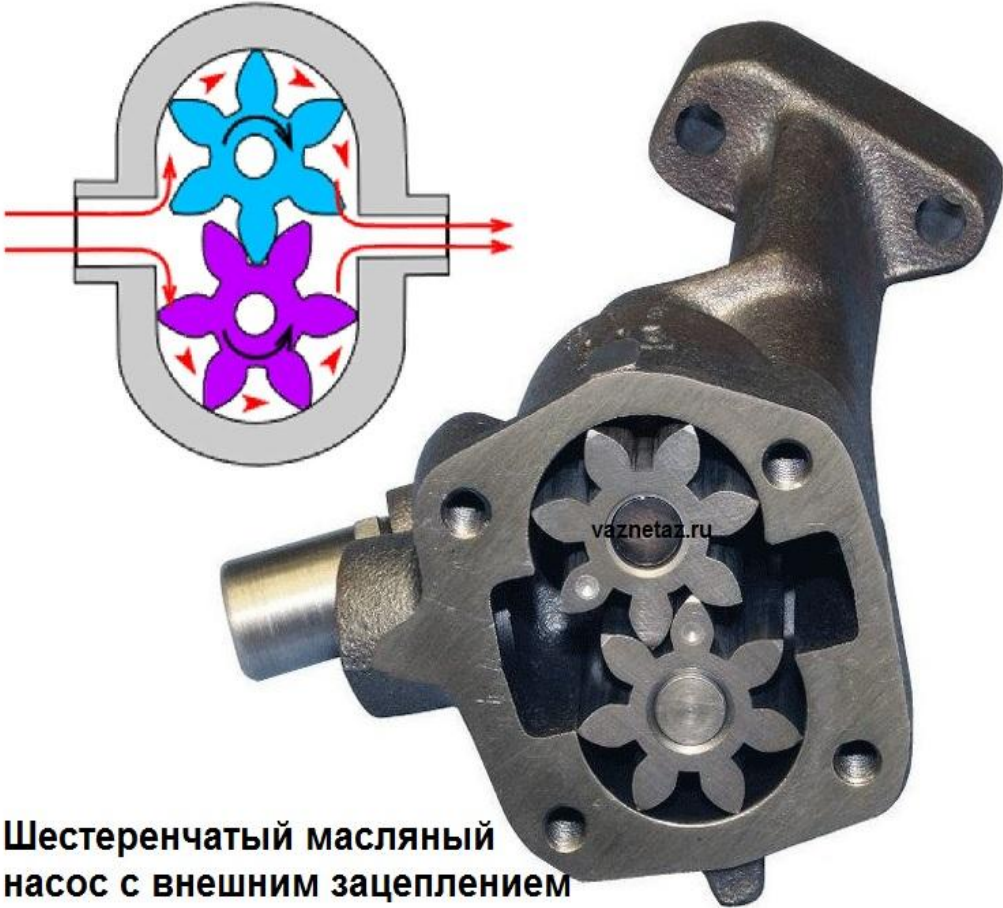
**Расчетное задание №1  
Расчет масляного насоса**

## Вводная информация

Система смазки обеспечивает снижение потерь полезной работы энергетической установки на трение сопрягающихся деталей, удаление продуктов износа и частичное охлаждение омываемых деталей. Широкое применение получили комбинированные системы смазки, при работе которых одновременно реализуется несколько режимов смазки: под давлением, разбрызгиванием, самотеком, масляным туманом. Наиболее эффективным режимом является смазывание под давлением. Подача смазочного материала к наиболее ответственным трущимся деталям осуществляется именно в этом режиме.

Давление масла в системе обеспечивается масляным насосом. По конструктивному исполнению различают шестеренчатые и винтовые масляные насосы. Наиболее широкое практическое применение получили шестеренчатые насосы, так как отличаются конструктивной простотой и надежностью.

Самый простой шестеренный масляный насос (с наружным шестеренным зацеплением) представляет собой две, находящиеся в зацеплении шестерни с удлиненными зубьями, установленные в рабочей камере. Одна из шестерен соединена с приводным валом насоса, то есть является ведущей, вторая ведомая, вращается только благодаря зацеплению с первой. Моторное масло подхватывается шестернями при их вращении и переносится на противоположную сторону, в масляные каналы.



**Шестеренчатый масляный насос с внешним зацеплением**

## Порядок расчета

Расчет масляного насоса заключается в определении размеров его шестерен. Этому расчету предшествует определение циркуляционного расхода масла в системе.

Циркуляционный расход  $V_{\text{ц}}$  масла зависит от количества отводимой им от двигателя теплоты  $Q_{\text{м}}$ . В соответствии с данными теплового баланса величина  $Q_{\text{м}}$  (кДж/с) для современных автомобильных и тракторных двигателей составляет 1,5 — 3,0% от общего количества теплоты, введенной в двигатель с топливом:

$$Q_{\text{м}} = (0,015 - 0,030)Q_0. \quad (1)$$

Количество теплоты, выделяемой топливом в течение 1 с:

$$Q_0 = H_u G_T / 3600,$$

где  $H_u$  выражено в кДж/кг;  $G_T$  — в кг/ч.

Циркуляционный расход масла ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) при заданной величине  $Q_M$

$$V_{\text{ц}} = Q_M / (\rho_M c_M \Delta T_M), \quad (2)$$

где  $\rho_M$  — плотность масла. В расчетах принимают  $\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_M = 2,094$  — средняя теплоемкость масла,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\Delta T_M = 10$  —  $15$  — температура нагрева масла в двигателе,  $\text{К}$ .

Для стабилизации давления масла в системе двигателя циркуляционный расход масла обычно увеличивается в 2 раза:

$$V' = 2V_{\text{ц}}. \quad (3)$$

В связи с утечками масла через торцовые и радиальные зазоры насоса расчетную производительность его ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) определяют с учетом объемного коэффициента подачи  $\eta_{\text{в}}$ :

$$V_{\text{р}} = V' / \eta_{\text{в}}. \quad (4)$$

Величина  $\eta_n$  изменяется в пределах 0,6 — 0,8.

При расчете насоса принимают, что объем зуба шестерни ( $\text{м}^3$ ) равен объему впадины между зубьями:

$$V = \pi D_0 h b, \quad (5)$$

где  $D_0$  — диаметр начальной окружности шестерни, м;  $h$  — высота зуба, м;  $b$  — длина зуба, м.

Расчетная производительность насоса

$$V_p = \pi D_0 h b n_n / 60, \quad (6)$$

где  $n_n$  — частота вращения шестерни,  $\text{мин}^{-1}$ .

При высоте зуба, равной двум модулям ( $h = 2m$ ), и  $D_0 = zm$

$$V_p = 2\pi z m^2 b n_n / 60, \quad (7)$$

где  $z = 6 — 12$  — число зубьев шестерни в выполненных конструкциях;  $m = 3 — 6$  мм — модуль зацепления.

**Величина**

$$n_{\text{н}} = u_{\text{н}} 60 / (\pi D), \quad (8)$$

где  $u_{\text{н}}$  — окружная скорость вращения шестерни на внешнем диаметре, м/с;  $D = m(z + 2)$  — диаметр внешней окружности шестерни, м.

Окружная скорость вращения шестерни на внешнем диаметре не должна превышать 8 — 10 м/с. При больших значениях скорости коэффициент подачи насоса значительно уменьшается.

Задавшись значениями  $m$ ,  $z$  и  $u_{\text{н}}$ , из уравнения (7) определяют длину зуба (м)

$$b = 60 V_{\text{н}} / (2\pi m^3 z n_{\text{н}}). \quad (9)$$

Мощность (кВт), затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_{\text{н}} = V_{\text{р}} p / (\eta_{\text{м.н}} \cdot 10^3), \quad (10)$$

где  $V_{\text{р}}$  — расчетная производительность масляного насоса, м<sup>3</sup>/с;  $p$  — рабочее давление масла в системе (в карбюраторных двигателях  $p = 0,3$  — 0,5 МПа; в дизелях  $p = 0,3$  — 0,7 МПа);  $\eta_{\text{м.н}} = 0,85$  — 0,90 — механический КПД масляного насоса.

## Примеры расчета

### Основные размеры шестерен масляного насоса бензинового двигателя

Общее количество теплоты, выделяемое топливом в течение 1с, определяется по справочным данным (из результатов теплового расчета ДВС)  $Q_0 = 221,92$  кДж/с.

**Количество теплоты, отводимой маслом от двигателя:**

$$Q_M = 0,021 Q_0 = 0,021 \cdot 221,92 = 4,67 \text{ кДж/с.}$$

**Теплоемкость масла  $c_M = 2,094$  кДж/(кг · К).**

**Плотность масла  $\rho_M = 900$  кг/м<sup>3</sup>.**

**Температура нагрева масла в двигателе  $\Delta T_M = 10$  К.**

**Циркуляционный расход масла**

$$V_{ц} = Q_M / (\rho_M c_M \Delta T_M) = 4,67 / (900 \cdot 2,094 \cdot 10) = 0,000248 \text{ м}^3/\text{с.}$$

**Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе**

$$V' = 2V_{ц} = 2 \cdot 0,000248 = 0,000496 \text{ м}^3/\text{с.}$$



Объемный коэффициент подачи  $\eta_H = 0,7$ .

Расчетная производительность насоса

$$V_p = V' / \eta_H = 0,000496 / 0,7 = 0,00071 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Модуль зацепления зуба  $m = 4,5 \text{ мм} = 0,0045 \text{ м}$ .

Высота зуба  $h = 2m = 2 \cdot 4,5 = 9,0 \text{ мм} = 0,009 \text{ м}$ .

Число зубьев шестерен  $z = 7$ .

Диаметр начальной окружности шестерни

$$D_0 = zm = 7 \cdot 4,5 = 31,5 \text{ мм} = 0,0315 \text{ м}.$$

Диаметр внешней окружности шестерни

$$D = m(z + 2) = 4,5(7 + 2) = 40,5 \text{ мм} = 0,0405 \text{ м}.$$

Окружная скорость на внешнем диаметре шестерни  $u_H = 6,36 \text{ м/с}$ .

Частота вращения шестерни (насоса)

$$n_H = u_H \cdot 60 / (\pi D) = 6,36 \cdot 60 / (3,14 \cdot 0,0405) = 3000 \text{ мин}^{-1}.$$

**Длина зуба шестерни**

$$b = \frac{60 \cdot V_p}{2\pi m^2 z n_n} = \frac{60 \cdot 0,00071}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0045^2 \cdot 7 \cdot 3000} = 0,016 \text{ м.}$$

**Рабочее давление масла в системе  $p = 40 \cdot 10^4$  Па.**

**Механический КПД масляного насоса  $\eta_{м.н} = 0,87$ .**

**Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:**

$$N_n = V_p p / (\eta_{м.н} \cdot 10^3) = 0,00071 \cdot 40 \cdot 10^4 / (0,87 \cdot 10^3) = 0,326 \text{ кВт.}$$

# Основные размеры шестерен масляного насоса дизельного двигателя

Общее количество теплоты, выделяемое топливом в течение 1с, определяется по справочным данным (из результатов теплового расчета ДВС)  $Q_0 = 604,3$  кДж/с.

**Количество теплоты, отводимое маслом от двигателя:**

$$Q_M = 0,026Q_0 = 0,026 \cdot 604,3 = 15,7 \text{ кДж/с.}$$

**Теплоемкость масла  $c_M = 2,094$  кДж/(кг · К).**

**Плотность масла  $\rho_M = 900$  кг/м<sup>3</sup>.**

**Температура нагрева масла в двигателе  $\Delta T_M = 10$  К.**

**Циркуляционный расход масла**

$$V_{ц} = Q_M / (\rho_M c_M \Delta T_M) = 15,7 / (900 \cdot 2,094 \cdot 10) = 0,000833 \text{ м}^3/\text{с.}$$

**Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе**

$$V' = 2V_{ц} = 2 \cdot 0,000833 = 0,001666 \text{ м}^3/\text{с.}$$

**Объемный коэффициент подачи  $\eta_H = 0,8$ .**

**Расчетная производительность насоса**

$$V_p = V' / \eta_H = 0,001666 / 0,8 = 0,00208 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Модуль зацепления зуба  $m = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$ .

Высота зуба  $h = 2m = 2 \cdot 5 = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$ .

Число зубьев шестерни  $z = 8$ .

Диаметр начальной окружности шестерни

$$D_0 = zm = 8 \cdot 5 = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}.$$

Диаметр внешней окружности шестерни

$$D = m(z + 2) = 5(8 + 2) = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}.$$

Окружная скорость на внешнем диаметре шестерни  $u_n = 8 \text{ м/с}$ .

Частота вращения шестерни (насоса)

$$n_n = u_n 60 / (\pi D) = 8 \cdot 60 / (3,14 \cdot 0,05) = 3060 \text{ мин}^{-1}.$$

Длина зуба шестерни

$$b = \frac{60 V_p}{2\pi m^2 z n_n} = \frac{60 \cdot 0,00208}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,005^2 \cdot 8 \cdot 3060} = 0,026 \text{ м}.$$

Рабочее давление масла в системе  $p = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

Механический КПД масляного насоса  $\eta_{м.н} = 0,89$ .

Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_n = V_p p / (\eta_{м.н} \cdot 10^3) = 0,00208 \cdot 5 \cdot 10^5 / (0,89 \cdot 10^3) = 1,17 \text{ кВт}.$$

## ПАМЯТКА

Перед началом выполнения расчетного задания рекомендуется:

- повторить материал соответствующего раздела данной дисциплины, посвященного маслам моторным;
- самостоятельно изучить (повторить) общее устройство и порядок работы шестеренного масляного насоса;
- повторить (изучить) общее устройство зубчатых передач и основные параметры зубчатых колес;
- выбрать индивидуальное задание в соответствии с документом «Задания к расчету...»;
- результаты расчета оформить в соответствии с «СТО 4.2–07–2014 Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» как Отчет по практической работе, с титульным листом по образцу, представленному в Приложении М.

В шапке титульного листа исключить слово «...профессионального...».