### Цикл практических занятий

1. Расчет элементов смазочной системы

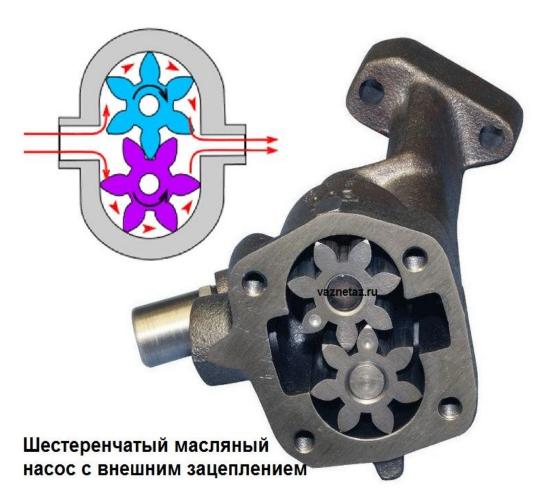
Расчетное задание №1 Расчет масляного насоса

### 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, благодаря зацеплению с первой. Моторное только вращается масло шестернями вращении и переносится на подхватывается при ИХ противоположную сторону, в масляные каналы.



#### Порядок расчета

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

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

$$Q_{\rm M} = (0,015 - 0,030)Q_0. \tag{1}$$

Количество теплоты, выделяемой топливом в течение 1 с:

$$Q_0 = H_u G_{\tau}/3600$$
,

где  $H_u$  выражено в кДж/кг;  $G_{\scriptscriptstyle \rm T}$  — в кг/ч.

Циркуляционный расход масла (м $^3$ /с) при заданной величине  $Q_{\scriptscriptstyle M}$ 

$$V_{\rm m} = Q_{\rm m}/(\rho_{\rm m}c_{\rm m}\Delta T_{\rm m}), \qquad (2)$$

где  $\rho_{\rm M}$  — плотность масла. В расчетах принимают  $\rho_{\rm M} = 900$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\rm M} = 2,094$  — средняя теплоемкость масла, кДж/(кг К);  $\Delta T_{\rm M} = 10$  — 15 — температура нагрева масла в двигателе, К.

Для стабилизации давления масла в системе двигателя цир-куляционный расход масла обычно увеличивается в 2 раза:

$$V' = 2V_{\rm m}. \tag{3}$$

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

$$V_{\rm p} = V'/\eta_{\rm H}. \tag{4}$$

Величина  $\eta_{\rm H}$  изменяется в пределах 0,6 — 0,8.

При расчете насоса принимают, что объем зуба шестерни (м<sup>3</sup>) равен объему впадины между зубьями:

$$V = \pi D_0 h b, \tag{5}$$

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

Расчетная производительность насоса

$$V_{\mathbf{p}} = \pi D_0 h b n_{\mathbf{n}} / 60, \qquad (6)$$

где  $n_{\rm m}$  — частота вращения шестерни, мин<sup>-1</sup>.

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

$$V_{\rm p}=2\pi z m^2 b n_{\rm m}/60, \qquad (7)$$

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

**(8)** 

где  $u_{\rm m}$  — окружная скорость вращения шестерни на внешнем диаметре, м/c; 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 значительноо уменьшается.

Задавшись значениями  $m_1$ , z и  $u_n$ , из уравнения ( 7) определяют длину зуба (м)

$$b = 60 V_{\rm p} / (2\pi m^3 z n_{\rm H}). \tag{9}$$

Мощность (кВт), затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_{\rm H} = V_{\rm D} p / (\eta_{\rm M,H} \cdot 10^3),$$
 (10)

где  $V_p$  — расчетная производительность масляного насоса, м³/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)  $Q_0 = 221,92 \text{ кДж/c}$ .

Количество теплоты, отводимой маслом от двигателя:

$$Q_{N} = 0.021 Q_{0} = 0.021 \cdot 221.92 = 4.67 \text{ кДж/с.}$$

Теплоемкость масла  $c_{\rm M} = 2,094$  кДж/(кг · К). Плотность масла  $\rho_{\rm M} = 900$  кг/м<sup>3</sup>. Температура нагрева масла в двигателе  $\Delta T_{\rm M} = 10$  К. Циркуляционный расход масла

$$V_{\rm H} = Q_{\rm M}/(\rho_{\rm M}c_{\rm M}\Delta T_{\rm M}) = 4,67/(900 \cdot 2,094 \cdot 10) = 0,000248 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе

$$V' = 2V_{\rm n} = 2 \cdot 0,000248 = 0,000496 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Объемный коэффициент подачи  $\eta_{\pi} = 0,7$ . Расчетная производительность насоса

$$V_p = V'/\eta_{\rm H} = 0,000496/0,7 = 0,00071 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Модуль зацепления зуба m=4,5 мм =0,0045 м. Высота зуба  $h=2m=2\cdot 45=9,0$  мм =0,009 м. Число зубьев шестерен z=7. Диаметр начальной окружности шестерни

$$D_0 = zm = 7.4,5 = 31,5 \text{ MM} = 0,0315 \text{ M}.$$

Диаметр внешней окружности шестерни

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

Окружная скорость на внешнем диаметре шестерни  $u_{\rm H}=6,36~{\rm M/c}$ . Частота вращения шестерни (насоса)

$$n_{\rm H} = u_{\rm H} \cdot 60/(\pi D) = 6.36 \cdot 60/(3.14 \cdot 0.0405) = 3000 \, \text{MMH}^{-1}.$$

Длина зуба шестерни

$$b = \frac{60 \cdot V_{\rm p}}{2\pi m^2 z n_{\rm H}} = \frac{60 \cdot 0,00071}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0045^2 \cdot 7 \cdot 3000} = 0,016 \text{ M}.$$

Рабочее давление масла в системе  $p = 40 \cdot 10^4$  Па. Механический КПД масляного насоса  $\eta_{\text{м.в}} = 0,87$ . Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_{\rm H} = V_{\rm p} p / (\eta_{\rm M.H} \cdot 10^3) = 0,00071 \cdot 40 \cdot 10^4 / (0,87 \cdot 10^3) = 0,326 \text{ kBt.}$$

## Основные размеры шестерен масляного насоса дизельного двигателя

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

Количество теплоты, отводимое маслом от двигателя:

$$Q_{\rm M} = 0.026 Q_0 = 0.026 \cdot 604,3 = 15,7$$
 кДж/с.

Теплоемкость масла  $c_{\rm M} = 2{,}094 \text{ кДж/(кг K)}.$ 

Плотность масла  $\rho_{\rm M} = 900 \ {\rm kr/m}^3$ .

Температура нагрева масла в двигателе  $\Delta T_{\rm M} = 10$  K.

Циркуляционный расход масла

$$V_{\rm n} = Q_{\rm M}/(\rho_{\rm M}c_{\rm M}\Delta T_{\rm M}) = 15,7/(900 \cdot 2,094 \cdot 10) = 0,000833 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе

$$V' = 2V_n = 2 \cdot 0,000833 = 0,001666 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Объемный коэффициент подачи  $\eta_{\rm H} = 0.8$ . Расчетная производительность насоса

$$V_{\rm p} = V'/\eta_{\rm H} = 0.001666/0.8 = 0.00208 \,{\rm M}^3/{\rm c}.$$

Модуль зацепления зуба m=5 мм=0,005 м. Высота зуба  $h=2m=2\cdot 5=10$  мм=0,01 м. Число зубьев шестерни z=8. Диаметр начальной окружности шестерни

$$D_0 = zm = 8.5 = 40 \text{ MM} = 0.04 \text{ M}.$$

Диаметр внешней окружности шестерни

$$D = m(z+2) = 5(8+2) = 50 \text{ MM} = 0.05 \text{ MM}.$$

Окружная скорость на внешнем диаметре шестерни  $u_{\rm H} = 8$  м/с.

Частота вращения шестерни (насоса)

$$n_{\rm H} = u_{\rm H}60/(\pi D) = 8.60/(3.14.0.05) = 3060 \text{ MMH}^{-1}.$$

Длина зуба шестерни

$$b = \frac{60V_{\rm p}}{2\pi m^2 z n_{\rm H}} = \frac{60 \cdot 0,00208}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,005^2 \cdot 8 \cdot 3060} = 0,026 \text{ M}.$$

Рабочее давление масла в системе  $p=5\cdot 10^5$  Па. Механический КПД масляного насоса  $\eta_{\text{м.н}}=0,89$ . Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_{\rm H} = V_{\rm p} p / (\eta_{\rm M.H} \cdot 10^3) = 0,00208 \cdot 5 \cdot 10^5 / (0,89 \cdot 10^3) = 1,17 \text{ kBt.}$$

#### 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...».