

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С НИЗКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

А. З. СКОРОХОД

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В. И. ЖУКАЛОВ

Филиал «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Гомель

Основой повышения эффективности пожарных центробежных насосов является совершенствование гидродинамических качеств проточной части, направленное на снижение потерь при передаче механической энергии рабочему потоку.

Реализация такого подхода возможна путем изменения свойств сопрягаемых поверхностей центробежных насосов покрытиями, с низкой поверхностной энергией на основе полиолефинов или фторопластов, которые создают эффекты гидрофобности, повышая одновременно надежность при эксплуатации.

Работа центробежного насоса совершается, как правило, при постоянных температуре и давлении и существенно зависит от значений энтропии, которая является мерой убыли энергии Гиббса [1]. Рост энтропии обусловлен появлением диссипативных сил, связанных с процессами трения на границе раздела «жидкость – твердое тело».

С другой стороны, опытами И. И. Никурадзе [2] установлено, что коэффициент гидравлического трения, в некоторых случаях, зависит от числа Рейнольдса и от безразмерного геометрического фактора – относительной шероховатости. Область, в которой лежит коэффициент гидравлического трения при работе центробежного насоса, не зависит от числа Рейнольдса и определяется шероховатостью ограничивающих поверхностей и квадратом скорости движущейся жидкости. Известно, что увеличение чистоты поверхности каналов рабочих колес с Ra 12,5 до Ra 8 без каких-либо конструктивных изменений приводит к повышению КПД насосов на 3–5 % [3], поскольку трение в вихрях и трение жидкости о твердые поверхности внутри насоса приводит к снижению его напора. Это явление учитывается гидравлическим КПД.

Рассмотрим математическую модель для расчета динамической скорости трения, возникающего на твердых стенках в зависимости от скорости движения жидкости. Как известно [4], пограничный слой образуется на границе раздела «твердое тело – жидкость» при движении жидкости и оказывает влияние на гидродинамическое сопротивление при движении среды относительно твердого тела, перенос массы и тепла. Толщину пограничного слоя для случая безотрывного обтекания плоской пластины, можно приближенно определить, полагая, что внутри пограничного слоя силы инерции равны силам трения. Сила инерции, отнесенная к единице объема,

$$F_{\text{ин}} = \rho v \cdot \frac{\partial v}{\partial x}. \quad (1)$$

Для пластины длиной L величина $\frac{\partial v}{\partial x}$ пропорциональна U/L , где U есть скорость внешнего течения. Следовательно, сила инерции имеет величину порядка $\rho U^2/L$. С другой стороны, сила трения, отнесенная к единице объема, $\frac{\partial \tau}{\partial y}$ и при условии, что течение ламинарное,

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}. \quad (2)$$

Градиент скорости в направлении, перпендикулярном к стенке, т. е. производная $\frac{\partial u}{\partial y}$, имеет величину порядка U/δ ; поэтому сила трения, отнесенная к единице объема, пропорциональна $\mu U/\delta^2$. Приравняв силу трения силе инерции и решив уравнение относительно δ , получим соотношение

$$\delta = 5 \sqrt{\frac{\nu L}{u}} = \frac{5L}{\sqrt{Re}}, \quad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, m^2/c ; 5 – коэффициент пропорциональности Блазиуса для ламинарного подслоя [5].

Из равенства (3) следует, что относительная толщина пограничного слоя δ / L уменьшается при увеличении числа Re пропорционально $(1 / Re)^{1/2}$, следовательно, при переходе к жидкости, лишенной трения, т. е. при переходе к $Re \rightarrow \infty$, пограничный слой исчезает. Очевидно, что толщина пограничного слоя тем меньше, чем меньше коэффициент вязкости жидкости. Если разделить δ на длину пластины L , то получим безразмерную толщину пограничного слоя, $\delta \sim 5/(Re)^{0.5}$. Кроме того, на толщину пограничного слоя существенно влияет гидрофобность на границе раздела фаз.

Оценим касательное напряжение τ_0 на стенке пластины. На основании закона Ньютона имеем: $\tau_0 = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)_0$, где индекс 0 указывает значение на стенке, где $y = 0$, μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с. На основании сказанного выше получим

$$\tau_0 = \frac{\mu U}{\delta}. \quad (4)$$

Подставив в (4) вместо δ его значение из (3), получим

$$\tau \sim \mu U \sqrt{\frac{\rho U}{\mu L}} = \sqrt{\frac{\mu \rho U^3}{L}}. \quad (5)$$

Следовательно, касательное напряжение на стенке, возникающее вследствие трения, пропорционально скорости набегающего потока U в степени $3/2$. Разделив касательное напряжение на ρU^2 , получим значение безразмерного касательного напряжения на стенке

$$\frac{\tau_0}{\rho U^2} \sim \sqrt{\frac{\mu}{\rho U L}} = \sqrt{\frac{\nu}{U L}} = \frac{1}{\sqrt{Re}}. \quad (7)$$

Таким образом, касательное напряжение обратно пропорционально зависит от числа Рейнольдса. Отсюда следует, что, уменьшая коэффициент трения сопрягаемых поверхностей, можно увеличить полезную мощность насоса.

Список литературы

- 1 Ландау, Л. Д. Статистическая физика : учеб. пособие для вузов. Т. 5. Ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Физматлит, 2010. – 616 с.
- 2 Абросимов, Ю. Г. Гидравлика и противопожарное водоснабжение : учеб. / Ю. Г. Абросимов, А. И. Иванов, А. А. Качалов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. – С. 82.
- 3 Проектирование и исследование характеристик степеней динамических насосов / В. Н. Ивановский [и др.]. – М. : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2015. – 104 с.
- 4 Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. / Г. Шлихтинг. – М. : Наука, 1974. – 218 с.
- 5 Основы механики жидкости : учеб. пособие / В. Н. Белозерцев [и др.]. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 324 с.

УДК 629.4.015

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ВАГОНА КОЛЕИ 1435 мм С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Е. В. СОРОКИНА, С. Д. КОРШУНОВ

АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), Российская Федерация

С 2017 года ОАО «Тверской вагоностроительный завод» реализует проект изготовления пассажирских вагонов модели 61-4514 колеи 1435 мм.

Накопленный опыт эксплуатации вагонов на железных дорогах Арабской Республики Египет [1, 3] позволил установить, что необходимо учитывать воздействие высокой температуры на обшивку крыши.