

УДК 621.671

Дымочкин Д.Д., к.т.н., доцент каф. «Гидравлика, ГПА и ТП», ФГБОУ ВО ДГТУ;  
Хавстович Д.С., студент гр.УИ-21, ФГБОУ ВО ДГТУ.

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

**Аннотация.** Целью данной работы является повышение качества подготовки бакалавров по направлению «Инноватика», профиль «Инновации в промышленности (гидромашиностроение)» за счёт усовершенствования методического пособия по выполнению расчётно-графической работы.

**Abstract.** The aim of this work is to improve the quality of preparation of bachelors in the direction "innovation", profile "industrial Innovation (hydromeliorative)" through improvement of manuals for implementation of calculation and graphic work.

**Ключевые слова:** вязкость воды, теплофизические свойства воды, удельный объем, теплоемкость, теплопроводность, температура.

**Key words:** water viscosity, thermophysical properties of water, specific volume, heat capacity, thermal conductivity, temperature.

В процессе проектирования инновационных гидросистем необходимо учитывать вопросы тепловыделения, которое тесно связано с потерями энергии. Поэтому студенты, обучающиеся по профилю «Управление инновациями в промышленности», изучают такие дисциплины как «Теплотехника» и «Термодинамика».

В ходе обучения по дисциплине «Теплотехника» автором выполнялась расчётно-графическая работа по теме: «Тепловой расчёт рекуперативного теплообменного аппарата трубчатого типа» [1, 2]. При выполнении этой работы, было обращено внимание на следующие аспекты:

— В приложении (и в исходных данных для расчёта) приводятся теплофизические свойства воды в диапазоне температур от 0 до 200°C.

— Очевидно, что такую температуру вода может иметь только, находясь под избыточным давлением. Известно, что теплофизические свойства воды зависят как от давления, так и от температуры, однако в методике расчёта учитывается только зависимость от температуры.

— Температура стенок трубок задается изначально, однако известные методики расчёта теплообменных аппаратов [3] рекомендуют определять её методом последовательных приближений. Очевидно, что в этом случае для расчёта желательно применять ПК со специализированным математическим программным обеспечением.

В связи с этим предлагается усовершенствовать расчетно-графическую работу и методические указания к ней, учтя вышеперечисленные аспекты. Для этого предлагается теплофизические свойства воды выбирать не из таблиц, а рассчитывать по формулам. В результате поиска удалось найти следующие расчётные зависимости.

Зависимость удельного объема от температуры и давление выражается следующей формулой [4]:

$$v(p, t) = 3,086 - 0,899017(374,1 - t)^{0,147166} - 0,39(385 - t)^{-1,6} \times (p - 225,5) \quad (1)$$

где  $v$  – удельный объем воды в см<sup>3</sup>/грамм;

$t$  – температура воды в °С;

$p$  – давление воды в кг/см<sup>2</sup>;

В системе СИ формула примет вид:

$$v(p, t) = 0,001(3,086 - 0,899017(374,1 - t)^{0,147166} - 0,39(385 - t)^{-1,6} \times (1,019p - 225,5)) \quad (2)$$

где  $v$  – удельный объем воды в  $\text{м}^3/\text{кг}$  ;

$p$  – давление воды в барах.

Зависимость теплоемкости от давления и температуры в диапазоне  $t = 0 \div 140^\circ\text{C}$  выражается следующей зависимостью:

$$Cp(p, t) = 1.006 - 10^{-3} \cdot t + 2.56 \cdot 10^{-4} t^{1.3} - 3.5 \cdot 10^{-7} \cdot (t + 114.3) \cdot p \quad (3)$$

где  $Cp$ -истинная теплоемкость при постоянном давлении ккал/(кг·град);

$p$  – давление воды в  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;

В системе СИ формула примет вид:

$$Cp(p, t) = 4184(1.006 - 10^{-3} \cdot t + 2.56 \cdot 10^{-4} t^{1.3} - 3.566 \cdot 10^{-7} \times \\ \times (t + 114.3) \cdot p) \quad (4)$$

где  $Cp$ -истинная теплоемкость при постоянном давлении Дж/(кг·К)

$p$  – давление воды в барах;

Функция зависимости коэффициента теплопроводности имеет следующий вид [5]:

$$\lambda_t = \lambda_0 \left[ 1 + 5.15 \cdot 10^{-2} \left( \frac{p}{100} \right)^{0.85} \left( \frac{T}{100} \right)^{0.25} \right] \quad (5)$$

где  $T$  – абсолютная температура в К;

$p$  - давление воды в  $\text{кг}/\text{см}^2$  ;

$\lambda_0 = 0.196 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - теплопроводность при  $T=273 \text{ К}$  и атмосферном давлении.

В системе СИ формула примет вид:

$$\lambda_t = \lambda_0 \left[ 1 + 5.233 \cdot 10^{-2} \left( \frac{p}{100} \right)^{0.85} \left( \frac{T}{100} \right)^{0.25} \right] \quad (6)$$

где  $p$  - давление воды в барах;

В отличие от других теплофизических свойств вязкость воды от давления практически не зависит. По данным к.х.н. О.В. Мосина [6], зависимость коэффициента кинематической вязкости от температуры имеет вид:

$$\nu(T) = \frac{1.78 \cdot 10^{-6}}{[1 + 0.0337(T - 273) + 0.000221 \cdot (T - 273)^2]} \quad (7)$$

где  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости в  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$T$  – температура воды в К;

Проверка расчётов по этой формуле показывает, что погрешность по сравнению с табличными данными может составлять до 30%. Поэтому, возникает задача получения новой формулы на основе теории планирования эксперимента.

Усовершенствование методического пособия по выполнению расчётно-графической работы с учётом вышеизложенного является целью дальнейшей научно-исследовательской работы автора.

### Список использованных источников

1. Таравков Н.С., Чернавский В.А.. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата (подогревателя) трубчатого типа / Издательский центр ДГТУ, Ростов-на-Дону, 2003, 13с.

2. Рыбак А.Т., Фридрих Р.А.. Расчет рекуперативного кожухотрубного теплообменного аппарата / Учебно-методическое пособие по теплотехническому расчёту / Ростов-на-Дону, 2015 / режим доступа: <http://de.donstu.ru/CDOCourses/080788b7-6cb9-4bef-a0a1-dd3c4ce37bc2/2353/2184.pdf>

---

3. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С., Пророкова М.В. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата / ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 124 с.

4. Вукалович М.П. Термодинамические свойства воды и водяного пара / Машиностроение, Москва, 1967,159с.

5. Васильева И.А., Волков Д.П., Заричняк Ю.П. Теплофизические свойства веществ / Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. - 80 с.

6. Сайт «o8ode.ru», режим доступа:

<http://www.o8ode.ru/article/answer/pnanetwater/vyazkost.htm>