

УДК 621.184.4

**ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ  
ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ  
PROGRAM FOR CALCULATING THE THERMAL LOAD  
OF A HIGH-PRESSURE HEATER**

З. В. Ковганов, К. А. Габимова

Научные руководители – С. И. Ракевич, старший преподаватель,

А. А. Павловская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь

Z. Kovganov, K. Gabimova

Supervisors – S. Rakevich, Senior Lecturer, A. Pavlovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** тепловой расчет нагрузки подогревателя высокого давления с помощью программы, разработанной на языке C++.

**Abstract:** thermal calculation of high-pressure heater load using a program developed in C++.

**Ключевые слова:** подогреватель высокого давления (ПВД), расчет, программа, охладитель пара, собственно подогреватель, охладитель конденсата.

**Keywords:** high-pressure heater (HPH), calculation, program, steam cooler, actual heater, condensate cooler.

### Введение

Все электростанции, которые конвертируют тепловую энергию в механическую энергию, используют принцип теплового цикла Ренкина (рис. 1) [1].

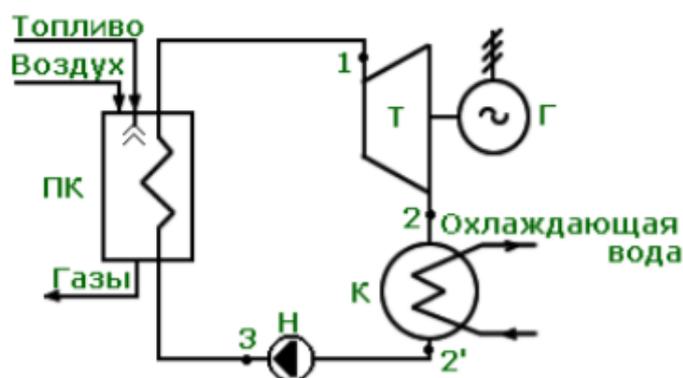


Рисунок 1 – Цикл Ренкина

Однако станция, работающая на таком цикле, имеет невысокий КПД, так как большое количество тепла теряется в конденсаторе (К). Для повышения эффективности цикла Ренкина применяется регенеративный подогрев теплоносителя (воды): часть пара из турбины отбирается на подогрев питательной воды и конденсата, таким образом уменьшая расход пара, идущего в конденсатор, а следовательно, уменьшаются потери тепла.

Подогрев питательной воды или конденсата осуществляется в специальных теплообменниках, где пар, отбираемый из турбины, отдает свое тепло воде. Если необходимо подогреть конденсат, то пар отбирается из последних ступеней турбины и используется для подогрева воды до относительно низких температур (примерно 60 °С) в подогревателе низкого давления (ПНД). Однако, если требуется подогреть питательную воду, то пар отбирается из первых ступеней турбины и направляется в ПВД, где нагревает теплоноситель до достаточно высокой температуры (примерно 200 °С). Для того, чтобы правильно подобрать нужные ПВД, необходимо произвести соответствующий тепловой расчет, по которому определяется площадь теплообмена и осуществляется выбор подогревателя.

### Основная часть

ПВД состоит из трех зон: охладителя пара (ОП), собственно подогревателя (СП) и охладителя конденсата (ОК) (рис. 2).

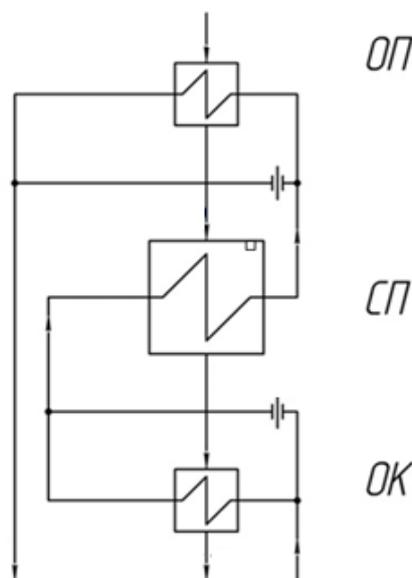


Рисунок 2 – Схема ПВД

Каждая зона рассчитывается отдельно. Тепловая нагрузка для охладителя пара определяется по формуле (1) [2]:

$$Q_{оп} = D_{п} \cdot (h'_{оп} - h''_{оп}) \cdot \eta, \quad (1)$$

где  $Q_{оп}$  – тепловая нагрузка охладителя пара, кВт;

$D_{п}$  – расход пара на подогреватель, кг/с;

$h'_{оп}$  – энтальпия пара на входе в охладитель, кДж/кг;

$h''_{оп}$  – энтальпия пара на выходе из охладителя (входе в собственно подогреватель), кДж/кг;

$\eta$  – КПД теплообменного аппарата (обычно  $\eta = 0,98$ ).

Если известны давление и температура пара, поступающего в охладитель, можно использовать  $h_s$ -диаграмму для определения значения  $h'_{оп}$ . Аналогичным образом определяется  $h''_{оп}$  по давлению насыщения и температуре, немного превышающей (на 10...25 °С) температуру насыщения.

Формула (2) используется для расчета тепловой нагрузки подогревателя [2]:

$$Q_{\text{сп}} = D_{\text{п}} \cdot (h''_{\text{оп}} - h_{\text{н}}) \cdot \eta + D_{\text{др}} (h_{\text{др}} - h_{\text{н}}) \cdot \eta, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{сп}}$  – тепловая нагрузка собственно подогревателя, кВт;

$h_{\text{н}}$  – энтальпия пара в состоянии насыщения, кДж/кг;

$D_{\text{др}}$  – сумма расходов дренажей из верхних подогревателей, кг/с;

$h_{\text{др}}$  – энтальпия дренажа верхнего подогревателя, кДж/кг.

Значение энтальпии пара  $h_{\text{н}}$  определяется по давлению насыщения с помощью  $hs$ -диаграммы, а энтальпия  $h_{\text{др}}$  вычисляется по давлению и температуре в верхнем подогревателе.

Для расчета тепловой нагрузки охладителя конденсата используется формула (3) [2]:

$$Q_{\text{ок}} = (D_{\text{др}} + D_{\text{п}}) \cdot (h_{\text{н}} - h_{\text{др}}^{\text{СП}}) \cdot \eta, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{ок}}$  – тепловая нагрузка охладителя конденсата, кВт;

$h_{\text{др}}^{\text{СП}}$  – энтальпия дренажа в зоне собственно подогревателя, кДж/кг.

Энтальпия дренажа  $h_{\text{др}}^{\text{СП}}$  определяется по температуре дренажа в зоне собственно подогревателя и давлению насыщения по  $hs$ -диаграмме.

Для упрощения расчета тепловой нагрузки на основе формул (1–3) на языке C++ была создана программа, позволяющая получить искомые значения меньше чем за секунду и с высокой точностью (рис. 3).

Рисунок 3 – Внешний вид программы

В программе расчет энтальпий производится благодаря базе данных от  $hs$ -диаграммы путем нахождения среднего значения между уже известными значениями энтальпии в точках, лежащих в окрестности искомой. Благодаря внедрению такого способа нахождения энтальпии,

расчет с помощью программы экономит большое количество времени в сравнении с ручным расчетом.

Чтобы произвести расчет тепловой нагрузки с помощью программы необходимо ввести в соответствующие поля исходные данные, такие как: расход пара, идущего в турбину и его начальное давление; расход, давление и температуру пара, идущего в ПВД; суммарный расход дренажей из верхних ПВД и давление пара в верхнем ПВД. После нажатия кнопки «Расчитать» в правой части появятся значения тепловой нагрузки для каждой зоны подогревателя.

### **Заключение**

Таким образом, разработанная программа позволяет пользователям не тратить большое количество времени на нахождение различных значений необходимых для конечного теплового расчета, а также производить все вычислительные операции с довольно высокой точностью. Применение в подобных расчетах возможностей языка C++ существенно помогает в сложных расчетах в энергетике, поскольку количество затраченного на создание программы времени зачастую меньше затрат времени на один и тот же расчет с различными данными вручную несколько раз.

### **Литература**

1. Ковганов, З. В. Тепловая электрическая станция небольшой мощности на органическом цикле Ренкина = Small capacity thermal power plant operating on the organic Rankine cycle / З. В. Ковганов, Е. В. Таранко; науч. рук. Е. В. Пронкевич // Актуальные проблемы энергетики – 2022 [Электронный ресурс]: материалы студенческой научно-технической конф. / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская; редкол.: Е. Г. Пономаренко [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 420–422. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/126030>.

2. Карницкий Н.Б. Вспомогательное оборудование ТЭС: методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» / Н. Б. Карницкий, Е. В. Пронкевич, Е. Н. Васильченко. – Минск : БНТУ, 2010. – 68 с.