

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКА C++ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ПРЯМЫХ ТРУБ И КОЛЕН С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПАРКОВОГО РЕСУРСА

Ковганов З. В., Медведева А. Н. – студенты,  
Научный руководитель – Романко В. А., старший преподаватель  
кафедры «Тепловые электрические станции»,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация:** расчет минимально допустимой толщины стенки прямых трубопроводов и гибов, а также определение паркового ресурса трубопровода с помощью программы, разработанной на языке программирования C++.

**Ключевые слова:** трубопровод, расчет, толщина стенки, парковый ресурс, программа, сталь, колено.

## USING C++ LANGUAGE CAPABILITIES FOR CALCULATING THE WALL THICKNESS OF STRAIGHT PIPES AND ELBOWS WITH DETERMINATION OF SERVICE RESOURCE

**Abstract:** calculation of the minimum allowable wall thickness of straight pipelines and bends, as well as determination of the service resource of the pipeline using a program developed in the C++ programming language.

**Keywords:** pipeline, calculation, wall thickness, service resource, program, steel, elbow.

Одним из самых важных элементов на тепловой электростанции (ТЭС) являются трубопроводы, благодаря которым соединяется все основное оборудование и по которым происходит транспортировка рабочих сред (пара, воды, масла и т. д.). Все трубопроводы играют важную роль в функционировании ТЭС, обеспечивая передачу теплоты, необходимой для производства электроэнергии [1]. Исходя из этого, при проектировании каких-либо трубопроводных систем на станции каждая труба рассчитывается на прочность и стойкость к различным воздействиям.

Каждое действие, связанное с проектированием или заменой трубопроводных систем, сопровождается различными инженерными расчетами. В них входит: выбор материала трубопровода, расчет толщины стенки трубы (прочностной расчет), определение срока службы (ресурса) и многое другое. Для исключения различных ошибок в расчетах и для более быстрого определения искомых величин была разработана компьютерная программа (рис. 1), с помощью которой можно рассчитать толщину стенки трубопровода и его парковый ресурс.

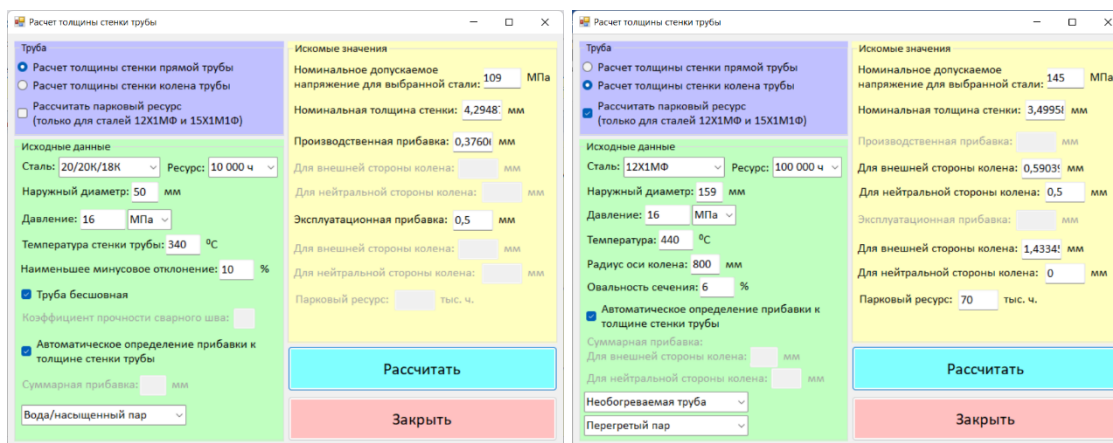


Рисунок 1 – Внешний вид программы

Расчет толщины стенки прямых трубопроводов и гибов в программе реализован при помощи языка программирования C++ по следующим формулам [2]:

Расчетная толщина стенки трубы определяется по формуле (1):

$$s_R = \frac{pD_a}{2\varphi_\omega[\sigma] + p}, \quad (1)$$

где  $p$  – давление, МПа;

$D_a$  – наружный диаметр трубы, мм;

$\varphi_\omega$  – безразмерный коэффициент прочности спирального или продольного сварных швов (для бесшовных труб  $\varphi_\omega = 1$ );

$[\sigma]$  – номинальное допускаемое напряжение, МПа. Определяется в соответствии с материалом, из которого изготовлена труба [2].

Номинальная толщина стенки трубы рассчитывается по формуле (2):

$$s = s_R + c, \quad (2)$$

где  $c$  – суммарная прибавка к расчетной толщине стенки трубы, мм. Определяется путем сложения эксплуатационной и производственной прибавки [2, приложение 3].

Для изогнутых участков трубопроводов толщина стенки определяется по следующим формулам (3):

$$s_{R1} = s_R K_1 Y_1; \quad s_{R3} = s_R K_3 Y_3, \quad (3)$$

где  $s_{R1}, s_{R3}$  – расчетная толщина стенки на внешней и нейтральной стороне колена соответственно, мм;

$K_1, K_3$  – безразмерный торовой коэффициент внешней и нейтральной стороны колена соответственно. Определяются по формулам (4);

$Y_1, Y_3$  – безразмерный коэффициент формы внешней и нейтральной стороны колена соответственно.

$$K_1 = \frac{4\frac{R}{D_a} + 1}{4\frac{R}{D_a} + 2}; \quad K_3 = 1, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус гiba, мм.

В зависимости от типа стали и температуры стенки коэффициенты формы рассчитываются по следующим формулам:

1. Для колен из углеродистой стали с температурой стенки, не превышающей 350 °С, а также для колен из легированной стали с температурой стенки, не превышающей 400 °С по формулам (5):

$$Y_1 = 0,12 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,4q \frac{a}{\alpha}} \right); Y_3 = 0,12 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,4 \frac{a}{\alpha}} \right), \quad (5)$$

где  $a$  – овальность сечения, %;

$\alpha, q$  – безразмерные коэффициенты, определяемые по формулам (6):

$$\alpha = \frac{p}{2[\sigma] + p}; q = 2\alpha \frac{R}{D_a} + 0,5. \quad (6)$$

2. Для колен из углеродистой стали с температурой стенки, превышающей 400 °С, а также для колен из легированной стали с температурой стенки, превышающей 450 °С по формулам (7):

$$Y_1 = 0,4 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,015q \frac{a}{\alpha}} \right); Y_3 = 0,4 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,015 \frac{a}{\alpha}} \right), \quad (7)$$

3. Для колен из углеродистой стали с температурой стенки, находящейся в пределах от 350 °С до 400 °С, а также для колен из легированной стали с температурой стенки, находящейся в пределах от 400 °С до 450 °С коэффициенты формы определяются по формулам (5) и (7). Также при расчете гибов находятся две прибавки: одна прибавка для внешней стороны колена, вторая – для нейтральной [2].

Номинальная толщина стенки определяется по (8) и будет равна:

$$s_1 = s_{R1} + c; s_3 = s_{R3} + c; s = \max(s_1, s_3). \quad (8)$$

Также в программе присутствует расчет паркового ресурса трубопровода (9):

$$K = \frac{3[\sigma]s}{p(D_a - s)}, \quad (9)$$

где  $[\sigma]$  определяется для расчетного ресурса равного 100 000 часам.

Благодаря разработанной программе можно за несколько секунд рассчитать толщину стенки трубопровода и определить его парковый ресурс.

#### Список литературы

1. Ковганов, З. В. Тепловая электрическая станция небольшой мощности на органическом цикле Ренкина = Small capacity thermal power plant operating on the organic Rankine cycle [Электронный ресурс] / З. В. Ковганов, Е. В. Таранко ; науч. рук. Е. В. Пронкевич // Актуальные проблемы энергетики – 2022 : материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская ; редкол.: Е. Г. Пономаренко (пред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 420–422.

2. Герасимова, А. Г. Контроль и диагностика теплового оборудования ТЭС : учебно-методическое пособие для студентов дневной формы обучения специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» / А. Г. Герасимова, Н. Б. Карницкий. – Минск : БНТУ, 2009. – 123 с.