

## ПРОГРАММЫ ПОДБОРА СТАНДАРТИЗИРОВАННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А. Б. Сухоцкий<sup>1</sup>, В. Б. Кунтыш<sup>1</sup>, А. Ш. Миннигалиев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Белорусский государственный технологический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь*

<sup>2</sup> *ЗАО «Октябрьскхиммаш», г. Октябрьск, Республика Башкортостан, Россия*

В современном мире целесообразность автоматизации процессов не вызывает сомнения, т. к. позволяет значительно сократить время изготовления и повысить качество продукции. Особенно актуально разрабатывать программные модули для трудоемких и сложных, с большой вероятностью к ошибкам расчетов, таких как тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов (ТА). Ошибка в выборе компоновки ТА может привести к существенному нарушению технологического процесса и значительным экономическим издержкам.

Специалистами кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники УО «Белорусский государственный технологический университет» и сотрудниками ЗАО «Октябрьскхиммаш» (Республика Башкортостан) создана программа для выбора кожухотрубных теплообменников (КТ) из имеющегося номенклатурного ряда выпускаемых КТ и оптимизации конструкции КТ на основе теплового и гидравлического расчета (рис. 1).

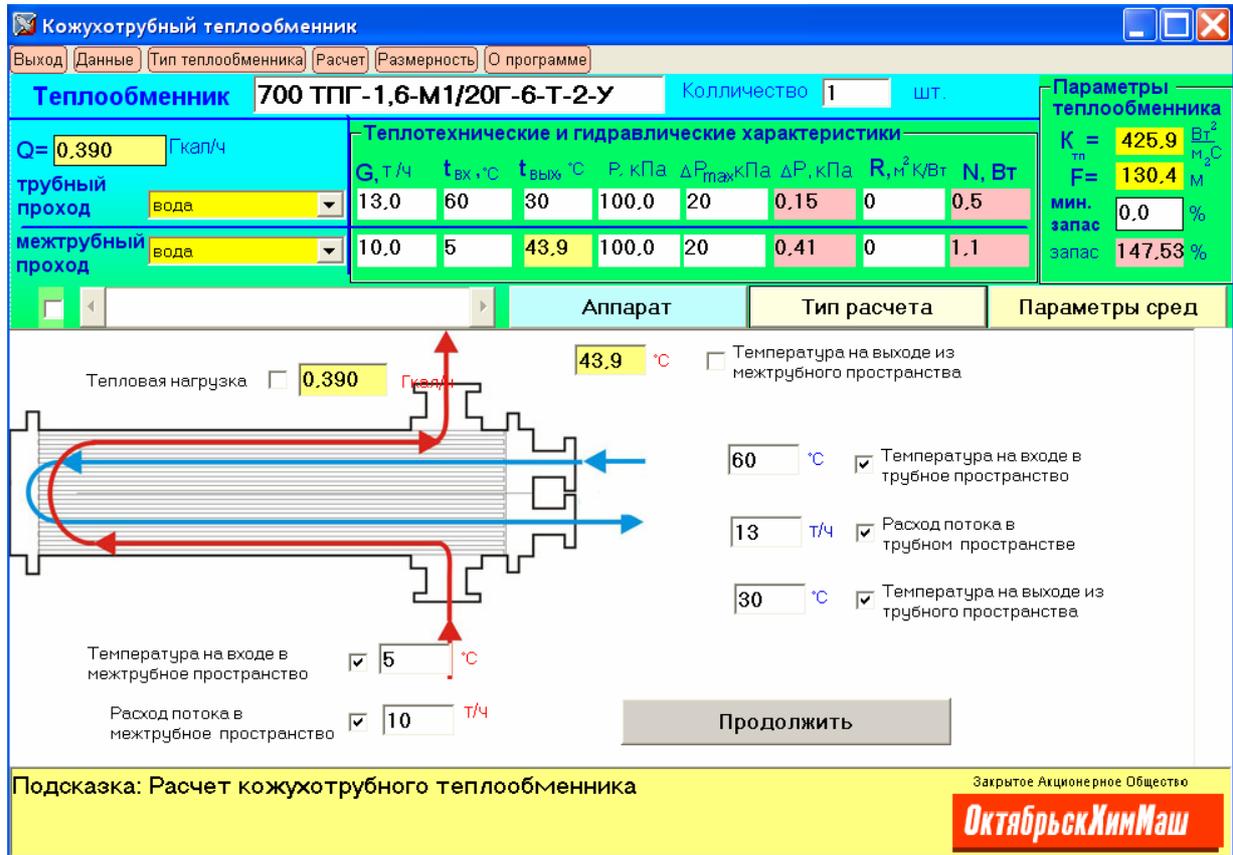


Рисунок 1 – Интерфейс программы для теплового и гидравлического расчета КТ

Программа включает три основных модуля:

- *конструкторский* – выбор и вывод конструкционных параметров КТ (рис 2),
- *базовый* – ввод и вывод энергетических и физических характеристик охлаждаемой среды и воздуха (рис. 3),
- *параметры аппарата* – вывод энергетических параметров КТ (рис. 4).

Программа включает также вспомогательный модуль – тепловой режим КТ (рис. 5) и базу стандартизированных кожухотрубных теплообменников (440 типов): кожухотрубные теплообменные аппараты с неподвижными теплообменными решетками и кожухотрубные с температурным компенсатором на кожухе (ТУ 3612-024-00220302-02), кожухотрубные теплообменные аппараты с плавающей головкой и кожухотрубные с U-образными трубами (ТУ 3612-023-00220302-01).

Параметры аппарата		Длина трубы	Площадь проходного сечения
Тип исполнения	горизонтальный	6 м	одного хода по трубам
Материал труб	М1		0,049 м <sup>2</sup>
Тип труб	гладкая	2	по межтрубному пространству
Парметры трубы	20x2 мм		0,056 м <sup>2</sup>
Расположение труб	треугольник	14	в вырезе перегородки
Условия эксплуатации (климат)	умеренный		0,094 м <sup>2</sup>
			между перегородками
			Наружный диаметр труб
			20 мм
			Внутренний диаметр кожуха
			700 мм
			Площадь поверхности теплообмена
			183,1 м <sup>2</sup>

Рисунок 2 – Выбор и вывод конструкционных параметров КТ

Теплообменник		Теплотехнические и гидравлические характеристики							
700 ТПГ-1,6-М1/20Г-6-Т-2-У		Q=	0,390						
Колличество		1	шт.						
трубный проход	вода	G, т/ч	t <sub>вх</sub> , °C	t <sub>вых</sub> , °C	P, кПа	ΔP <sub>max</sub> , кПа	ΔP, кПа	R, м <sup>2</sup> /Вт	N, Вт
межтрубный проход	вода	13.0	60	30	100.0	20	0.15	0	0.5
		10.0	5	43.9	100.0	20	0.41	0	1.1

Рисунок 3 – Ввод и вывод энергетических и физических характеристик охлаждаемой среды и воздуха

Параметры теплообменника	
K <sub>тп</sub>	425,9 $\frac{Вт^2}{м^2 \cdot C}$
F	130,4 м
мин. запас	0,0 %
запас	147,53 %

Рисунок 4 – Вывод энергетических параметров КТ

Модуль задания и оптимизации исходных теплофизических данных позволяет:

- задать любой вариант исходных данных (температура теплоносителя, расход, тепловая нагрузка) для подбора стандартизированных теплообменников (5 параметров);
- определить допустимые физические границы параметров для выбранного варианта расчета и при необходимости оптимизировать исходные данные под эти границы.

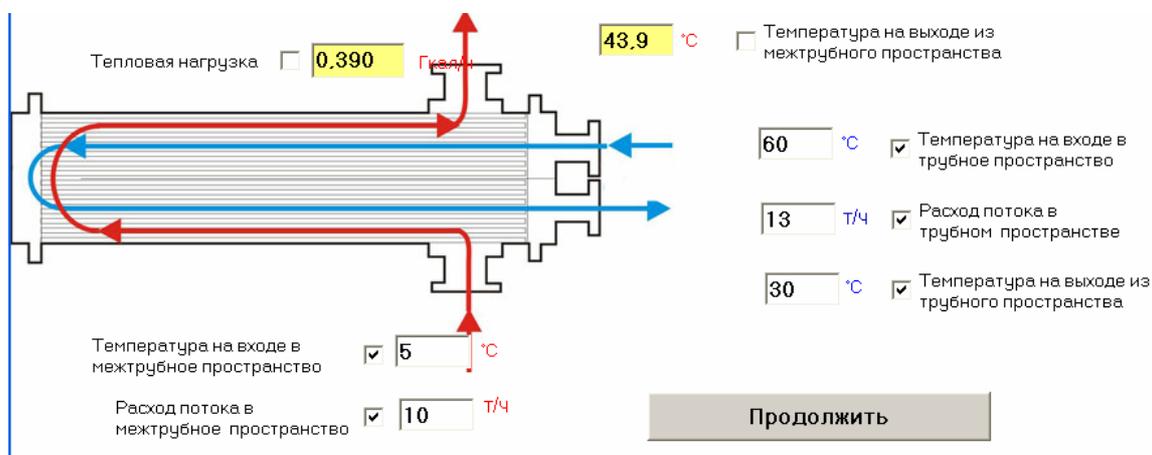


Рисунок 5 – Тепловой режим КТ

Модуль задания конструктивных параметров теплообменника позволяет:

- выбрать горизонтальный или вертикальный теплообменник;
- выбрать гладкую или диафрагмированную теплообменную трубу;
- выбрать расположение теплообменных труб в трубной решетке (треугольник или квадрат);
- выбрать параметры теплообменных труб (диаметр и толщину стенки);
- посмотреть основные конструктивные параметры теплообменника.

Модуль теплового и гидравлического расчета позволяет:

- осуществить подбор оптимального варианта стандартизированного теплообменника, холодильника и конденсатора из базы данных;
- провести тепловой и гидравлический расчет любого стандартизированного теплообменника, холодильника и конденсатора из базы данных.

Стандартные методики [1, 2] теплового и гидравлического расчета КТ основаны на применении большого количества данных представленных в виде таблиц, графиков и диаграмм, что неудобно для практического применения. Поэтому в программе эти затруднения устранены созданием следующих видов библиотек:

1. Таблица конструкторско возможных геометрических параметров КТ (количество секций, рядов и ходов труб, площадь проходного сечения).

2. Теплофизические свойства воздуха и охлаждаемых сред (зависимость коэффициентов теплоемкости, вязкости, теплопроводности, плотности от температуры (для газообразных сред и от давления)).

3. Система уравнений подобия с библиотекой характерных коэффициентов и зависимостей для расчета теплопередающих параметров (коэффициентов теплоотдачи, термического сопротивления загрязнений).

В техническом задании на подбор КТ пользователь должен выбрать его тип с учетом особенностей охлаждающей среды. Кроме этого, в зависимости от характеристик охлаждаемой среды (вязкость, токсичность, пожароопасность, взрывоопасность, коррозионная агрессивность и другие) и условий охлаждения (температура и давления) выбирается способ исполнения КТ.

Программа проста в работе: пользователь задает известные величины в окошки, выделенные белым цветом (рис. 3, 5). К таким параметрам относятся температурный режим охлаждающего воздуха; тепловая нагрузка, тип (состав) и параметры (расход, температура, давление) охлаждаемой рабочей среды; термическое сопротивление загрязнений; допустимые гидравлические потери, минимальный запас площади поверхности теплообмена.

Выбор метода расчета осуществляется через задание пяти известных параметров (рис. 5). Существует восемь вариантов расчета, для каждого из которого имеются ограничения (таблица).

Таблица

Варианты расчета КТ

	Известные параметры	Неизвестные параметры	Ограничения
1	$t_{11}, t_{21}, t_{22}, G_1, G_2$	$Q, t_{12}$	$t_{21} < t_{22} < t_{11}, \frac{G_2 c_2}{G_1 c_1} < \frac{t_{11} - t_{21}}{t_{22} - t_{21}}$
2	$t_{11}, t_{12}, t_{21}, G_1, G_2$	$Q, t_{22}$	$t_{21} < t_{12} < t_{11}, \frac{G_2 c_2}{G_1 c_1} < \frac{t_{11} - t_{21}}{t_{22} - t_{21}}$
3	$t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22}, G_2$	$Q, G_1$	$t_{21} < t_{22} < t_{11}, t_{21} < t_{12} < t_{11}$
4	$t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22}, G_1$	$Q, G_2$	$t_{21} < t_{22} < t_{11}, t_{21} < t_{12} < t_{11}$
5	$Q, t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22}$	$G_1, G_2$	$t_{21} < t_{22} < t_{11}, t_{21} < t_{12} < t_{11}$
6	$Q, t_{11}, t_{12}, t_{21}, G_2$	$G_1, t_{22}$	$t_{21} < t_{12} < t_{11}, \frac{Q}{G_2 c_2} <  t_{11} - t_{21} $
7	$Q, t_{11}, t_{21}, t_{22}, G_1$	$G_2, t_{12}$	$t_{21} < t_{22} < t_{11}, \frac{Q}{G_1 c_1} <  t_{11} - t_{21} $
8	$Q, t_{11}, t_{21}, G_1, G_2$	$T_{22}, t_{12}$	$\frac{Q}{G_1 c_1} <  t_{11} - t_{21} , \frac{Q}{G_2 c_2} <  t_{11} - t_{21} $

Пользователь может сам выбирать единицы измерения различных величин в соответствии со своими задачами. Так расход среды можно задавать в т/ч или кг/с, тепловую мощность – кВт, МВт или Гкал/ч, давление – Па или атм. При изменении единиц измерения, ранее введенные величины корректно пересчитываются: программа хранит значения во внутренних единицах, не зависящих от выбора пользователя.

Программа может осуществлять расчет КТ для охлаждения потоков сред имеющихся в библиотеке (вода, дизельное топливо, бензин, природный газ, мазут, трансформаторное масло и др.), а также для других сред с известными теплофизическими характеристиками. Методики расчета тепловых и гидравлических параметров КТ основаны на российских нормах, приведенных в нормативно-технических документах [1, 2]. Корректность задания параметров, а также выполнения условий применимости методик теплового и гидравлического расчетов проверяется программой на этапе ввода – в случае обнаружения проблемы выдается соответствующее диагностическое сообщение.

Расчеты КТ, выполняемые в программе, могут быть двух типов:

- поверочный – пользователь проверяет реализацию тепловых нагрузок КТ, выбранного из имеющегося номенклатурного ряда выпускаемых аппаратов;
- конструкторский – пользователь проектирует конструкцию КТ под определенные тепловые режимы.

При проведении поверочного расчета КТ пользователь с помощью диалогового окна задает определенную конструкцию аппарата (рис. 3), а при конструкторском – позволяет

программе выбирать длину труб, число рядов и ходов секции (режим «авто»).

Оптимизация конструкции КТ выполняется сначала на основе

1. теплотехнического расчета (критерием соответствия является теплопередающая поверхность  $F$  теплообменника),

2. гидравлического расчета (критерием соответствия является допустимые потери давления по тракту охлаждаемой среды).

Оптимизацию конструкции КТ программа производит перебором всех вариантов, начиная с варианта с наименьшим диаметром кожуха, наименьшим числом ходов и наименьшей длиной трубы.

Если расчетная для осуществления теплового режима площадь теплопередающей поверхности более площади теплопередающей поверхности выбранного КТ, то программа сначала увеличивает число ходов, затем длину труб  $l$  пучка, а затем диаметр кожуха. При отсутствии необходимого результата программа увеличивает количество аппаратов.

Если потери давления по тракту охлаждаемой среды больше допустимого значения, то программа первоначально уменьшает число ходов, а затем увеличивает количество подключенных параллельно аппаратов.

**Заключение.** Разработана функциональная модель программы «Тепловой и гидравлический расчет кожухотрубных теплообменников», которая позволяет выполнять следующие задачи:

- тепловой и гидравлический расчет различных вариантов конструктивного исполнения кожухотрубных теплообменников (КТ),
- оптимизировать компоновочные параметры теплообменного пучка и конструкцию КТ под определенные теплотехнические и гидравлические нагрузки,
- рассчитывать КТ для охлаждения различных одно- и двухфазных сред, а также для охлаждения среды с фазовым переходом.

## Литература

1. Канавец Г. Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. Киев: Наук. думка, 1979. 352 с.
2. Справочник по теплообменникам. Под ред. О.Г. Мартыненко М.: Энергоатомиздат, 1987. 352 с.
3. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи: учеб. пособие / И. В. Доманский [и др.]; под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
4. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: учеб. пособие / А. М. Бакластов [и др.]; под общ. ред. А. М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 336 с.