

Калькулятор теплообменного аппарата.

Калькулятор теплообменника предназначен для ввода параметров греющего и нагреваемого теплоносителей на паспортном режиме, а так же для ввода геометрических характеристик аппарата.

Калькулятор теплообменного аппарата позволяет выполнить его поверочный расчет на произвольном режиме работы различными методами и выявить ошибки исходных данных.

Калькулятор теплообменника используется при формировании справочника теплообменных аппаратов, при паспортизации теплообменников, установленных в котельных, а так же для выполнения поверочного расчета произвольного теплообменного аппарата.

Форма Калькулятор теплообменного аппарата.

Форма **Калькулятор теплообменного аппарата** предназначена для ввода данных и выполнения поверочного расчета теплообменников. Форма используется для ввода данных при паспортизации теплообменников, установленных в котельных, для заполнения справочников, а так же для ввода данных по произвольным теплообменникам.

Греющий теплоноситель		Нагреваемый теплоноситель	
Расход	7.782 т/ч	39.905	т/ч
Состояние на входе	вода	вода	
давление	0.5 МПа	7	кг/см2
температура, грС	140	70	
степень сухости	0		
Состояние на выходе	вода	вода	
давление	0.5 МПа	7	кг/см2
температура, грС	80	81.81	
степень сухости	0		


Результаты расчета теплообменника		
Наименование параметра	Значение	Размерность
Геометрические характеристики аппарата		
Число трубок	37	шт
Шаг трубок в пучке	21.1	мм
Эффективная длина труб	8.033	м
Среднее число труб в одном ходу	37	шт
Число рядов труб	6	шт
Сечение для прохода греющего теплоносителя	0.005063	м2
Сечение для прохода нагреваемого теплоносителя	0.012167	м2
Эквивалентный диаметр межтрубного пространства	20.7	мм
Результаты поверочного расчета аппарата		
Теплопроизводительность по теплопередаче	549.046	кВт
Теплопроизводительность по балансу	549.018	кВт
Невязка теплопроизводительности	0.01	%
Температурный напор	27.36	град
Козф теплопередачи	1343.12	Вт/м2 град
Козф теплоотдачи греющего теплоносителя	4030	Вт/м2 град


Назначение элементов формы.


Элемент *navRow* (поз. 1) предназначен для ввода паспортных данных на теплообменник.


Элемент *navRow* (поз. 1) отображает одну запись из таблицы паспортизации или справочника и все сохраненные записи из таблицы произвольных теплообменников. Группа элементов (поз. 2) предназначена для ввода данных к поверочному расчету теплообменника.


Элемент *DataGrid* (поз. 3) отображает результаты расчета теплообменного аппарата.


Кнопка  предназначена для импорта паспортных данных на теплообменник из справочника.


Кнопка  предназначена для выполнения контрольного расчета теплового баланса аппарата.


Кнопка  предназначена для выбора схемы токов теплоносителей аппарата.


Кнопка  предназначена для расчета и контроля геометрических характеристик аппарата.


Кнопка  предназначена для ввода дополнительных данных к расчету теплообменника.




Кнопка  предназначена для вызова руководства по калькулятору теплообменника.

Кнопка  предназначена для заполнения данных к расчету паспортными данными теплообменника.

Кнопка  Расчет предназначена для выполнения поверочного расчета теплообменника.



Кнопка  Результаты расчета подробно предназначена для просмотра подробных результатов поверочного расчета теплообменника.

Кнопка  Применить результаты расчета предназначена для заполнения полей исходных данных значениями, полученными после вычисления режимных или геометрических характеристик аппарата.

Кнопка  предназначена для просмотра протокола контроля данных. Приведение кнопки  в положение “нажато” отображает перечень ошибок, выявленных во время предыдущих программных действий, например, поверочного расчета теплообменника, контроля теплового баланса, расчета геометрических характеристик. Приведение кнопки  в положение “отжато” отображает результаты выполнения предыдущих программных действий.

Назначение полей таблицы данных теплообменного аппарата (элемент *navRow* поз. 1).


Поле	Описание поля
Наименование	Наименование теплообменного аппарата. Поле носит информационный характер.
Назначение теплообменника*	Технологическое назначение теплообменника. Значение выбирается из списка: <ul style="list-style-type: none"> • водоводяной • пароводяной • охладитель пара • охладитель конденсата • охладитель выпара • охладитель продувки • подогреватель мазута При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Тип теплообменника	Тип теплообменника. Значение поля выбирается из списка, сформированного на базе справочника теплообменных аппаратов.
Конструкция теплообменника*	Конструкция теплообменного аппарата. Значение выбирается из списка: <ul style="list-style-type: none"> • кожухотрубный • пластинчатый При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Метод расчета	Метод, применяемый для поверочного расчета

	<p>теплообменника на произвольном режиме работы. Значение поля выбирается из списка</p> <ul style="list-style-type: none"> • метод Соколова-Зингера • классический метод • классический с поправкой <p>При отсутствии значения в поле для расчета кожухотрубного теплообменника используется классический метод с поправкой, а для пластинчатого – метод Соколова-Зингера.</p>
Площадь поверхности нагрева*	<p>Площадь поверхности нагрева теплообменного аппарата, м².</p> <p>Кнопка , размещенная в поле, позволяет вычислить значение площади поверхности нагрева теплообменника, по значению других геометрических характеристик. При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.</p>
Теплопроизводительность	Производительность теплообменника по паспортным данным завода-изготовителя.
Расход греющего теплоносителя*	Массовый расход греющего теплоносителя, поступающего в теплообменник. Кнопка  , размещенная в поле, позволяет определить массовый расход греющего теплоносителя, если в паспортных данных завода-изготовителя задан объемный расход.
Греющий теплоноситель на входе*	<p>Состояние греющего теплоносителя на входе в теплообменник по паспортным данным завода-изготовителя. Значение поля выбирается из списка:</p> <ul style="list-style-type: none"> • вода • пар перегретый • пар насыщенный • вода насыщенная • 2-х фазная (вода-пар) • вода сверхкритическая • пар сверхкритический • мазут <p>При отсутствии значения в поле теплообменник может быть признан недоступным для расчета, если заданных параметров греющего теплоносителя на входе в теплообменник недостаточно для определения его состояния или, если не указано технологическое назначение теплообменника.</p>
Температура греющего на входе*	Температура греющего теплоносителя на входе в теплообменник по паспортным данным завода-изготовителя. Если состояние греющего теплоносителя на входе в теплообменник соответствует насыщению, то температура потока вычисляется по давлению.
Давление греющего на входе*	Давление греющего теплоносителя на входе в теплообменник по паспортным данным завода-изготовителя.
Степень сухости греющего на входе*	Степень греющего теплоносителя, находящего в состоянии насыщения, на входе в теплообменник по паспортным данным завода-изготовителя.

Потери давления греющего теплоносителя	Потери давления на стороне греющего теплоносителя.
Аналогичное назначение имеют поля паспортных параметров греющего теплоносителя на выходе из теплообменника и нагреваемого теплоносителя на входе/выходе*.	
Геометрические характеристики кожухотрубных теплообменников.	
Диаметр обечайки*	Наружный диаметр обечайки (корпуса) теплообменного аппарата. При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Длина/высота обечайки	Длина обечайки (корпуса) горизонтального аппарата или высота обечайки (корпуса) вертикального аппарата.
Толщина стенки обечайки	Толщина стенки обечайки (корпуса) аппарата. При отсутствии значения в поле толщина стенки обечайки принимается равной 10мм.
Тип трубок аппарата*	Тип трубок, из которых набрана поверхность нагрева аппарата. Значение поля выбирается из списка: <ul style="list-style-type: none"> • прямые • U-образные При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Число ходов трубного пучка*	Количество параллельных ходов, которые делает теплоноситель, двигаясь внутри трубок теплообменника. При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Число трубок	Количество трубок, из которых набрана поверхность нагрева теплообменника. При отсутствии данных, количество трубок может быть вычислено, если для этого достаточно других геометрических характеристик аппарата.
Наружный диаметр трубок*	Наружный диаметр трубок, из которых набрана поверхность нагрева аппарата. При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Толщина стенки трубки*	Толщина стенки трубок, из которых набрана поверхность нагрева аппарата. При отсутствии значения в поле теплообменник признается недоступным для расчета.
Длина трубок.	Длина трубок, из которых набрана поверхность нагрева аппарата. Для U-образных трубок указывается полная средняя длина трубки. При отсутствии данных, длина трубок может быть вычислена, если для этого достаточно других геометрических характеристик аппарата.
Материал трубок*	Материал, из которого изготовлены трубки теплообменника. Значение поля выбирается из списка, сформированного на базе справочной таблицы сталей и сплавов. Теплообменник признается недоступным для расчета, если значение в поле отсутствует или, если в справочной таблице не указан коэффициент теплопроводности материала..
Трубный пучок	Вид трубного пучка, в который собраны трубки,

	<p>образующие поверхность нагрева теплообменника. Значение поля выбирается из списка</p> <ul style="list-style-type: none"> • шахматный • коридорный <p>При отсутствии данных в поле, принимается, что трубный пучок шахматный.</p>
Размещение труб в пучке	<p>Способ размещения труб в пучке теплообменного аппарата. Значение поля выбирается из списка</p> <ul style="list-style-type: none"> • по углам ромба • по углам квадрата • по окружностям <p>При отсутствии данных в поле, принимается, что трубки в пучке размещены по углам ромба.</p>
Шаг между трубками	<p>Расстояние между осевыми линиями смежных трубок в трубном пучке аппарата. При отсутствии данных в поле, шаг между трубками может быть вычислен на основании рекомендаций, используемых при проектировании теплообменных аппаратов.</p>
Число перегородок	<p>Количество перегородок, установленных в полости межтрубного пространства теплообменного аппарата. Поле не заполняется в том случае, если установлены перегородки типа "диск-кольцо". Для сегментных или перекрывающих перегородок при отсутствии данных в поле, обязательно заполнение данными поля "Расстояние между перегородками".</p>
Расстояние между перегородками	<p>Среднее расстояние между перегородками, установленными в полости межтрубного пространства теплообменного аппарата. Поле не заполняется в том случае, если установлены перегородки типа "диск-кольцо". Для сегментных или перекрывающих перегородок при отсутствии данных в поле, обязательно заполнение данными поля "Число перегородок".</p>
Геометрические характеристики пластинчатых теплообменников.	
Число пластин	<p>Количество пластин, из которых набрана поверхность нагрева теплообменного аппарата. Поле носит информационный характер.</p>
Материал пластин	<p>Материал, из которого изготовлены пластины теплообменного аппарата. Поле носит информационный характер.</p>
Высота пластины	<p>Высота пластин, из которых набрана поверхность нагрева теплообменного аппарата.</p>
Ширина пластины	<p>Ширина пластин, из которых набрана поверхность нагрева теплообменного аппарата.</p>
Толщина пластины	<p>Толщина пластин, из которых набрана поверхность нагрева теплообменного аппарата. Поле носит информационный характер.</p>
Длина теплообменника	<p>Длина, собранных вместе пластин теплообменного аппарата.</p>

* – поля, составляющие минимальный объем исходных данных, необходимых для выполнения поверочного расчета теплообменного аппарата.

Кнопка , размещенная в поле **Площадь поверхности нагрева**, позволяет вычислить площадь поверхности теплообмена в соответствии с заданными геометрическими характеристиками кожухотрубного или пластинчатого аппарата.

К числу геометрических характеристик, используемых при вычислении площади поверхности нагрева кожухотрубного теплообменника, относятся:

- общее количество трубок теплообменника
- диаметр трубок теплообменника
- длина трубок теплообменника

Расчетная формула для вычисления площади поверхности нагрева кожухотрубного теплообменника (в безразмерном виде):

$$F = Z_{mp} \cdot \pi \cdot d_n \cdot L$$

Z_{mp} - общее количество трубок теплообменника

d_n - наружный диаметр трубки теплообменника

L - длина трубки теплообменника

К числу геометрических характеристик, используемых при вычислении площади поверхности нагрева пластинчатого теплообменника, относятся:

- общее количество пластин теплообменника
- высота пластины теплообменника
- ширина пластины теплообменника



Расчетная формула для вычисления площади поверхности нагрева пластинчатого теплообменника (в безразмерном виде):

$$F = Z_{пл} \cdot H_{пл} \cdot B_{пл}$$

$Z_{пл}$ - общее количество пластин теплообменника

$H_{пл}$ - высота пластины теплообменника

$B_{пл}$ - ширина пластины теплообменника


Кнопка , размещенная в поле **Расход греющего/нагреваемого теплоносителя**, позволяет вычислить, подлежащий вводу, массовый расход теплоносителя, если в документе-источнике данных указан объемный расход. Для выполнения пересчета объемного расхода теплоносителя в массовый, следует нажать на кнопку , в результате чего на экране появится форма

Вычисление массового расхода теплоносителя		
Параметры теплоносителя на входе в теплообменник		
Состояние теплоносителя	вода	
Температура теплоносителя	140	грС
Давление теплоносителя	0.5	МПа
Степень сухости теплоносителя	0	доля
Объемный расход теплоносителя	120	м3/ч
Массовый расход теплоносителя	111.151	т/ч
Отмена		Применить

Назначение элементов формы **Вычисление массового расхода теплоносителя:**

- **Состояние теплоносителя** – поле отображает фазовое состояние теплоносителя в данной точке теплообменника, значение поля не подлежит редактированию и указывается заранее
- **Температура теплоносителя** – поле отображает температуру теплоносителя в данной точке теплообменника, значение поля не подлежит редактированию и указывается заранее
- **Давление теплоносителя** – поле отображает давление теплоносителя в данной точке теплообменника, значение поля не подлежит редактированию и указывается заранее
- **Степень сухости теплоносителя** – поле отображает степень сухости теплоносителя в данной точке теплообменника, значение поля не подлежит редактированию и указывается заранее
- **Объемный расход теплоносителя** – поле служит для ввода объемного расхода теплоносителя, значение которого предполагается перевести в массовые единицы измерения
- **Массовый расход теплоносителя** – поле отображает результат вычисления массового расхода теплоносителя



Для вычисления массового расхода теплоносителя следует:

1. Введите значение объемного расхода в поле **Объемный расход теплоносителя**
2. Выберите из списка единицу измерения объемного расхода
3. Выберите из списка единицу измерения массового расхода
4. Нажмите на кнопку  в поле **Массовый расход теплоносителя**

В результате описанных действий поле **Массовый расход теплоносителя** будет заполнено значением массового расхода, вычисленным с учетом параметров теплоносителя.


Для вставки полученного массового расхода в таблицу паспортных данных теплообменника нажмите на кнопку **Применить**, для отказа нажмите на кнопку **Отмена**.

Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата**.

Кнопка  предназначена для импорта паспортных данных на теплообменник из справочника. Для выполнения импорта данных по теплообменнику из справочника следует предварительно выбрать тип аппарата из списка в поле Тип теплообменника, а затем нажать на кнопку . В результате поля таблицы паспортизации теплообменника заполнятся соответствующими значениями, указанными в справочнике для аппарата данного типа.


Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата**.


Для успешного выполнения поверочного расчета теплообменника, необходимо ввести корректные значения режимных параметров теплоносителей, заданных заводом изготовителем в точках входа и выхода из теплообменного аппарата. Параметры теплоносителей в точках вход/выход из теплообменника должны соответствовать их фазовому состоянию, указанному на границах поверхности нагрева. Кроме того, значения параметров теплоносителей должны обеспечивать соблюдение теплового баланса между греющим и нагреваемым теплоносителями.

Для проверки соответствия указанных параметров теплоносителей их фазовому состоянию на границах поверхности нагрева и для контроля теплового баланса между греющим и нагреваемым потоком, следует нажать на кнопку . В результате элемент

DataGrid (поз. 3) заполнится значениями контролируемых параметров по двум категориям:

- **Данные** – значения отображают параметры состояния теплоносителей, указанные пользователем
- **Расчет** – значения отображают результаты проверки параметров состояния теплоносителей с учетом условия соблюдения теплового баланса

На заметку После выполнения проверки теплового баланса теплоносителей рекомендуется нажать на кнопку , чтобы просмотреть протокол ошибок, выявленных в процессе контроля.

Для того чтобы автоматически заполнить таблицу исходных данных по теплообменнику (элемент *navRow* поз. 1) результатами расчета, полученными во время процедуры контроля параметров состояния теплоносителей (поля столбца **Расчет** элемента *DataGrid* поз. 3), следует нажать на кнопку  Применить результаты расчета

В процессе контроля теплового баланса выполняются программные действия по выявлению критических ошибок исходных данных. Если критических ошибок не обнаружено, то производится проверка выполнения теплового баланса потоков греющего и нагреваемого теплоносителей. Условие теплового баланса в безразмерном виде записывается с помощью уравнения:

$$Q_{mo} = G_1 \cdot (i_1' - i_1'') = G_2 \cdot (i_2'' - i_2')$$

Q_{mo} - теплопроизводительность теплообменного аппарата

G_1 - расход греющего теплоносителя

i_1' - энтальпия греющего теплоносителя на входе в теплообменник

i_1'' - энтальпия греющего теплоносителя на выходе из теплообменника


G_2 - расход нагреваемого теплоносителя

i_2' - энтальпия нагреваемого теплоносителя на входе в теплообменник

i_2'' - энтальпия нагреваемого теплоносителя на выходе из теплообменника

Данное уравнение используется так же и для вычисления теплопроизводительности, расходов и параметров теплоносителей на входе или на выходе из теплообменника, если они не заданы в таблице паспортных данных теплообменника. Например, если исходные данные не содержат теплопроизводительности аппарата, то она может быть вычислена на основании заданного расхода и параметров греющего теплоносителя.

Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата**.

Информация об организации движения нагреваемого и греющего теплоносителей внутри тру трубного пучка и в полости межтрубного пространства теплообменного аппарата имеет важное значение для выполнения поверочного расчета теплообменника. Ввод данных, определяющих схему токов теплоносителей в теплообменнике, осуществляется с помощью элементов формы, которая появляется на экране после нажатия на кнопку .


Ориентация аппарата

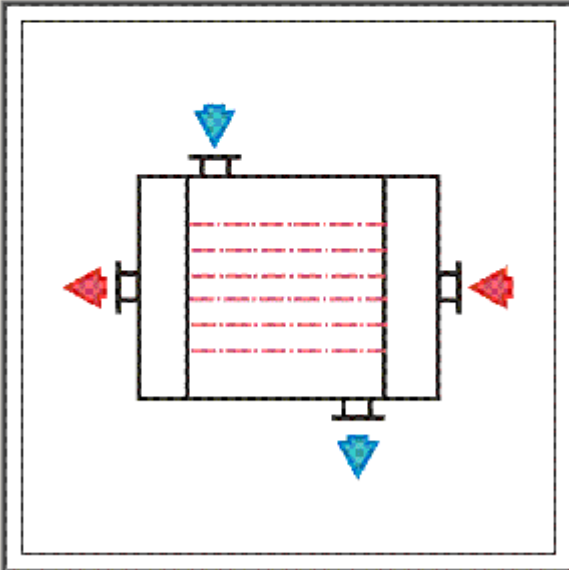
Полость греющего потока

Число ходов трубного пучка

Перегородки

Обтекание трубного пучка

 Изменить направление потока ▾



Назначение элементов формы.

Поле **Ориентация аппарата** предназначено для ввода ориентации осевой линии теплообменника, значение поля выбирается из списка: горизонтально, вертикально.

Поле **Полость греющего потока** предназначено для ввода места размещения греющего теплоносителя в теплообменнике, значение поля выбирается из списка:

- **внутри труб** – выбор этого значения будет означать, что греющий теплоноситель движется внутри трубок аппарата
- **межтрубное пространство** – выбор этого значения будет означать, что греющий теплоноситель движется снаружи трубок аппарата

Поле **Число ходов трубного пучка** предназначено для ввода количества ходов, которые делает теплоноситель, движущийся внутри труб теплообменника, значение поля выбирается из списка.

Поле **Перегородки** предназначено для указания типа перегородок, размещенных во внутренней полости цилиндрической части обечайки теплообменника, значение поля выбирается из списка:

- **сегментные**
- **диск-кольцо**
- **перекрывающие**
- **отсутствуют** – выбор этого значения будет означать, что перегородки в межтрубном пространстве теплообменника не установлены


Поле **Обтекание трубного пучка** предназначено для указания направления обтекания трубного пучка потоком теплоносителя с внешней стороны. Значение поля выбирается из списка:

- **продольное** – выбор этого значения будет означать, что пучок труб омывается внешним потоком в продольном направлении
- **поперечное** – выбор этого значения будет означать, что пучок труб омывается внешним потоком в поперечном направлении

Поле **Обтекание трубного пучка** доступно для редактирования только в том случае, если в поле **Перегородки** выбрано значение *отсутствуют*. При наличии перегородок в полости межтрубного пространства, обтекание трубного пучка теплообменника считается поперечным.

Команды кнопки **Изменить направление потока**, позволяют изменять направление движения греющего или нагреваемого теплоносителя с текущего на противоположное. Поле в нижней части формы предназначено для графического представления выбранной схемы токов теплообменника. Графическое представление схема токов меняется в зависимости от значений характеристик аппарата, выбранных пользователем. Для ввода, выбранных характеристик схемы токов теплоносителей, в таблицу данных по теплообменнику нажмите на кнопку **Применить**, для отмены выбора – нажмите на кнопку **Отмена**.

Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата**.

Кнопка  предназначена для расчета и контроля геометрических характеристик аппарата.

Геометрические характеристики, описывающие конфигурацию теплопередающих элементов аппарата, имеют важное значение для выполнения поверочного расчета теплообменника. Контроль значений геометрических характеристик теплообменника рекомендуется выполнять на этапе ввода паспортных данных. В процессе контроля выявляется наличие геометрических характеристик, подлежащих обязательному вводу и возможность вычисления характеристик, необходимых для поверочного расчета теплообменника.

Геометрические характеристики теплообменников, подлежащие обязательному вводу:

1. Площадь поверхности нагрева
2. Наружный диаметр обечайки аппарата
3. Наружный диаметр трубки
4. Толщина стенки трубки
5. Материал трубки должен быть указан в справочнике **“Стали и сплавы”** и содержать достоверные данные о коэффициенте теплопроводности
6. Схема токов теплоносителей аппарата, включающая данные:
 - ориентация аппарата
 - место размещения (полость) греющего теплоносителя
 - число ходов трубного пучка
 - направление движения греющего и нагреваемого теплоносителей
 - наличие и вид перегородок в полости межтрубного пространства

На заметку При установке сегментных или перекрывающих перегородок в полости межтрубного пространства теплообменника, обязательным является ввод одной из двух характеристик: число перегородок или расстояние между перегородками.

При отсутствии достоверных значений перечисленных характеристик, теплообменный аппарат признается недоступным для расчета.

Геометрические характеристики, значения которых могут быть вычислены или присвоены “по умолчанию”, если они не введены пользователем:


1. Толщина стенки обечайки: значение по умолчанию – 10 мм

2. Размещение труб в пучке: значение по умолчанию – по углам ромба
3. Трубный пучок: значение по умолчанию – шахматный
4. Шаг между трубками: значение вычисляется по формуле


$$S = 1.3 \cdot d_n$$

d_n - наружный диаметр трубки


Если не указано общее количество трубок в пучке, то оно вычисляется с учетом рекомендаций, используемых при конструировании теплообменных аппаратов. Если пользователь ввел общее количество трубок в пучке, то проверяется возможность размещения заданного числа трубок во внутренней полости аппарата. В процессе проверки достоверности заданного значения общего числа трубок, могут быть подвергнуты корректировке некоторые другие геометрические характеристики аппарата, например, шаг между трубками.

Для выполнения проверки достоверности введенных геометрических характеристик теплообменного аппарата следует нажать на кнопку , в результате чего элемент *DataGrid* (поз. 3) заполнится значениями геометрических характеристик, необходимых для расчета теплообменника.

Вычисляемый показатель	Описание показателя	Размерность
Геометрические характеристики аппарата	Значения геометрических характеристик, использованные в расчете теплообменника.	
Число трубок	Общее количество трубок в теплообменнике	шт
Шаг труб в пучке	Шаг между трубками в трубном пучке теплообменника	мм
Эффективная длина труб	Длина трубок, на которой происходит процесс теплообмена	м
Среднее число труб в одном ходу	Среднее количество трубок в одном ходу трубного пучка, принятое в расчете	шт
Число рядов трубок	Количество рядов трубок в трубном пучке, принятое в расчете	шт
Сечение для прохода греющего теплоносителя	Площадь поперечного сечения для прохода греющего теплоносителя	м ²
Сечение для прохода нагреваемого теплоносителя	Площадь поперечного сечения для прохода нагреваемого теплоносителя	м ²
Эквивалентный диаметр межтрубного пространства	Эквивалентный диаметр внутренней полости межтрубного пространства аппарата	мм

Для просмотра протокола ошибок, выявленных в процессе контроля геометрических характеристик, приведите кнопку  в нажатое состояние.

Для передачи геометрических характеристик, вычисленных в процессе контроля, в таблицу паспортных данных теплообменника, нажмите на кнопку

 Применить результаты расчета

Геометрические характеристики, необходимые для выполнения поверочного расчета теплообменника, вычисляются на основании введенных данных по следующим формулам.

Эффективная длина трубок:

$$L_{эф} = \frac{F}{Z_{mp} \cdot \pi \cdot d_n}$$

F - площадь поверхности теплообмена

Z_{mp} - число трубок

Среднее число трубок в одном ходу трубного пучка:

$$Z_{1x} = \frac{Z_{mp}}{n_x}$$

n_x - число ходов в трубном пучке

Площадь поперечного сечения для прохода теплоносителя внутри трубок:

$$f_2 = Z_{1x} \cdot \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4}$$

$d_{вн}$ - внутренний диаметр трубки

Площадь поперечного сечения для прохода теплоносителя в полости межтрубного пространства аппарата при продольном обтекании пучка:

$$f_1 = \frac{\pi \cdot D_{вн}^2}{4} - Z_{mp} \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}$$

$D_{вн}$ - внутренний диаметр обечайки аппарата

Площадь поперечного сечения для прохода теплоносителя в полости межтрубного пространства аппарата при поперечном обтекании пучка вычисляется с учетом схемы токов теплоносителей, наличия и вида перегородок и других факторов.

Эквивалентный диаметр полости межтрубного пространства:


$$d_{экв} = \frac{4 \cdot f_1}{\Pi}$$

Π - смоченный периметр полости межтрубного пространства

$$\Pi = \pi \cdot D_{вн} - Z \cdot \pi \cdot d_n$$

Z - количество трубок на площади поперечного сечения для прохода теплоносителя в полости межтрубного пространства аппарата.


Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата.**

Кнопка  предназначена для ввода поправок к расчету теплообменника.

Поправки к расчету теплообменника позволяют учитывать следующие факторы, влияющие на процесс передачи тепла от греющего к нагреваемому теплоносителю:

- Загрязнения поверхности нагрева на стороне греющего и нагреваемого теплоносителей
- Шероховатость поверхности теплообмена
- Наличие воздуха в греющем паре

На заметку Факторы, влияющие на теплопередачу, учитываются в том случае, если поверочный расчет теплообменника выполняется классическим методом или классическим с поправками на расчетный режим.

Для ввода факторов, оказывающих влияние на теплопередачу аппарата, следует нажать на кнопку , в результате чего на экране появится форма **Поправки к расчету теплообменника**

Поправки к расчету теплообменника

1. Данные паспортного режима аппарата

параметры паспортного режима указаны для чистой поверхности нагрева

параметры паспортного режима указаны для загрязненной поверхности нагрева

Применить

Отмена

2. Учитывать загрязнения на стороне греющего теплоносителя

Поправка к коэффициенту теплоотдачи на стороне греющего теплоносителя 0.8 1 ...

Слой загрязнений на стороне греющего теплоносителя 2 ...

толщина слоя загрязнений 3 ... мм

теплопроводность загрязнений 4 ... Вт/м К

3. Учитывать загрязнения на стороне нагреваемого теплоносителя

Поправка к коэффициенту теплоотдачи на стороне нагреваемого теплоносителя ...

Слой загрязнений на стороне нагреваемого теплоносителя Вода техническая ...

толщина слоя загрязнений 0.5 ... мм

теплопроводность загрязнений 2.174 ... Вт/м К

4. Учитывать шероховатость поверхности нагрева теплообменника

Абсолютная шероховатость поверхности 0.18 ... мм

5. Учитывать наличие воздуха в греющем паре ... %

Назначение элементов формы.

1. Группа: Данные паспортного режима аппарата.

С помощью переключателей данной группы можно указать, какому состоянию поверхности нагрева соответствуют параметры теплоносителей теплообменника, работающего на паспортном режиме. Данные этой группы используются, если теплообменник рассчитывается классическим методом с поправкой. Следует иметь в виду, что если параметры теплоносителей теплообменника указаны для загрязненной поверхности нагрева, то факторы загрязнения в расчете учитываться не будут.

2. Группа: Учитывать загрязнения на стороне греющего теплоносителя.

С помощью элементов данной группы осуществляется ввод исходных данных к расчету поправок, позволяющих учитывать снижение теплоотдачи за счет загрязнения поверхности нагрева на стороне греющего теплоносителя. Вычисление поправок к теплоотдаче может выполняться двумя способами:

1. С помощью интегрального понижающего коэффициента.

2. С помощью характеристик загрязнения поверхности теплообмена. Вычисление коэффициента теплоотдачи с учетом интегрального понижающего коэффициента выполняется по формуле

$$\alpha = \alpha_m \cdot \varphi$$

α - коэффициент теплоотдачи, вычисленный с учетом интегрального понижающего коэффициента

α_m - теоретический коэффициент теплоотдачи, вычисленный без учета факторов, влияющих на снижение теплопередачи

φ - интегральный понижающий коэффициент, учитывающий снижение теплоотдачи за счет загрязнения поверхности нагрева, ухудшенных условий омывания поверхности нагрева и других факторов, значение данного коэффициента, обычно рекомендуется принимать в пределах от 0,7 до 0,8

Вычисление коэффициента теплопередачи с учетом загрязнения поверхности теплообмена выполняется по формуле

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

α_1 и α_2 - теоретические коэффициенты теплоотдачи на стороне греющего и нагреваемого теплоносителей

δ_w и λ_w - толщина и коэффициент теплопроводности стенки теплопередающей поверхности

δ_i и λ_i - характеристики загрязнения: толщина и коэффициент теплопроводности i -слоя загрязнения поверхности теплообмена

Если флажок **Учитывать загрязнения на стороне греющего теплоносителя** отмечен галочкой, то факторы, снижающие теплоотдачу со стороны греющего теплоносителя будут учитываться в процессе расчета теплопередачи аппарата, в противном случае эти факторы не учитываются.

Для ввода значений факторов, позволяющих вычислять поправки к теплоотдаче на стороне греющего теплоносителя в процессе поверочного расчета теплообменника, следует использовать элементы группы 2.


Флажок **Поправка к коэффициенту теплоотдачи**. Если этот флажок отмечен галочкой, то поправка к теплоотдаче на стороне греющего теплоносителя будет рассчитываться на основании значения интегрального понижающего коэффициента, значение которого следует внести в поле (поз. 1). Кнопка устанавливает рекомендуемое значение интегрального понижающего коэффициента.

Флажок **Слой загрязнений**. Если этот флажок отмечен галочкой, то поправка к теплопередаче будет вычисляться с помощью характеристик слоя загрязнений, которые вводятся с помощью элементов

- список (поз. 2) позволяет выбрать вид загрязнения поверхности нагрева на базе справочной таблицы загрязнений, если вид загрязнения выбран из справочника, то поле **теплопроводность загрязнений** (поз. 4) автоматически заполняется справочным значением
- поле **толщина слоя загрязнений** (поз. 3) предназначено для ввода средней по поверхности нагрева толщины слоя загрязнений, мм

- поле **теплопроводность загрязнений** (поз. 4) предназначено для ввода среднего коэффициента теплопроводности слоя загрязнения, Вт/мК


4. Группа: **Учитывать шероховатость поверхности нагрева.**

Если флажок **Учитывать шероховатость поверхности нагрева** отмечен галочкой, то в процессе расчета теплоотдачи со стороны греющего и нагреваемого теплоносителей, будет учитываться поправка на шероховатость поверхности теплообмена. Значение абсолютной шероховатости поверхности нагрева (в мм) вводится в поле **Абсолютная шероховатость поверхности**. Если нажать на кнопку , размещенную в поле, то на экране появится список выбора абсолютной шероховатости в зависимости от состояния трубок поверхности нагрева. Список выбора абсолютной шероховатости формируется на базе справочной таблицы. Для выбора шероховатости из справочника следует щелкнуть левой кнопкой мышки на нужном элементе списка. Для отмены выбора шероховатости из справочника следует щелкнуть левой кнопкой мышки на заголовке первого столбца списка **✕ Отмена**.


5. Группа: **Учитывать наличие воздуха в греющем паре.**

Если флажок **Учитывать наличие воздуха в греющем паре** отмечен галочкой, то в процессе расчета теплоотдачи со стороны греющего пара будет учитываться поправка на процентное содержание воздуха в паре.


Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата.**

Кнопка  предназначена для вызова руководства по калькулятору теплообменника.

Кнопка  формы **Калькулятор теплообменного аппарата.**

Кнопка  предназначена для заполнения полей исходных данных к поверочному расчету теплообменника (поз. 2) паспортными параметрами греющего и нагреваемого теплоносителей аппарата.

Кнопка  Расчет формы **Калькулятор теплообменного аппарата.**

Кнопка  Расчет предназначена для выполнения поверочного расчета теплообменника.

Поверочный расчет теплообменного аппарата, в зависимости от количества искомых параметров, выполняется в следующем объеме:


- Все параметры всех теплоносителей в точках на входе и выходе из теплообменника заданы – выполняется проверка условия соблюдения теплового баланса между греющим и нагреваемым теплоносителями
- Искомым является какой-либо один параметр любого теплоносителя – искомый параметр определяется на основании уравнения теплового баланса теплообменника
- Искомыми являются какие-либо два параметра греющего или нагреваемого теплоносителей – искомые параметры вычисляются с помощью совместного решения уравнений теплопередачи и теплового баланса итерационным методом


На заметку При определенных условиях, состояние теплоносителя так же может быть искомым параметром для некоторых видов теплообменников.

Исходное состояние режимного параметра теплоносителя в процессе выполнения поверочного расчета оценивается по наличию или отсутствию галочки у соответствующего флажка в группе элементов (поз. 2). Например, если флажок рядом с полем **“Расход греющего теплоносителя”** не отмечен галочкой, то расход греющего теплоносителя будет являться искомым параметром в процессе поверочного расчета теплообменника, несмотря на то, что само поле **“Расход греющего теплоносителя”**

может содержать достоверное численное значение. Напротив, если флажок рядом с полем **“Расход греющего теплоносителя”** отмечен галочкой, то расход греющего теплоносителя будет считаться заданным параметром.

Рассмотрим порядок ввода данных к поверочному расчету теплообменника на произвольном режиме работы на следующем примере. Допустим, нужно определить расход греющего пара и температуру нагреваемой воды на выходе из пароводяного теплообменника, работающего на произвольном режиме, при этом предполагается, что все геометрические характеристики аппарата и режимные параметры теплоносителей на паспортном режиме работы внесены корректно. Для этого следует:

1. Нажмите на кнопку , чтобы заполнить поля группы элементов (поз. 2) значениями параметров, введенных для паспортного режима работы теплообменника.
2. Сбросьте галочку у флажка, размещенного слева от поля “Расход греющего теплоносителя”, чтобы сделать расход греющего пара искомым параметром расчета
3. Сбросьте галочку у флажка, размещенного слева от поля “Температура нагреваемого теплоносителя на выходе”, чтобы сделать температуру нагреваемой воды на выходе из теплообменника искомым параметром расчета
4. Если необходимо, измените численные значения других режимных показателей теплоносителей в соответствующих полях группы данных (поз. 2), чтобы произвольный режим работы теплообменника отличался от паспортного


Выполнив указанные действия, нажмите на кнопку  **Расчет**.

В случае успешного выполнения поверочного расчета теплообменника, значения искомым параметров теплоносителей будут представлены в соответствующих полях данных к расчету (поз. 2). Элемент *DataGrid* (поз. 3) будет заполнен основными результатами расчета, представленными в таблице:


Вычисляемый показатель	Описание показателя	Размерность
Геометрические характеристики аппарата	Значения геометрических характеристик, использованные в расчете теплообменника.	
Число трубок	Общее количество трубок в теплообменнике	шт
Шаг труб в пучке	Шаг между трубками в трубном пучке теплообменника	мм
Эффективная длина труб	Длина трубок, на которой происходит процесс теплообмена	м
Среднее число труб в одном ходу	Среднее количество трубок в одном ходу трубного пучка, принятое в расчете	шт
Число рядов трубок	Количество рядов трубок в трубном пучке, принятое в расчете	шт
Сечение для прохода греющего теплоносителя	Площадь поперечного сечения для прохода греющего теплоносителя	м ²
Сечение для прохода нагреваемого теплоносителя	Площадь поперечного сечения для прохода нагреваемого теплоносителя	м ²
Эквивалентный диаметр межтрубного пространства	Эквивалентный диаметр внутренней полости межтрубного пространства аппарата	мм
Результаты поверочного расчета аппарата	Значения теплотехнических показателей, вычисленных в процессе поверочного расчета теплообменника	
Теплопроизводительность по теплопередаче.	Теплопроизводительность теплообменника, рассчитанная с помощью уравнения теплопередачи	кВт
Теплопроизводительность	Теплопроизводительность теплообменника,	кВт

по балансу	рассчитанная с помощью уравнения теплового баланса	
Невязка теплопроизводительности	Невязка теплопроизводительности, рассчитанной по уравнению теплопередачи и по уравнению теплового баланса	%
Температурный напор	Средний температурный напор теплообменника	град
Коэф. теплопередачи	Коэффициент теплопередачи теплообменника	Вт/м ² град
Коэф. теплоотдачи греющего теплоносителя	Коэффициент теплоотдачи на стороне греющего теплоносителя	Вт/м ² град
Коэф. теплоотдачи нагреваемого теплоносителя	Коэффициент теплоотдачи на стороне нагреваемого теплоносителя	Вт/м ² град
Термическое сопротивление стенки	Термическое сопротивление стенки трубки с учетом возможного наличия загрязнения	Вт/м ² град

На заметку Представленный перечень результатов поверочного расчета теплообменника может изменяться в зависимости от исходных данных.


Если поверочный расчет теплообменника выполнен успешно, то для просмотра протокола ошибок, выявленных в процессе расчета, следует нажать на кнопку .

Если поверочный расчет теплообменника не выполнен, то в элементе *DataGrid* (поз. 3)

будет представлен протокол ошибок, помешавших выполнению расчета, кнопка  при этом принимает состояние “нажато”.

Кнопка  Результаты расчета подробно формы **Калькулятор теплообменного аппарата**.

Для просмотра подробных результатов поверочного расчета теплообменника следуе

нажать на кнопку , в результате чего на экране появится форма

Результаты расчета теплообменного аппарата			
Свойства теплоносителей аппарата			
Показатель	Греющий	Нагреваемый	Размерность
Полость теплоносителя	межтрубное пространство	внутри трубок	
Проходное сечение	0.166499	0.011084	м ²
Определяющий размер	0.016	0.014	м
Состояние теплоносителя на входе	пар насыщенный	вода	
Состояние теплоносителя на выходе	вода насыщенная	вода	
Определяющая температура	151.4	82.5	градС
Определяющее давление	4	4	кг/см ²
Плотность	459.2	970	кг/м ³
Теплоемкость	3361.06	4198.46	Дж/(кг град)
Теплопроводность	0.357	0.668	Вт/м град
Кинематическая вязкость	2.76	0.36	м ² /с *10 ⁶
Динамическая вязкость	0.000097	0.000351	Па с
Критерий Прандтля	1.12	2.21	
Скорость потока	0.01	1.03	м/с
Критерий Рейнольдса		39966	
Сравнение методов расчета теплообменника			
Результаты расчета	метод Соколова	классический ме	классический с п
Козф. теплоотдачи греющего, Вт/м ² град		11034.3	7142.7
Козф. теплоотдачи нагреваемого, Вт/м ² град		7575.5	4934.9
Термич. сопротивление стенки, Вт/м ² град		0.000009	0.000009
Козф. теплопередачи, Вт/м ² град	2847	4324.6	2847
Температурный напор, град	68.1	62.4	68.1
Теплопроизводительность по теплопередаче, кВт	1163.06	1618.323	1163.067
Теплопроизводительность по балансу, кВт	1162.989	1618.727	1162.989
Невязка баланса, %	0.01	0.03	0.01
Искомые параметры			
Расход греющего, т/ч	1.985	2.763	1.985
Температура нагреваемого на выходе, градС	95	104.8	95

Подробные результаты расчета теплообменника представляются по двум категориям данных: теплотехнические свойства греющего и нагреваемого теплоносителей и сравнительная таблица результатов поверочного расчета теплообменника различными методами.

Результаты вычисления теплотехнических свойств греющего и нагреваемого теплоносителей аппарата.

Показатель	Описание показателя.
Полость теплоносителя	Место размещения греющего и нагреваемого теплоносителей в теплообменнике.
Проходное сечение	Площадь поперечного сечения для прохода греющего и нагреваемого теплоносителей
Определяющий размер	Определяющий размер, использованный в расчете процесса теплопередачи на стороне греющего и нагреваемого теплоносителей
Состояние теплоносителя на входе	Фазовое состояние греющего и нагреваемого теплоносителей на входе в теплообменный аппарат
Состояние теплоносителя на выходе	Фазовое состояние греющего и нагреваемого теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата
Определяющая температура	Средняя температура, при которой определялись теплофизические свойства теплоносителей

Определяющее давление	Среднее давление, при котором определялись теплофизические свойства теплоносителей
Плотность	Средняя плотность греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Теплоемкость	Средняя теплоемкость греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Теплопроводность	Средний коэффициент теплопроводности греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Кинематическая вязкость	Средний коэффициент кинематической вязкости греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Динамическая вязкость	Средний коэффициент динамической вязкости греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Критерий Прандтля	Средний критерий Прандтля греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Скорость потока	Средняя скорость греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Критерий Рейнольдса *	Средний критерий Рейнольдса греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Критерий Нуссельта *	Средний критерий Нуссельта греющего и нагреваемого теплоносителей в аппарате
Коэффициент теплоотдачи (теор)	Коэффициент теплоотдачи, рассчитанный по классической теории теплопередачи
Коэффициент теплоотдачи (коррект)	Коэффициент теплоотдачи, рассчитанный по классической теории теплопередачи с поправкой на паспортный режим

* Критерий Рейнольдса и критерий Нуссельта вычисляются для теплоносителей, процесс переноса тепла которых, осуществляется конвекцией.

Результаты вычисления показателей теплопередачи, полученные различными методами расчета теплообменника.

Показатель	Описание показателя.
Коэф. теплоотдачи греющего	Коэффициент теплоотдачи на стороне греющего теплоносителя
Коэф. теплоотдачи нагреваемого	Коэффициент теплоотдачи на стороне нагреваемого теплоносителя
Термич. сопротивление стенки	Термическое сопротивление стенки теплопередающей поверхности с учетом слоя загрязнений
Коэф. теплопередачи	Коэффициент теплопередачи теплообменника
Температурный напор	Средний температурный напор теплообменника
Теплопроизводительность по теплопередаче	Теплопроизводительность аппарата, вычисленная по уравнению теплопередачи
Теплопроизводительность по балансу	Теплопроизводительность аппарата, вычисленная по уравнению теплового баланса
Невязка теплопроизводительности	Невязка значений теплопроизводительности, вычисленных по теплопередаче и по балансу
Искомые параметры	Значения искомых параметров теплоносителей