

SYSTEM DER RECHNERGESTÜTZTEN THERMISCHEN BERECHNUNGEN DER WÄRMEAUSTAUSCHAUSRÜSTUNG

A.B. Borisenko, S.V. Karpushkin, I.E. Zimnuchova

*Lehrstuhl "Die rechnergestützte Projektierung
der technologischen Anlagen", TSTU;
andrey@mail.gaps.tstu.ru*

Vorgelegt vom Mitglied des Redaktionskollegiums Professor W.I. Konowalow

Kennwörter und Phrasen: die automatisierte Rechnungssysteme; die Berechnung der Wärmeanlagen; die Berechnung der Wärmetauschern; die thermischen Berechnungen.

Zusammenfassung: Es ist das System für die Automatisierung der thermischen Berechnungen der Haupttypen von industriellen Wärmetauschern vorgestellt. Das System enthält die Software-Moduln, die in der Entwicklungsumgebung Microsoft Visual C# entwickelt sind. Zum Bestand des Programmkomplexes gehört auch die elektronische Datenbank für thermophysikalische Stoffdaten, die die Abhängigkeiten der thermodynamischen Eigenschaften von Produkten und Wärmeträgern von den Temperaturen enthält.

Die Wärmeaustauschprozesse finden breite Anwendung in der Chemie-, Petrochemie-, Energie-, Hütten- und Lebensmittelindustrie. In der Chemieindustrie der Anteil der Wärmeausrüstung bildet 15–18 %, und in der Petrochemieindustrie – bis zu 50 % der gesamten Ausrüstung [1].

Die Wärmeprozesse werden in der Industrie für die Abkühlung der heißer Umgebung, für das Erwärmen der kalten Wärmeträger, für die Durchführung der Prozesse der Verdunstung, der Kondensation, der Verdampfung, des Schmelzens, der Kristallisation u. a. verwendet [2, 3].

Die Projektierung der Wärmeaustauschanlagen enthält eine Reihe von Berechnungen: thermische, hydraulische, mechanische (festigkeits-), technisch-ökonomische. Die wesentliche Berechnungsart ist die thermische Berechnung, die die erforderliche Wärmeaustauschfläche bestimmt kann.

Das von den Autoren entwickelte System «Heat Exchangers Design» (HeatExchange) ist für der rechnergestützte thermischen Berechnungen der Haupttypen von industriellen Wärmetauschern zugeordnet, einschließlich der Folgenden:

- Doppelrohr-Wärmeübertrager (ohne Veränderung von Aggregatzustand des Produktes und des Wärmeträgers);
- Rohrbündel-Wärmeübertrager (der Aggregatzustand sowohl des Produktes, als auch des Wärmeträgers kann sich ändern);
- Platten-Wärmeübertrager (ohne Veränderung der Aggregatzustand des Produktes und des Wärmeträgers);

– Innere Rohrschlangen-Wärmeübertrager (ohne Veränderung von Aggregatzustand des Produktes im Apparat, in Rohrschlangen ist die Kondensation ermöglicht);

– Mäntel des Rührkessels, die aus den Rohren, Halbrohren, Winkeln oder Kastenträgern hergestellt sind (ohne Veränderung von Aggregatzustand des Produktes im Apparat, im Mäntel ist die Kondensation ermöglicht).

Zum Bestand des Programmkomplexes gehört auch die elektronische Datenbank für thermophysikalische Stoffdaten, die die Abhängigkeiten der thermodynamischen Eigenschaften von Produkten und Wärmeträgern von den Temperaturen enthält: einschließlich Densität, dynamische Viskosität, Wärmeleitkoeffizienten, spezifische Kondensationswärme, thermische Ausdehnungskoeffizienten, Oberflächenspannungen, sowie Wärmeleitkoeffizienten der Materialien der Wände und der Isolationsmaterialien. Die Werte der Eigenschaften von Stoffen sind in der relationale Datenbank aufgrund des Paradigmas «Objekt-Eigenschaften-Werte» vorgestellt.

Für die Lösung der Aufgaben der Bestimmung der notwendigen Parameter der oben genannten Wärmeaustauscher ist es erforderlich, die Reihe der Ausgangs- und Informationsdaten aufzugeben. Bei der Auswahl des Stoffes aus der Datenbank, alle seinen thermophysikalischen Eigenschaften werden automatisch aufgegeben sein. Darüber hinaus ermöglicht es die Dateneingabe vom Benutzer des Systems.

Für das Produkt, wenn sich sein Phasenzustand nicht ändert, ist es erforderlich, die Temperatur auf dem Eingang und dem Ausgang des Wärmeübertragers, sowie die Massenstrom aufzugeben. Wenn sich der Phasenzustand des Produktes ändert (das Produkt wird verdichtet oder verdampft), so muss man seinen Druck (für den reinen Stoff), oder die Verdampfungstemperatur (für die Stoffgemisch), sowie den Massenstrom aufgeben. Wenn im Wärmetauscher wird die Anwärmung der Flüssigkeit bis zur Verdampfungstemperatur und (oder) die Dampfüberhitzung, die Dampfkühlung bis zur Kondensationstemperatur und (oder) die Unterkühlung des Kondensates ausgeführt, muss man auch die Temperatur auf dem Eingang und dem Ausgang des Wärmeübertragers aufgeben.

Für den Wärmeträger, wenn sich sein Phasenzustand nicht ändert, muss man die Anfangstemperatur und noch einen Parameter aufgeben: der Endtemperatur oder Massenstrom.

Im Falle der Veränderung des Phasenzustandes des Wärmeträgers wird seinen Druck (für den reinen Stoff) oder die Verdampfungstemperatur (für die Stoffgemisch) aufzugeben.

Die Berechnung der erforderlichen Wärmeaustauschfläche des Wärmeaustausches besteht aus einigen Etappen [3, 4]:

1. Die Bestimmung der thermischen Belastung des Apparates nach dem Produkt, der mittlere logarithmische Temperaturdifferenz und der Mitteltemperatur des Produktes und des Wärmeträgers.

2. Die Bestimmung der Massenstrom des Wärmeträgers (wenn seine Endtemperatur aufgegeben ist) oder der Endtemperatur (wenn der Massenstrom aufgegeben ist) aus der Wärmebilanzgleichung.

3. Wenn die überschlägige Berechnung (für den Rohrbündel-Wärmetauscher, der Innere Rohrschlangen oder Mäntel) oder die Berechnung für einen bestimmten Wärmeübergangszahl Kt gewählt ist, wird die Bestimmung der voraussichtlichen Wärmeaustauschfläche durchgeführt. Wenn Nachrechnung gewählt ist, so siehe den Punkt 5.

4. Die vorläufige Auswahl des Wärmeübertragers nach der gefundenen Wärmeaustauschfläche.

5. Die Bestimmung der Wärmeübergangswert für das Produkt und den Wärmeträger mit der Nutzung der Größengleichung für die entsprechenden Wärmeprozesse, der Strömungsregime des Wärmeträgers, der Konstruktionscharakteristiken des Wärmeaustausches (der Querschnittsfläche des Rohr- und Interrohrraumes, der räumliche Orientierung des Apparates usw.).

6. Die Bestimmung der Temperaturen der Wände von der Seite des Produktes und des Wärmeträgers durch die Lösung des Bilanzgleichungssystems der Wärmeströme.

7. Die Umrechnung der Wärmedurchgangszahl unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstand der Verschmutzungen Schichten der Wände von der Seite des Produktes und des Wärmeträgers.

8. Die Bestimmung der rechnerischen Wärmeaustauschfläche bei der Grundgleichung der Wärmeübertragung und die endgültige Auswahl des Wärmeaustauschers.

Das Beispiel der Arbeit des Systems ist auf der Zeichnung 1 vorgestellt.

Die Auswahl der Angleichungen für die Berechnung der berichtigten Wärmeübergangswerte hängt von der Art des Wärmeaustausches (ohne Veränderung von Aggregatzustand, das Kochen oder der Kondensation), von der Art der gewählten Oberfläche des Wärmeaustausches (flach, rohrförmig), von der Konstruktionsart (Rohrbündel-Wärmetauscher, der Innere Rohrschlangen, der Mäntel usw.), von der Strömungsführung des Wärmeträgers (laminarer Bereich, Übergangsbereich, turbulenter Bereich) ab [4, 5].

Vielen Berechnungsformeln für die Bestimmung der Wärmeübergangswerte enthalten in der offenbaren oder impliziten Art die Temperaturen der Wände der Apparatelemente (der Rohre, der äußerlichen Oberfläche, der Oberfläche der Isolation).

Also, in der Gesamtansicht die Berechnungsformeln für die Bestimmung der Wärmeübergangswerte kann man in der folgenden Art aufzeichnen:

$$\alpha = \frac{\lambda}{l} f(\text{Re}, \text{Pr}, \text{Gr}, t_{\text{wand}}),$$

1. Параметры расчета
 Тип расчета: **Поверочный**
 Тип пространства рубашки: **Тепловой процесс**
 Тепловой процесс: **Без фазового периода**
 Агрегатное состояние: **Жидкое**
 Количество/масса: **Масло АМТ-300 (100)**
 Начальная температура, [гр.С]: **150**
 Конечная температура, [гр.С]: **140**
 Массовый расход, [кг/ч]: **0**

2. Пространство рубашки
 Тепловой поток: **Усиленная юкслета (100)**
 Начальная температура, [гр.С]: **40**
 Конечная температура, [гр.С]: **120**
 Объем смеси, [м³/ч]: **16**
 Длительность процесса, [ч.м]: **12:00:00**

3. Пространство аппарата
 Тип рубашки: **Полурубашка**
 Толщина стенки аппарата, [мм]: **12**
 Диаметр полурубашки, [мм]: **106**
 Высота полурубашки, [мм]: **53**
 Диаметр навитки рубашки, [мм]: **2400**
 Толщина стенки рубашки, [мм]: **8**
 Шаг навитки рубашки, [мм]: **211**
 Количество витков: **4,15**
 Премещаемое устройство: **Нет**

4. Аппарат с теплообменным устройством
 Тип рубашки: **Полурубашка**
 Толщина стенки аппарата, [мм]: **12**
 Диаметр полурубашки, [мм]: **106**
 Высота полурубашки, [мм]: **53**
 Диаметр навитки рубашки, [мм]: **2400**
 Толщина стенки рубашки, [мм]: **8**
 Шаг навитки рубашки, [мм]: **211**
 Количество витков: **4,15**
 Премещаемое устройство: **Нет**

5. Изоляция рубашки
 Толщина стенки аппарата, [мм]: **12**
 Диаметр полурубашки, [мм]: **106**
 Высота полурубашки, [мм]: **53**
 Диаметр навитки рубашки, [мм]: **2400**
 Толщина стенки рубашки, [мм]: **8**
 Шаг навитки рубашки, [мм]: **211**
 Количество витков: **4,15**
 Премещаемое устройство: **Нет**

Изоляция рубашки
 Материал изоляции, [мм]: **Асбестовая ткань**
 Температура изоляции, [гр.С]: **45**
 Температура окружающей среды: **20**

Тип расчета
 Тип расчета теплообменного устройства (ориентировочный, поверочный или по заданному коэффициенту теплопередачи)

Толщина стенки аппарата, мм: **12**
 Диаметр навитки рубашки, мм: **2400**
 Шаг навитки рубашки, мм: **211**
 Число витков рубашки: **4,150**

Расчет
 Средняя температура в рубашке, гр.С: **145**
 Средняя температура в аппарате, гр.С: **80**
 Средняя разность температур, гр.С: **58,141**
 Формулы для расчета коэффициентов теплоотдачи
 Коэффициент теплоотдачи для пространства рубашки рассчитывается по формуле для случая вынужденного движения жидкости в змеевике, рубашке из полурубашки
 Источник: Перемешивание в жидких средах: физические основы и инженерные методы расчета / Л.Н. Брагинский и др. - Л.: Химия, 1984. - с. 170

$$\alpha := 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d_3} \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{ст}}} \right)^{0,14} \cdot \text{ст}$$

Коэффициент теплоотдачи для пространства аппарата рассчитывается по формуле для случая свободной конвекции
 Источник: Методы расчетов процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). Учеб. пособие для вузов / П.Г. Романков и др. - СПб.: Химия, 1993. - с. 134

$$\alpha := \frac{\lambda}{H} \cdot 1,18 \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,125} \cdot \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25}$$

Найденные температуры стенок
 Температура стенки в рубашке, гр.С: **127,293**
 Температура стенки в аппарате, гр.С: **114,117**

Итог расчета
 Коэффициент теплопр-ти материала стенки, ккал/(ч*м²*гр.С): **14,104**
 Коэфф-т теплоотдачи в рубашке, ккал/(ч*м.кв.*гр.С): **603,827**
 Коэфф-т теплоотдачи в аппарате, ккал/(ч*м.кв.*гр.С): **313,392**
 Сопр-е загрязнений в рубашке, м.кв.*гр.С²/ккал: **0,00023**
 Сопр-е загрязнений в аппарате, м.кв.*гр.С²/ккал: **0,00058**
 Коэффициент теплопередачи, ккал/(ч*м.кв.*гр.С): **145,068**
 Требуемая поверхность теплообмена, м.кв.: **6,765**
 Обеспечиваемая поверхность теплообмена, м.кв.: **7,401**
 Требуемый тепловой поток, ккал/ч: **57058,641**
 Максимально возможный тепловой поток, ккал/ч: **62426,612**

Расчет изоляции
 Температура стенки в рубашке, гр.С: **145,207**
 Температура внутреннего слоя изоляции, гр.С: **145,123**
 Толщина слоя изоляции, мм: **73,440**

Zeichnung 1. Das Beispiel der Arbeit des Systems der rechnergestützten Berechnungen der Wärmeaustauschrausrüstung

wo λ – die Wärmeleitkoeffizient, $W/(m \cdot K)$; l – der geometrische Parameter des Apparates, m ; Re – Reynolds-Zahl; Pr – Prandtl-Zahl; Gr – Grashof-Zahl; t_{wand} – die Temperatur der Wände des Apparatelements, K .

Die Berechnungsformeln für die Bestimmung der Wärmeübergangswerte, die in dem System verwendet sind, werden in [3–7] gebracht.

Das entwickelte Rechnungssystem der thermischen Berechnungen der Wärmeausrüstung wurde in die Projektierungs- und Konstruktionsabteilung der Geöffneten Aktiengesellschaft «Pigment», Tambow, übergibt, wird bei der Ausbildung der Master-Richtungen 150400 «Die Technologischen Maschinen und Ausrüstung» und der Studenten der Fachrichtung 240801 «Die Maschinen und Apparate der chemischen Produktionen» den Methoden der Bestimmung und der Rekonstruktion der apparativen Ausrüstung der chemisch-technologischen Systeme mit breitem Sortiment aktiv verwendet.

Die Veröffentlichung ist in den Rahmen des Projektes, die Zulassungsnummer 2.2.2.3/9065, nach dem analytischen amtlichen Zielprogramm «Die Entwicklung des wissenschaftlichen Potentials der Hochschule (2009–2010 Jahre)» im Jahr 2010 erfüllt.

Literatur

1. Леонтьева, А.И. Оборудование химических производств / А.И. Леонтьева. – М. : КолосС, 2008. – 479 с.
2. Скобло, А.И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А.И. Скобло, И.А. Трегубова, Ю.К. Молоканов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1982. – 584 с.
3. Романков, П.Г. Теплообменные процессы химической технологии / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов. – Л. : Химия, 1982. – 288 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Г.С. Борисов [и др.] ; под ред. Ю.И. Дыгнерского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1991. – 496 с.
5. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учеб. пособие для вузов / П.Г. Романков [и др.]. – СПб. : Химия, 1993. – 496 с.
6. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств» / И.В. Доманский [и др.] ; под общ. ред. В.Н. Соколова – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
7. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – Л. : Химия, 1984. – 336 с.

Система автоматизированных тепловых расчетов теплообменного оборудования

А.Б. Борисенко, С.В. Карпушкин, И.Е. Зимнухова

*Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ»;
andrey@mail.gaps.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: автоматизированная информационная система; расчет теплообменников; расчет теплообменных устройств; тепловые расчеты.

Аннотация: Представлена система для автоматизации тепловых расчетов основных типов промышленного теплообменного оборудования. Система включает программные модули, разработанные в среде Microsoft Visual C#. В состав программного комплекса также входит справочник теплофизических свойств веществ, содержащий зависимости характеристик используемых рабочих сред и теплоносителей от температуры.

System of Computerized Heat Calculations for Heat Transfer Equipment

A.B. Borisenko, S.V. Karpushkin, I.E. Zimnukhova

*Department "Computer Aided Designing of Technological Equipment", TSTU;
andrey@mail.gaps.tstu.ru*

Key words and phrases: computerized data system; heat calculations; heat transfer calculations; heat transfer devices calculation.

Abstract: The paper presents the system for computerization of heat calculations of basic types of industrial heat transfer equipment. The system includes program modules developed in Microsoft Visual C#. The program complex includes the directory for thermo-physical properties of substances; it contains the dependence of characteristics used in the working environment and heat carriers on the temperature.

Système des calculs thermiques automatisés de l'équipement de l'échange de chaleur

Résumé: Est présenté le système pour le calcul thermique automatisé des types essentiels de l'équipement industriel de l'échange de chaleur. Le système comprend des modules programmés élaborés dans le milieu Microsoft Visual C#. Dans la composition du complexe programmé entre aussi l'indicateur des propriétés thermophysiques des matières contenant les dépendances des caractéristiques des milieux utilisés de travail et des supports de chaleurs à partir de la température.

Авторы: *Борисенко Андрей Борисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Зимнухова Ирина Евгеньевна* – магистрант группы МТ-53 кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Гатапова Наталия Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ».