

О принципах построения программы с использованием CALS-технологий для расчета аппаратов воздушного охлаждения

Статья посвящена созданию автоматизированной системы теплового, аэродинамического и гидравлического расчета аппаратов воздушного охлаждения (АВО), позволяющей ускорить процесс проектирования, получения необходимой документации и повысить надежность принимаемых проектных решений. Автор описывает основные положения методики расчета АВО и приводит функциональную модель программного обеспечения, разработанную с использованием CALS-технологий.

Введение

Системы охлаждения используются в химических производствах, при транспорте нефти и газа и в других отраслях промышленности. Среди систем охлаждения значительное место занимают аппараты воздушного охлаждения (АВО), в которых охлаждение продукта производится за счет обдува радиаторов воздухом. Методика теплового, аэродинамического и гидравлического расчета АВО была разработана во ВНИИнефтемаше. На ее основе создается автоматизированная интерактивная система расчета и выбора АВО с современным интерфейсом и графическим постпроцессором, позволяющая ускорить процесс проектирования, получения необходимой документации и повысить надежность принимаемых проектных решений.

Проектирование программного обеспечения

Параметры и характеристики, необходимые для расчета, а также результаты расчета хранятся в базе данных (БД) в виде таблиц. Все таблицы условно можно разделить на следующие:

- Справочники — таблицы, содержащие эмпирические зависимости, необходимые для расчета, характеристики и типы аппаратов воздушного охлаждения.
- Расчетные таблицы — таблицы с результатами расчетов.
- Вспомогательные таблицы — для перевода единиц измерения.

Для анализа функциональной модели программного обеспечения применялся международный стандарт IDEF0, широко используемый в CALS-технологиях. С помощью данной методологии функционального моделирования была создана функциональная модель, отражающая выполняемые программой процессы, а также потоки данных.

На рис. изображена функциональная модель программного обеспечения. В квадратах представлены процедуры, выполняемые программой, входные данные для которых указаны над входящими стрелками, а выходные над исходящими. Пунктирными стрелками показано использование соответствующими процедурами таблиц базы данных.

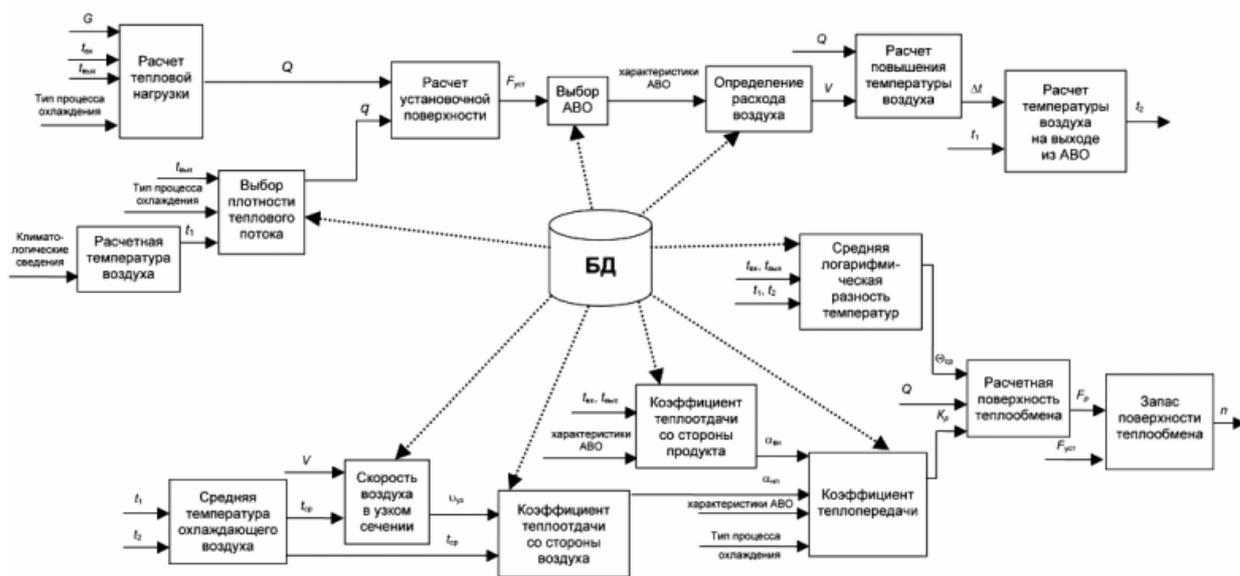


Рис. Функциональная модель программного обеспечения

Описание метода

Исходными данными для выбора АВО, его теплового и аэродинамического расчетов являются следующие параметры:

- объемный V_n или массовый G_n расход охлаждаемого или конденсируемого продукта;
- температура охлаждаемого или конденсируемого продукта на входе в АВО $t_{вх}$ и на выходе из аппарата $t_{вых}$;
- характеристика состава продукта и процесса, осуществляемого в аппарате (конденсация, охлаждение, конденсация в присутствии инертных составляющих и т. д.).

По исходным данным определяется общая тепловая нагрузка Q . В зависимости от характеристики продукта и процесса в АВО используются следующие расчетные формулы:

- при охлаждении жидких и газообразных продуктов без изменения агрегатного состояния $Q = G_n c_p (t_{вх} - t_{вых})$, где c_p — средняя теплоемкость охлаждаемого продукта;
- при конденсации холодильных агентов с охлаждением газовой фазы и конденсацией насыщенных паров

$$Q = G_n (i_n - i_k),$$

$$Q = G_n r,$$

где r — удельная теплота парообразования; i_n, i_k — начальное и конечное значение энтальпии процесса;

- при охлаждении многокомпонентной смеси с конденсацией одной или нескольких составляющих (наиболее общий случай):

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где $Q_1 = G_{n1} c_{pсм1} (t_{вх} - t_{вых})$ — полный тепловой поток на охлаждение неконденсирующихся компонентов G_{n1} ; $Q_2 = \sum G_{n2i} c_{pi} (t_{вх} - t_{ki})$ — тепловой поток на охлаждение конденсирующихся компонентов G_{n2} до температуры насыщения, соответствующей парциальному давлению; $Q_3 = \sum G_{n2i} r_i$ — тепло конденсации компонентов; $Q_4 = \sum G_{n2i} c_{pi} (t_{ki} - t_{вых})$ — тепло охлаждения конденсата.

Для расчетного определения требуемой поверхности теплообмена F_p задаются плотностью теплового потока на теплообменной поверхности q . При этом следует иметь в виду, что плотность теплового потока зависит от разности температур продукта на выходе из АВО и входящего воздуха $t_{вых} - t_1$.

Рекомендуется принимать следующие значения q , Вт/м²:

при охлаждении жидких и газообразных продуктов без изменения агрегатного состояния:

$(t_{вых} - t_1), ^\circ\text{C}$	Жидкость	Газ
8–15	до 520	290–350
15–20	470–700	350–460
20–40	700–1000	520–700
40–75	1000–1750	–

при конденсации холодильных агентов с учетом охлаждения газовой фазы и конденсации насыщенных паров:

$(t_{вых} - t_1), ^\circ\text{C}$	Холодильные агенты	Насыщенные пары
10–15	140–230	–
15–20	230–350	до 700
20–40	350–640	700–870
40–60	–	870–1280
60–75	–	1280–2100

при охлаждении многокомпонентной смеси с конденсацией одной или нескольких составляющих:

$(t_{вых} - t_1), ^\circ\text{C}$	Парогазовая смесь
15–20	400–580
20–40	580–750
40–60	750–930

По выбранному значению q определяют необходимую установочную поверхность теплообмена $F_{уст} = Q/q$ и подбирают конкретный АВО (тип, материальное исполнение, коэффициент обребрения ϕ и коэффициент увеличения поверхности ψ , число рядов труб, число ходов по трубам).

Далее определяют расход охлаждающего воздуха. Для этого совмещают характеристику вентилятора с характеристикой аэродинамического сопротивления теплообменных секций; точки их пересечения для различных углов поворота лопастей вентилятора указывают соответствующее расчетное значение производительности при условиях 20 °С и 101,3 кПа. Для АВО, оснащенных двумя вентиляторами, расчетное значение производительности увеличивают вдвое.

Расчетная поверхность охлаждения и эффективность эксплуатации АВО существенно зависят от точной оценки расчетной температуры атмосферного воздуха в том или ином климатическом районе. Методика ВНИИнефтемаша рекомендует за расчетную принимать температуру, которая не превышает в течение 95 % общего годового времени 8760 ч.

На этом завершается выбор исходных данных, после чего выполняют тепловой и аэродинамический расчеты в следующей последовательности:

определяют повышение температуры охлаждающего воздуха, °С

$$\Delta t = \frac{Q}{V_t \rho_t c_p m},$$

где m — число выбранных АВО; ρ_t — плотность воздуха, рассчитывается по температуре и давлению того климатического района, где предполагается установка АВО; t_2 — температура воздуха на выходе из АВО; $t_2 = t_1 + \Delta t$.

Если температура воздуха $t_2 \geq t_{\text{вх}}$, то следует изменить значение q в сторону увеличения необходимой поверхности теплообмена F , изменив типоразмер АВО или увеличив число выбранных аппаратов;

находят среднюю температуру охлаждающего воздуха, °С

$$t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2)/2;$$

определяют скорость воздуха в узком сечении теплообменных секций, м/с

$$v_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}} (273 + t_{\text{ср}})}{3600 F_{\text{пр}} \eta_c (273 + t_1)},$$

где $F_{\text{пр}}$ — свободная проточная площадь перед теплообменными секциями, м²[1].

Коэффициент теплоотдачи $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ со стороны охлаждающего воздуха [$\alpha_{\text{нп}} = f(v_{\text{в}}, t_{\text{ср}})$] определяют по графическим зависимостям, приведенным в методике ВНИИнефтемаша, или рассчитывают аналитически.

Коэффициент теплоотдачи со стороны продукта $\alpha_{\text{вн}}$ для конкретных процессов теплообмена и определенной геометрии поверхности теплообмена обычно находят из опыта и представляют в виде эмпирических формул, которые позволяют определить искомый коэффициент

$$\alpha_{\text{вн}} = \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} Nu,$$

где $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр трубки; $Nu = f(Re; Gr; Pr)$ — критерий Нуссельта.

Поскольку критерии Рейнольдса (Re), Грасгофа (Gr), Прандтля (Pr) изменяются в широких пределах в зависимости от теплофизических свойств, режима и характера движения продукта, при определении $\alpha_{\text{вн}}$ подсчитывают среднюю температуру продукта $t_{\text{ср. п}} = (t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})/2$, температуру конденсации $t_{\text{к}}$ и т. д. Формулы для определения $\alpha_{\text{вн}}$ широко представлены в справочной литературе.

Коэффициент теплопередачи АВО определяется по формуле:

$$K_p = \frac{1}{\frac{\psi}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нп}}} + r_3 \psi},$$

где r_3 — термическое сопротивление возможных загрязнений внутри теплообменных труб, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$.

В тепловом расчете АВО используется средняя логарифмическая разность температур, которая определяется из условия постоянного расхода теплоносителя и равномерности коэффициента теплопередачи по поверхности.

Среднюю логарифмическую разность температур определяют по известным формулам: при охлаждении жидкостей и газов

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \Theta_1 / \Theta_2},$$

при конденсации продукта

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \Theta_1 / \Theta_2},$$

где $\Theta_1 = t_{\text{вх}} - t_2$; $\Theta_2 = t_{\text{вых}} - t_1$.

При охлаждении жидких и газовых продуктов, если число ходов в АВО меньше четырех, необходимо вводить поправку на перекрестный ток теплоносителей $\epsilon_{\Delta t}$, которая зависит от параметров $R = (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})/(t_2 - t_1)$ и $P = (t_2 - t_1)/(t_{\text{вх}} - t_1)$ и определяется по графикам, приведенным в литературе [2].

Таким образом, для принятого типоразмера аппарата, расходов $V_{\text{п}}$ и $V_{\text{в}}$, температур t_1 , $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ можно определить необходимую поверхность теплообмена F_p

$$F_p = \frac{Q}{K\Theta_{\text{ср}}}.$$

Сопоставляя $F_{\text{уст}}$ и F_p , оценивают относительный запас поверхности охлаждения

$$n = \frac{F_{\text{уст}} - F_p}{F_p} \cdot 100.$$

Необходимо отметить, что запас n , хотя и удовлетворяет условию получения температуры $t_{\text{вых}}$, однако требует дальнейшего уточнения. Дело в том, что на реально эксплуатирующемся АВО через поверхность F_p проходит меньшее количество охлаждающего воздуха, чем принятое в расчете, следовательно, температура $t_{\text{вых}}$ будет достигаться на поверхности $F_{\text{ф}}$, которая больше F_p .

Для получения $F_{\text{ф}}$ необходимо проводить несколько тепловых и аэродинамических расчетов при условии $\alpha_{\text{вх}} = \text{const}$. Расчеты производят до соответствия $F_{\text{ф}}$ тому количеству воздуха, которое проходит через фактическую поверхность [1].

Заключение

Таким образом, автоматизированная система поможет производить расчет АВО по данным технической характеристики и параметрам производства, даст возможность графического представления входной и выходной информации, ускорит процесс принятия решения и снизит вероятность принятия ошибочного решения.

Создание автоматизированной системы по расчету АВО даст экономию временных и денежных ресурсов при проектировании АВО и повысит рациональность и эффективность эксплуатации АВО, используемых в различных отраслях производственной деятельности.

Литература

1. Крюков Н. П. Аппараты воздушного охлаждения. М.: Химия, 1983. 168 с.
2. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. М.: ВНИИнефтемаш, 1971.

Ye. A. Korolenko

**ON PRINCIPLES OF PROGRAM DEVELOPMENT USING CALS-TECHNOLOGIES
IN DESIGNING AIR COOLING MACHINES**

The article is devoted to creating an automatic system of heat, aerodynamic and hydraulic design of air cooling machines (ACM), which makes it possible to intensify a design process and to obtain needed documentation, as well as to improve reliability of taken project solutions. The author describes essential points of ASM calculation methods, presenting a functional software model developed using CALS-technologies.