

Храпова А. В., Немтинов В. А.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Немтинова В. А.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»*

Система оборотного водоснабжения представляет собой совокупность двух частей основную и вспомогательную. Основная часть это оборудование, предназначенное для производства целевого продукта. Вспомогательная часть это оборудование, которое обеспечивает воду необходимыми свойствами, подачу воды к основной схеме. Необходимыми элементами этой части являются: оборудование по очистки воды, оборудование по охлаждению (нагреву) воды, оборудование по смене, добавлению (в случае необходимости) и перекачке воды.

В общем виде задача автоматизированного проектирования замкнутых систем оборотного водоснабжения предусматривает: подбор типа, количества и геометрических размеров оборудования для каждой стадии выбранной схемы вспомогательной части замкнутой системы оборотного водоснабжения по найденным данным.

Исходными данными для расчетов являются: производительность основной схемы или отдельной ее ветви, напор в схеме или отдельной ее ветви, начальная и конечная температура целевого продукта и оборотной воды, поверхность теплообмена, характеристики аппарата, характеристики продукта и оборотной воды (вязкость, плотность, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость) и др.

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции

$$I_{opt} = \min_{w \in W} F_w, \quad (1)$$

при выполнении ограничений:

$$t_{out} \leq t^{\lim}; c_{out} \leq c^{\lim} \quad (2)$$

и уравнений связи представляющие следующие математические модели:

- модель формирования вариантов структурных схем вспомогательной части системы оборотного водоснабжения

$$M_1(t_{in}, t_{out}, t^{\lim}, c_{in}, c_{out}, c^{\lim}, K) = 0, \quad (3)$$

- модель формирования вариантов аппаратурного оформления структурной схемы вспомогательной части системы обратного водоснабжения

$$M_2(t_{in}, t_{out}, t^{\lim}, c_{in}, c_{out}, c^{\lim}, k_{opt}, R) = 0. \quad (4)$$

Задача (1)-(4) относится к классу комбинаторных. При такой постановке ее решение невозможно получить в связи с высокой размерностью пространства переменных системы, сложностью построения математических моделей синтеза системы обратного водоснабжения и т.д. поэтому задачу синтеза системы обратного водоснабжения заменим последовательным рассмотрением двух подзадач меньшей размерности:

- формирование вариантов структур технологических схем вспомогательной части системы обратного водоснабжения и выбора оптимального из них (задача №1);

- расчет аппаратурного оформления для выбранных технологических схем(задача №2).

Задача №1 решается, как правило, редко вследствие сложности накладываемых на систему условий. Чтобы среди множества вариантов процесса выбрать оптимальный, необходимо четко определить критерии оценки, которые объединены в три группы: затраты, надежность и безопасность.

В настоящей работе предлагается следующая постановка задачи формирования варианта структуры технологической схемы: нужно подобрать структуру технологической схемы так, чтобы выполнялось условие

$$t_{in} \leq t^{\lim} ; c_{out} \leq c^{\lim} \quad (5)$$

справедливо следующее положение:

$$k_{opt} = \arg \min_{t \in T} Q_1(k). \quad (6)$$

В данной работе критерий оптимальности Q_1 представляет собой сумму взвешенных относительных потерь критериев: приведенных затрат на реализацию вспомогательной части, надежности функционирования системы, технологичности и безопасности процесса.

Интегральный критерий Q_1 равен

$$Q_1(k) = \sum_{i=1}^4 (\rho_i \omega_i(k)). \quad (7)$$

Здесь $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ - весовые коэффициенты.

$$\rho = \{\rho_i\} = \left\{ \rho_i : \rho_i > 0, i=1, \dots, 4, \sum_{i=1}^4 \rho_i = 1 \right\}, \quad (8)$$

где $\rho_i \omega_i(k)$ - взвешенные потери по i -му критерию, $\omega_i(k) = \omega_i(F_i(k))$ ($i=1, \dots, 4, k \in K$)- монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели $F_i(k)$ к безразмерному виду; $F_1(k)$ - экономиче-

ский критерий, включающий в себя укрупненные приведенные затраты на реализацию системы; $F_2(k)$ - критерий надежности функционирования системы; $F_3(k)$, $F_4(k)$ - соответственно критерий технологичности и критерий безопасности. Причем для функции $F_1(k)$ цели находим минимум, а для функций $F_2(k)$, $F_3(k)$, $F_4(k)$ - максимум.

Функции $\omega_i(k)$ ($k \in K$) имеют вид

$$\omega_1(k) = \frac{F_1(k) - F_1^0}{F_1^{\max} - F_1^0}, \quad \omega_i(k) = \frac{F_i(k) - F_i^0}{F_i^0 - F_i^{\min}}, \quad i = 2, \dots, 4. \quad (9)$$

Необходимо найти такой компромиссный вариант ($k \in K$), который не будет являться оптимальным ни для одной функции цели $F_1(k)$, $F_2(k)$, $F_3(k)$, $F_4(k)$, но окажется приемлемым для интегрального критерия $Q_I(k)$. Для вычисления которого используется информация об известных методах подготовки воды, хранящаяся в базе знаний.

Компромиссное решение в классическом варианте предполагает равенство минимально возможных взвешенных потерь $\rho_i \omega_i(k) = k_0^{\min}$, $i = 1, \dots, 4$. Поскольку в данной работе при поиске оптимального решения используется метод полного перебора, то достижение равенства взвешенных потерь $\rho_i \omega_i(k)$ является необязательным.

Следующим этапом решения задачи синтеза системы является выбор типового оборудования и его количества.

Данная задача формулируется следующим образом: для каждой стадии вспомогательной части системы оборотного водоснабжения необходимо найти такой тип, геометрические размеры и количество каждого типа оборудования, что при выполнении условий:

$$t_{out} \leq t^{\lim}; c_{out} \leq c^{\lim} \quad (10)$$

и уравнений связи, представляющих модели расчета технологического оборудования

$$M(G, t_{in}, t_{out}, t^{\lim}, \rho_{vod}, \mu_{vod}, c_{vod}) = 0 \quad (11)$$

справедливо следующее положение:

$$r_{opt} = \arg \min_{r \in R} F_2(r) \quad (12)$$

$$F_2(r) = \sum_{i=1}^M n_i (S_i^K + S_i^E) \quad (13)$$

Поскольку число типоразмеров стандартных аппаратов каждого типа невелико, при расчете необходимого числа аппаратов на каждой стадии целесообразно использовать метод полного перебора.

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

$W = K \times R$ – множество вариантов синтеза системы оборотного водоснабжения,

K - множество вариантов схем системы оборотного водоснабжения,

R - множество вариантов аппаратурного оформления вспомогательной части системы оборотного водоснабжения,

t_{in} , t_{out} и t^{lim} - температуры на входе, выходе и минимальная температура на входе в систему производства основного продукта,

c_{in} , c_{out} и c^{lim} - концентрации на входе, выходе и минимальная концентрация на входе в систему производства основного продукта,

k_{opt} - оптимальный вариант технологической схемы вспомогательной части системы оборотного водоснабжения,

F_w - приведенные затраты на строительство и эксплуатацию w -го варианта системы водоснабжения,

S_i^K - капитальные затраты (стоимость одной единицы оборудования),

S_i^E - эксплуатационные затраты (энергопотребление одной единицы оборудования),

n_i - количество выбранного оборудования,

ρ_{vod} , μ_{vod} , c_{vod} - плотность, вязкость и теплоемкость воды.

Список литературы

1. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем/ Михалевич В.С., Волкович В.Л. М.: Наука, 1982
2. Айзерман М.А. Выбор вариантов. Основы теории. / Айзерман М.А., Алескеров Ф.Т. М.: Наука, 1990