

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ПЕРВИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

На базе математического моделирования, термодинамического анализа и технико-экономической оптимизации определены оптимальные параметры установок первичного охлаждения молока, при которых достигается минимум целевой функции – рыночного аналога функции приведенных затрат.

Для создания эффективного оборудования, в том числе и для охлаждения молока, необходимо наличие критерия оптимальности и целевой функции, реализующей выбранный критерий оптимальности.

Несмотря на многокритериальность в оценке эффективности, экономический критерий является основным, так как разработка, создание и эксплуатация реального технического процесса связаны с материальными затратами, от которых ожидается экономический эффект.

В качестве целевой функции была выбрана функция рыночного аналога функции приведенных затрат, так как показано [1], что рыночные методы выбора экономически оптимального варианта в виде чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [2] имеют аналог приведенным затратам:

$$Z = E_n \cdot K + \Theta \quad (1)$$

где K – капиталовложения; Θ – ежегодные эксплуатационные издержки (затраты); E_n – нормативный коэффициент эффективности, равный обратной величине нормативного срока окупаемости дополнительных инвестиций $T_n = 7-8$ лет (численное его значение 0,12–0,14), в случае, если нормативный коэффициент эффективности дополнительных инвестиций E_n заменен на варьируемый коэффициент E (коэффициент эффективности), имеющий вид:

$$E = r / [1 - (1+r)^{-T_{ок}}], \quad (2)$$

где r – норма дисконта.

В выражении (2) период $T_{ок}$ является предельным сроком окупаемости (с учетом дисконтирования будущих доходов). В случае государственных инвестиций в охладители срок окупаемости нормирован и принимается, как и в социалистической экономике, на уровне 8 лет. Таким образом, в качестве функции цели принимается рыночный аналог функции приведенных затрат, а критерием

оптимальности выступает достижение минимума указанной функции:

$$Z = K \cdot r / [1 - (1+r)^{-T_{ок}}] + \Theta \rightarrow \min \quad (3)$$

Решение задачи оптимального проектирования базируется на математической модели процесса охлаждения [4], основные элементы блок-схемы которой представлены на рис. 1.

Разработанная математическая модель позволяет оптимизировать установки проточного типа, так как определено, что наибольший энергетический эффект достигается именно в установках указанного типа, позволяющих более чем в два раза снизить энергетические затраты на охлаждение по сравнению с танками-охладителями или с охладителями с аккумулярованием холода.

Оптимизируемыми параметрами, при которых достигается минимум функции цели

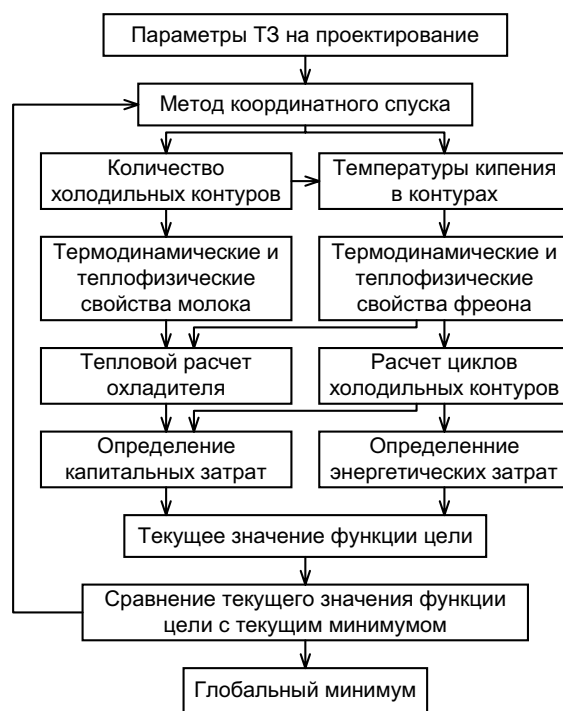
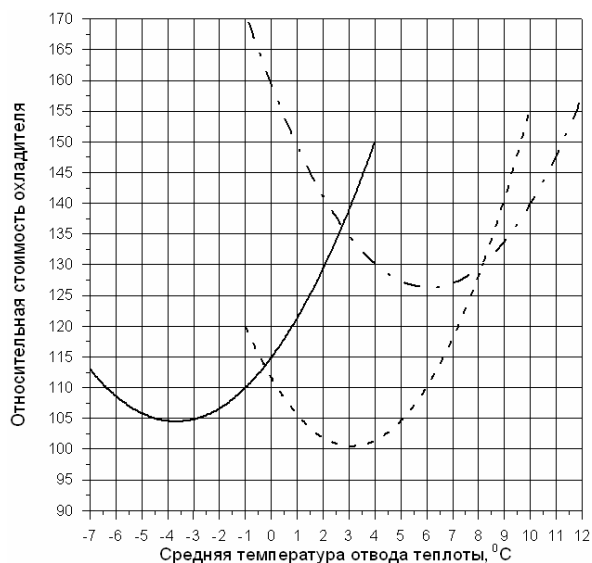


Рисунок 1



Сплошная линия – одноконтурная схема охлаждения, пунктирная линия – двухконтурная схема, штрихпунктирная линия – трехконтурная схема

Рисунок 2

(3), являются: количество компрессоров (холодильных контуров) N и температуры кипения для каждого из компрессоров t_{oi} ($i = 1..N$), при этом ограничения на температуру кипения фреона следуют из условия недопущения кристаллизации (замерзания) молока:

$$t_{cm} > t_{кр};$$

$$\alpha_m \cdot (t_m - t_{cm}) = \alpha_\phi \cdot (t_{cm} - t_0), \quad (4)$$

где $t_{ст}$, $t_{кр}$, t_m , t_0 , α_m , α_ϕ – температуры: стенки, криоскопической молока, охлажденного молока, кипения фреона, коэффициенты теплоотдачи: от молока и фреона соответственно.

Особенностью проведения оптимизационных исследований является переменное количество оптимизируемых параметров в зависимости от количества холодильных контуров N .

В результате расчета с использованием методики [5] определяются параметры компрессорного оборудования холодильных конту-

ров, потребляемая мощность приводами компрессоров, затраты электрической энергии в процессе работы сжатия компрессоров и объем заправки холодильного агента (фреона), а по методике, приведенной в [6], определяется поверхность теплообмена конденсатора и суммарная поверхность теплообмена испарителей-охладителей всех холодильных контуров.

По определенным параметрам укрупненно определяются капитальные затраты и эксплуатационные издержки рассчитываемого варианта.

На рис. 2 представлены результаты оптимизационных исследований для различного количества холодильных контуров ($N = 1, 2, 3$) в координатах «средняя температура отвода теплоты – приведенные затраты»; при этом средняя температура отвода теплоты определяется выражением:

$$\langle t_0 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N [Q_{oi} \cdot t_{oi}]}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}} \quad (4)$$

где Q_{oi} – холодильная мощность i -го контура при температуре кипения t_{oi} .

В результате расчетов определено, что оптимум выражения (3) достигается в установке с двумя контурами кипения рабочего вещества (охлаждения молока), при этом средняя температура отвода теплоты практически равна конечной температуре охлаждаемого молока, и составляет около +4 °C. Также определено, что трехконтурная холодильная установка, имеющая максимальную энергетическую эффективность, в то же время имеет минимальную эффективность из всех рассмотренных вариантов, что обусловлено незначительным ростом энергетической эффективности при существенном росте капитальных затрат.

Разработанную математическую модель и полученные результаты возможно использовать при проектировании реальных установок первичного охлаждения молока.

Список использованной литературы:

1. Ю.А. Табунщиков. Потребительские качества зданий // АВОК. 2004. № 4.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по строительству, архитектуре и жилищной политике; рук. авт. кол.: В.В. Косов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназаров. М.: ОАО «НПО» Изд-во «Экономика», 2000.
3. А.В. Попов, Л.А. Огуречников. Оптимальное проектирование абсорбционных термотрансформаторов. СПб.: СПбГУНиПТ, Сборник трудов, 1997, с. 78-81.
4. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / Под редакцией И.А. Сакуна. Л.: «Машиностроение», 1987.
5. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов, Н.М. Медникова. Л.: Машиностроение, 1973.

Статья поступила в редакцию 31.08.07