

ОПТИМИЗАЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Постановка и решение задач оптимизации на этапах проектирования и конструирования технических систем обеспечивают достижение наилучшей эффективности использования энергетических и материальных ресурсов.

Выбор вида критерия оптимальности является одним из самых ответственных моментов при постановке и решении задачи оптимизации теплообменного оборудования, так как от него зависит направленность расчета и результаты выбора окончательного варианта.

Наиболее полезным и надежным критерием оптимизации при выборе теплообменных аппаратов традиционно принято считать универсальный технико-экономический показатель – приведенные затраты Π :

$$\Pi = E \cdot K + \mathcal{E} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где K – капитальные затраты; \mathcal{E} – эксплуатационные затраты; E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

В случае оптимизации горизонтальных грунтовых испарителей тепловых насосов универсальный технико-экономический показатель несколько упрощается: нет необходимости учета в критерии оптимизации эксплуатационных затрат. Это объясняется особенностями рассматриваемой системы: количество полезной теплоты (тепла, отдаваемого потребителю) в 3 – 4 раза превышает количество энергии, затрачиваемой на работу компрессора.

Размеры горизонтального грунтового испарителя теплового насоса, необходимые для обеспечения отбора требуемой тепловой мощности из грунта, являются решением следующей задачи оптимизации.

Найти такие значения конструктивных параметров горизонтального грунтового испарителя теплового насоса:

- внутреннего диаметра трубы d ;
 - длины трубы L ;
 - глубины укладки трубы горизонтального грунтового испарителя h ,
- при которых его работа будет сопровождаться минимальным использованием материальных ресурсов, т.е. при которых критерий оптимальности (сумма капитальных затрат) будет минимальным:

$$KO = f(d, L, h) = E_m + E_r + E_x \quad (2)$$

и выполняются следующие ограничения и уравнение связи:

$$0,1 \leq d \leq 0,3; \quad (3)$$

$$1,5 \leq h \leq 5; \quad (4)$$

$$L > 0; \quad (5)$$

$$L = f_1(Q, t_{c1}, t_{c2}, d, h), \quad (6)$$

где $E_m = f_2(d, L)$ – фактор, учитывающий металлоемкость аппарата;

$E_r = f_3(L, h)$ – фактор, учитывающий стоимость строительных работ;

$E_x = f_4(d, L)$ – фактор, учитывающий стоимость рабочего вещества;

Q – требуемый теплосъем из грунта;

t_{c1} – температура испарения рабочего вещества;

t_{c2} – температура отдаленных слоев грунта.

Для решения поставленной задачи оптимизации горизонтального грунтового испарителя теплового насоса был выбран метод сеток, который может быть реализован как многомерный поиск экстремума целевой функции, в частности – двумерный поиск. Он требует предварительного определения множества допустимых значений аргументов и использует стратегию отсечения его неперспективных подмножеств. Диапазоны изменения определяемых величин выбираются исходя из реальных условий.

Минимальная глубина укладки труб горизонтального грунтового испарителя составляет 1,5 метра. Это объясняется тем, что глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров.

Верхняя граница диапазона выбрана исходя из экономических соображений. Очевидно, что при увеличении глубины траншеи стоимость строительных работ, связанных с ее рытьем, значительно возрастает, что, в свою очередь, приводит к росту общей стоимости системы.

На основе балансных соотношений можно сделать вывод о том, что минимальное значение диаметра трубы горизонтального грунтового испарителя составляет 0,1 метра. При меньших значениях диаметра для заданного расхода рабочего вещества значительно увеличивается скорость хладагента, что, в свою очередь, ведет к росту гидравлических сопротивлений и, соответственно, требует больших затрат энергии на работу компрессора.

Алгоритм решения поставленной оптимизационной задачи представлен на рис.1. На основе этого алгоритма разработана расчетная программа, тестирование которой проводилось для условий, представленных в таблице 1.

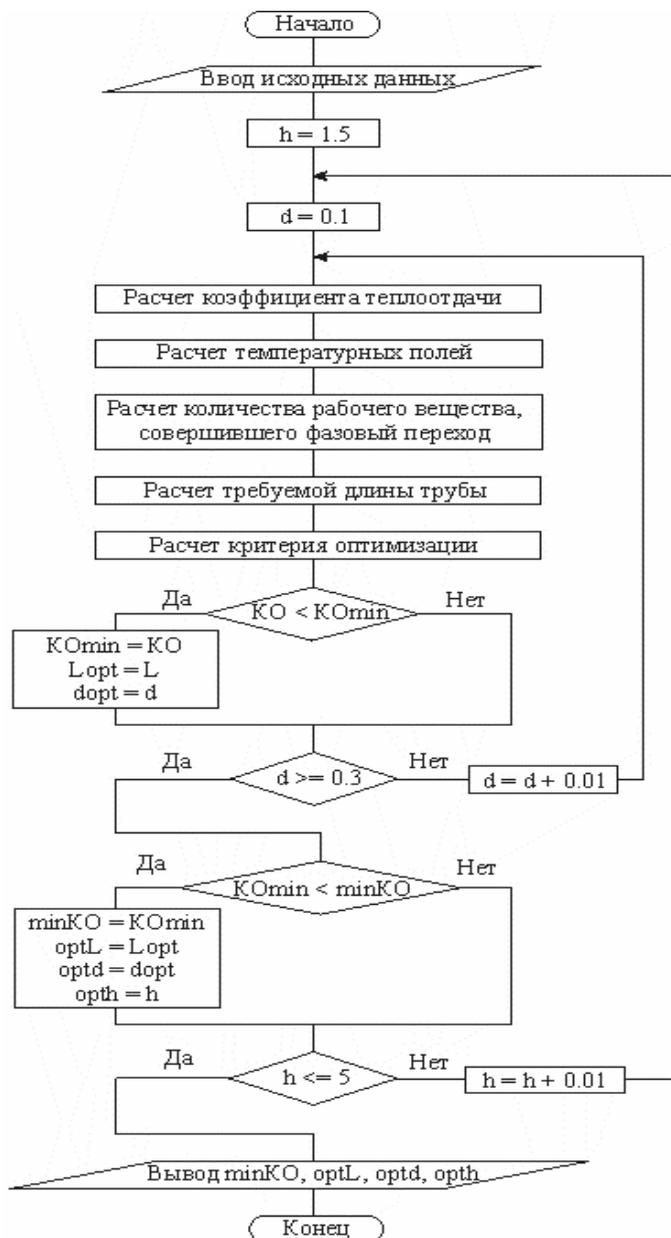


Рис. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации горизонтального грунтового испарителя теплового насоса

Таблица 1

Условия расчета

№	Наименование параметра	Обозначение, единицы измерения	Значение параметра		
1.	Обогреваемая площадь помещения	$S, [м^2]$	100	120	150
2.	Требуемая мощность отопления на единицу площади	$q, [кВт/м^2]$	0.1		
3.	Общая требуемая мощность отопления	$Q, [кВт]$	10	12	15
4.	Тепловая мощность, отбираемая из грунта	$Qg, [кВт]$	8	9.6	12
5.	Мощность, затрачиваемая на работу компрессора теплового насоса	$N, [кВт]$	2	2.4	3
6.	Коэффициент трансформации (отношение теплопроизводительности теплового насоса к мощности, затрачиваемой на работу компрессора)	$K = Q/N$	5		
7.	Температура источника низкопотенциальной тепловой энергии (температура грунта)	$t_g, [°C]$	4		
8.	Наименование промежуточного рабочего вещества	–	Хладон R – 12		
9.	Расход жидкого рабочего вещества	$G_x, [кг/с]$	0.06	0.07	0.09
10.	Температура рабочего вещества в испарителе теплового насоса	$t_x, [°C]$	– 30		
11.	Давление рабочего вещества в испарителе теплового насоса	$p_x, [ат]$	1		
12.	Температура рабочего вещества в конденсаторе теплового насоса	$t_{1x}, [°C]$	40		
13.	Давление рабочего вещества в конденсаторе теплового насоса	$p_{1x}, [ат]$	10		

Результаты решения задачи оптимизации горизонтальных грунтовых испарителей тепловых насосов, используемых для обогрева помещений различной площади, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты оптимизации

№	Наименование параметра	Обозначение, единицы измерения	Значение параметра		
1.	Обогреваемая площадь помещения	$S, [м^2]$	100	120	150
2.	Минимальные суммарные затраты	$KO, [тыс. руб.]$	179.49	215.39	269.23
3.	Оптимальный внутренний диаметр трубы горизонтального грунтового теплообменника	$d, [м]$	0.1	0.1	0.1
4.	Оптимальная требуемая длина трубы горизонтального грунтового теплообменника	$L, [м]$	80.72	96.86	121.08
5.	Оптимальная глубина укладки трубы	$h, [м]$	1.5	1.5	1.5

Поскольку в ходе работы предложенной программы по каждому из варьируемых параметров выявлено отсутствие экстремального характера изменения комплексного критерия, повторного варьирования значений независимых переменных не требуется, а оптимальные значения конструктивных параметров являются граничными в допустимых областях их изменения.

Таким образом, оптимальный вариант конструктивных параметров соответствует значениям, лежащим на нижних границах диапазонов изменения искомых характеристик.

*Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. кафедры
«Автоматизированное проектирование технологического оборудования»
Малыгина Е. Н.*