

**Кузьмин Сергей Иванович,**  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

**Куделькин Леонид Александрович,**  
магистрант, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: pgs@angtu.ru

## **МОДЕЛЬ СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ «ТЁПЛЫЙ ПОЛ»**

**Kuzmin S.I., Kudelkin L.A.**

## **MODEL OF THE COST OF THE HEATING SYSTEM "WARM FLOOR"**

**Аннотация.** Представлена математическая модель оценки стоимости системы отопления «тёплый пол».

**Ключевые слова:** энергосбережение, система отопления, единовременные затраты.

**Abstract.** A mathematical model for estimating the cost of the "warm floor" heating system is presented.

**Keywords:** energy saving, heating system, one-time costs.

В решении проблемы энергосбережения одним из наиболее перспективных методов повышения энергетической эффективности зданий является использование тепловой энергии окружающей среды – атмосферы, источников природной воды, грунта, имеющих сравнительно низкий температурный потенциал. Тепловая энергия, содержащаяся в этих источниках, извлекается тепловыми насосами с повышением температурного потенциала с целью использования в теплопотребляющих системах здания – отопления, горячего водоснабжения, вентиляции. Однако, надо иметь в виду, что энергетическая эффективность таких устройств тем выше, чем ниже уровень температуры в греющем контуре устройства [1]. Поэтому применение тепловых насосов более перспективно в системах, не требующих высоких температур теплоносителя. Именно к таким системам относятся водяные системы отопления типа «тёплый пол», в которых температуры теплоотдающей поверхности находятся в пределах 28÷32 °С. Но при всей привлекательности такого метода «производства тепловой энергии» выбор способа теплоснабжения объекта должен основываться на сравнении различных вариантов и схем теплопотребляющих систем, что в свою очередь вызывает необходимость в сведениях о стоимостных характеристиках сравниваемых вариантов.

Технологическая схема системы отопления индивидуального здания типа «тёплый пол» отличается от традиционной схемы видом теплоотдающей поверхности: вместо «высокотемпературных» нагревательных приборов (радиаторов, конвекторов и т.п.) используется поверхность пола, конструкция которого предусматривает устройство внутреннего «пирога» из нескольких слоёв материалов и системы трубопроводов для циркуляции «низкотемпературного» теплоносителя. Модели стоимостных показателей остальных элементов, состав-

ляющих систему отопления здания, определены в [2]. Поэтому для представления о полной стоимости системы отопления типа «тёплый пол» достаточно получить модель стоимости устройства конструкции и системы теплопроводов теплоотдающей поверхности.

Стоимость единовременных затрат на оборудование, материалы и монтаж такой системы отопления (в условных единицах) определяется величиной обогреваемой поверхности  $A_{нл}$ , количеством отдельных контуров  $n$  с параллельными циркуляционными кольцами:

$$C_{Т.Пл} = \bar{C}_A \cdot A_{нл} + (C_{тр} + C_{арм}) \cdot n, \quad (1)$$

где  $\bar{C}_A$  — затраты на устройство 1 м<sup>2</sup> конструкции пола;  $C_{тр}$  и  $C_{арм}$  — затраты соответственно на трубы и арматуру для одного контура отопления.

Количество контуров в системе отопления можно выразить через общую площадь нагрева  $A_{нл}$  и площадь одного контура  $A_i$ , величина которого определится из рекомендации по предельной длине труб в контуре не более 100 м и шаге укладки труб  $\delta$  равном 0,2 м. Тогда выражение (1) можно преобразовать в (2):

$$\bar{C}_{Т.Пл} = C_{Т.Пл} / A_{нл} = \bar{C}_A + (C_{тр} + C_{арм}) / 18 \quad (2)$$

Как показывает анализ цен оборудования, представленного на рынке, среднюю удельную стоимость оборудования и монтажа тёплого пола для соотношения 1 у.е./1 руб.=70 можно аппроксимировать следующим выражением:

$$\bar{C}_{Т.Пл} = 53,444 - 0,771 \cdot A_{нл} - 0,6879 \cdot Q_{ТН.0} \cdot 10^{-2} - 0,02057 \cdot A_{нл} \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Полученное выражение (3) характеризует статистическое распределение с дисперсией адекватности  $S_{ад}^2 = 0,66$  и, принимая допустимую погрешность в вычислении  $C_q$  3 %, расчётный критерий адекватности полученной модели (критерий Фишера)  $F_{ад}^{расч.}$  равен 0,82 при табличном значении  $F_{ад}^{табл.} = 3,84$  и доверительной вероятности 95 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kuzmin S.I., Ivshina N.A. Determining the cost-effectiveness of thermal energy production by air-to-water heat pumps // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 880. 012047.
2. Kuzmin S.I., Zateeva A.V. Justification of the estimated difference in the potential of the water autonomous heating system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 880. 012034.