

## Исследование распределения температуры на поверхности системы панельно-лучистого отопления во влажных помещениях

Е.Б. Митькина<sup>1</sup>, И.Н. Фурсова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ростовский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

**Аннотация:** Широкое распространение систем панельно-лучистого отопления в виде теплого пола во влажных помещениях, позволяет увеличить комфорт. Часть тепловой энергии при этом пойдет на увеличение скорости испарения с увлажняемых поверхностей. В статье описана математическая модель и алгоритм расчета температурного поля поверхности с учетом испарения. В статье выполнен численный эксперимент для анализа эффективности распределения температур системы теплого пола во влажных помещениях.

**Ключевые слова:** Испарение влаги с поверхности, фазовый переход, теплый пол, влажные помещения, температурное поле.

Широкое распространение систем панельно-лучистого отопления [1] в виде теплого пола во влажных помещениях, позволяет увеличить комфорт [2-6]. Часть тепловой энергии при этом пойдет на увеличение скорости испарения с увлажняемых поверхностей. В статье описана математическая модель и алгоритм расчета температурного поля поверхности с учетом испарения. Для анализа эффективности использования систем теплого пола выполнен численный эксперимент распределения температур системы теплого пола во влажных помещениях.

Уравнение плоского температурного поля в дифференциальном виде, описывает распределение температур на плоской поверхности [7]:

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} = 0$$

Для решения этого уравнения необходимо определить тепловой поток с учетом теплоотдачи поверхности и количества тепла, затраченного на испарение.

Закон Ньютона формулирует зависимость теплоотдачи поверхности от разности температур воздуха и поверхности:

$$q = \alpha(\tau_{\text{с}} - t_{\text{с}})$$

Однако, при мокрой поверхности пола, часть теплоты затрачивается на испарение воды с поверхности единичной площади. Согласно данным, взятым из таблицы, мы можем определить, какое количество тепла будет затрачено на скрытое парообразование.

Таблица

Удельная теплота испарения (парообразования)  $r$  воды при различной температуре воды  $t$  и нормальном атмосферном давлении

$t,$ $^{\circ}\text{C}$	$r,$ кДж/кг
0	2501
5	2489
10	2477
15	2466
18	2458
20	2453
30	2430
50	2382

Или используя эмпирическую зависимость:

$$r = (2500 - 2,4 \cdot t_n),$$

где:  $r$  – удельная теплота парообразования, кДж/кг

$t_n$  – температура поверхности

Количество тепла, затраченное на парообразование:

$$Q_{\text{пар}} = \frac{W_n \cdot r}{3600},$$

где:  $W_n$  - влаговыделение от смоченной поверхности пола, кг/ч;

$r$  - удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Количество влаги, испаряющейся в помещении с поверхности мокрого тёплого пола, будет влиять на температуру поверхности, уменьшая ее

вследствие затрачивания части энергии на фазовый переход при испарении. Определить её количество ( $W_{от}$ , кг/ч) можно по формуле [8]:

$$W_{от} = \frac{F(a + 0,0174 \cdot V) \cdot (P_1 - \varphi \cdot P_2) \cdot 760}{P_{бар}},$$

где:  $F$  – площадь поверхности испарения,  $m^2$ ;

$a$  – фактор скорости движения (подвижности) окружающего воздуха;

$V$  – относительная скорость движения воздуха над поверхностью испарения,  $m/c$ ;

$P_1$  – упругость водяного пара над поверхностью чистой воды при температуре равной температуре воды [9]:

$$P_1 = \exp\left(\frac{16,57 \cdot t - 115,72}{233,77 + 0,997 \cdot t}\right)$$

$\varphi$  – относительная влажность воздуха;

$P_2$  – упругость водяного пара в воздухе помещения;

760 – нормальное барометрическое давление для данного географического пункта,  $mm.rт. ст.$ ;

$P_{бар}$  – расчетное барометрическое давление для данного географического пункта.

Описанная методика позволяет рассчитать количество теплоты, затраченное на испарение. Как видно из формул это количество теплоты будет зависеть от температуры поверхности теплого пола. В свою очередь температура поверхности может меняться под влиянием процессов испарения. Внесем корректировку, описанную в (СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: Госстрой России, 2004), учитывая количество теплоты, затрачиваемое на испарение.

Решая это уравнение относительно  $\tau_{x,y}$ , получим окончательно:

$$\tau_{x,y} = \frac{\tau_{x-\Delta,y} \cdot k_{x-\Delta} + \tau_{x,y+\Delta} \cdot k_{y+\Delta} + \tau_{x+\Delta,y} \cdot k_{x+\Delta} + \tau_{x,y-\Delta} \cdot k_{y-\Delta} - Q_{nap}}{k_{x-\Delta} + k_{y+\Delta} + k_{x+\Delta} + k_{y-\Delta}}$$

Это и есть общая формула для вычисления температуры во всех узлах сетки.

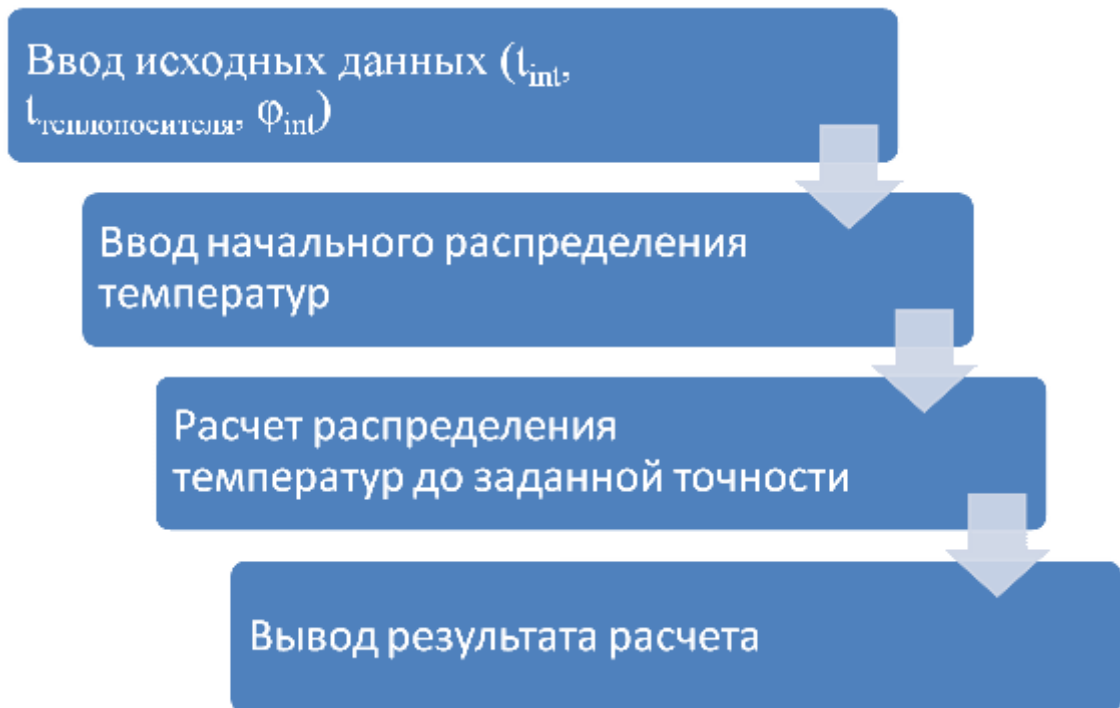


Рис. 1. Алгоритм расчета температурного поля на поверхности теплого пола.

Исходные данные для расчета выбраны с учетом рекомендаций [10]. На рис.2 представлено распределение температуры поверхности для мокрого и сухого режимов.

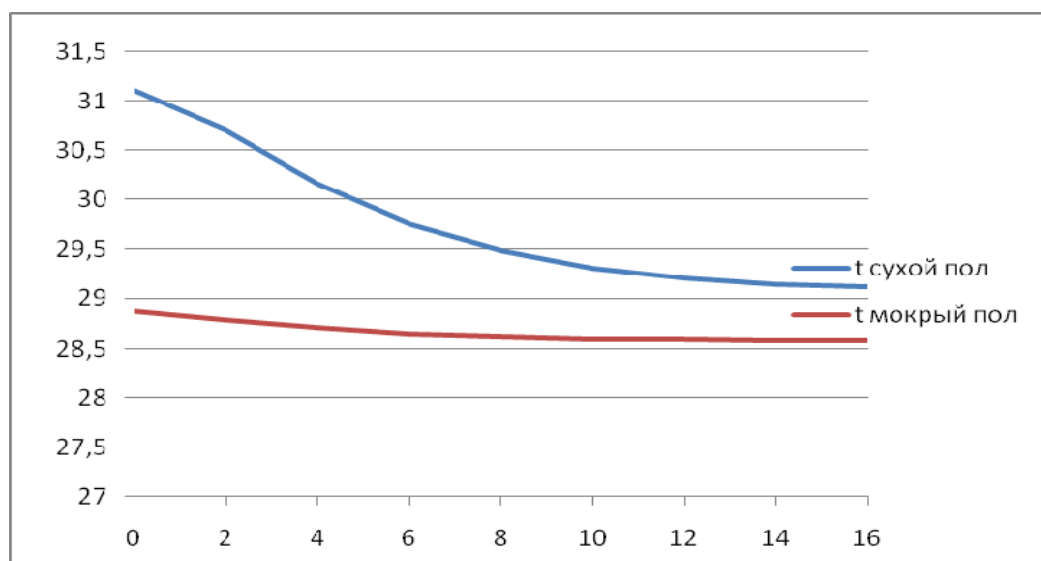


Рис. 2. Распределение температуры на поверхности пола при сухом и мокром режиме

### **Выводы**

Разработан алгоритм расчета и создана программа расчета распределения температур и теплового потока на поверхности пола, позволяющая при расчете учитывать следующие факторы: температуру теплоносителя, температуру внутреннего воздуха, расстояние между рубками, состояние поверхности пола (сухой или мокрый).

Проведены расчеты и анализ зависимости распределения температуры поверхности от состояния поверхности, показывающие меньший перепад температур на поверхности пола при влажной поверхности.

### **Литература**

1. Миссенар Ф.А. Лучистое отопление и охлаждение. М.: Гостройиздат, 1961. 320 с.
  2. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. 4-е изд. М.: Стройиздат, 1973. 289 с.
  3. Fanger, P.O., 1972. Thermal Comfort. McGraw-Hill Book Company. p.244.
  4. McNall, P.E. and R.E. Biddison, 1970. Thermal and Comfort Sensations of Sedentary Persons Exposed to Asymmetric Radiant Fields. ASHRAE Transactions, p. 76.
  5. Фурсова И.Н., Терезников Ю.А. Исследование влияния температуры внутреннего воздуха на распределение температуры поверхности тёплого пола // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2 (часть 2) URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1700](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1700)
  6. Фурсова И.Н., Терезников Ю.А. Влияние температуры теплоносителя на распределение температуры поверхности тёплого пола // Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство-2013». Ростов-на-Дону: РГСУ, 2013. С. 81.
-

7. Руденко Н.Н., Бондарев И.В. Выбор граничных условий для моделирования температурного поля грунта // Инженерный вестник Дона, 2013, №4, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2137](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2137)
8. Фурсова И. Н. Исследование целесообразности использования системы панельно-лучистого напольного отопления в помещениях бассейна // Строительство – 2015: современные проблемы строительства. Материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 16-17 мая 2015 г. Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО Ростовский государственный строительный ун-т, 2015. С. 152-154.
9. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Гальперин А.Д. и др. 3-е изд. М.: Евроклимат, 2001. 416 с.
10. Влажный воздух // АВОК справочное пособие. 2004. №1. 113 с.

### References

1. Missenar F.A. Luchistoe otoplenie i ohlazhdenie [Radiant heating and cooling]. М. Gostrojizdat, 1961. 320 p.
  2. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniya [Building heat engineering of the enclosing parts of the building]. 4-e izd. М. Stroyizdat, 1973. 289 p.
  3. Fanger, P.O., 1972. Thermal Comfort. McGraw-Hill Book Company. p.244.
  4. McNall, P.E. and R.E. Biddison, 1970. Thermal and Comfort Sensations of Sedentary Persons Exposed to Asymmetric Radiant Fields. ASHRAE Transactions, p. 76.
  5. Fursova I.N., Tereznikov Yu.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 2, (chast' 2). URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1700](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1700)
-



6. Fursova I.N., Tereznikov Yu.A. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Stroitel'stvo-2013». Rostov-na-Donu: RGSU, 2013. p. 81.
7. Rudenko N. N., Bondarev I. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2137](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2137)
8. Fursova I. N. Stroitel'stvo – 2015: sovremennye problemy stroitel'stva. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Rostov-na-Donu, 16-17 maya 2015. Rostov-na-Donu: FGBOU VPO Rostovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy un-t, 2015. pp. 152-154.
9. Sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya. Teoriya i praktika [Ventilation and air-conditioning systems. Theory and practice]. Anan'ev V.A., Balueva L.N., Gal'perin A.D. i dr. 3-e izd. M. Evroklimat, 2001. 416 p.
10. Vlazhnyy vozdukh. ABOK spravochnoe posobie. 2004. №1. p. 113.