

Разработка распределенной системы измерения температуры в помещении

Рябов Николай Александрович, студент
 Кацай Дмитрий Алексеевич, доцент
 Шаршин Дмитрий Николаевич, преподаватель
 Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Аннотация. В статье приведены результаты исследования распределенной системы измерения температуры в помещении. Целью данной статьи является измерение средней температуры в помещении при минимальном количестве узлов ее измерения с допустимой погрешностью. Предлагаемая методика измерения средней температуры иллюстрируется на примере типового помещения.

Ключевые слова: распределенная система, объемный контроль температуры, температурное поле в помещении.

Введение

Автоматическое регулирование, как средство автоматизации многих сфер жизнедеятельности человека, вошло в такое понятие как «умный дом». Система «умный дом» представлена автоматизированными комплексами управления, которые управляют каждым инженерным комплексом, электроприборами, освещением и температурой в помещении.

Определение поля температур в помещении.

Известна методика определения температурного поля, изложенная в работе [5]. Для решения задачи по определению поля температур помещения, в качестве места проведения натурального эксперимента, была выбрана не загро-

можденная оборудованием и мебелью учебная аудитория. На план аудитории нанесли основные размеры, и провели ряд регламентированных сечений, равностоящих друг от друга, как это показано на рис. 1 (сечения I, II, III и а, б, в). В узлах сечений (точки 1 – 9) производится замер температуры с помощью шарового термометра.

При замере термометром следует избегать влияния теплового излучения и влияния обдувания термометра потоком воздуха. Температура воздуха измеряется на уровнях 0,1, 1,1 и 1,7 м от пола, согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные», при этом соответствующий уровень измерения проходит через середину резервуара термометра [2].

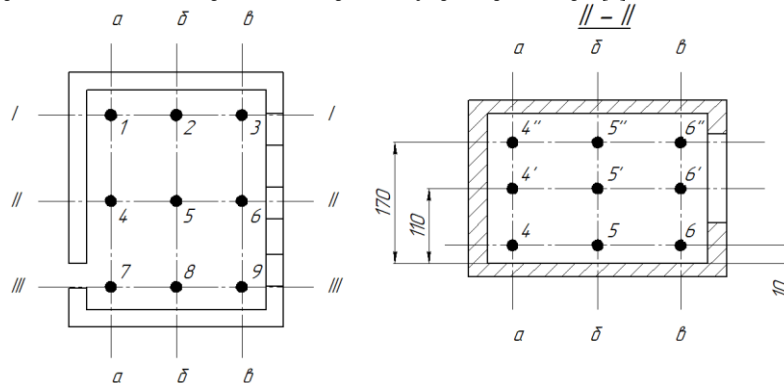


Рис.1. Расположение узлов для замеров температуры

Средняя температура воздуха в помещении для каждого опыта определяется по формуле $T_{cp} = \frac{\sum_1^n t_n}{n}$, где n – количество измерений, t_n – температура в узлах на рис. 1. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Средняя температура воздуха за каждый опыт

| Номер опыта | Средняя температура, °С |
|-------------|-------------------------|
| 1 | 23,84 |
| 2 | 27,65 |
| 3 | 23,90 |

По полученным экспериментальным данным строится, приближенная к реальной, модель тепловых режимов помещения в программе Solid Works Flow Simulation [4] рис. 2. Рассмотрены следующие тепловые режимы: моделирование при закрытой двери и окнах, при открытой двери и окне, при закрытой двери и открытом окне и при открытой двери и закрытых окнах [1,3].

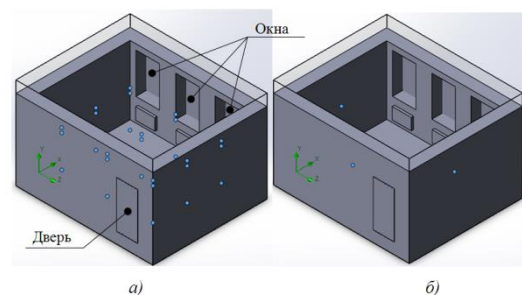


Рис.2. Расположение узлов для замеров температур: а) – расположение узлов по ГОСТ 30494-2011; б) – рассматриваемые расположения узлов

Далее изложен алгоритм последовательного выбора количества узловых точек, по которым можно вычислить среднюю температуру с заданной допустимой погрешностью. Положение узлов выбирается по их ближайшей к среднему значению температуре на тепловой модели.

Расчет средней температуры при одном узле измерения.

1. Ниже приведены результаты моделирования при закрытой двери и окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 24,00 °С. Рассматриваемый ближайший к средней температуре узел 24,69 °С.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = |24,69 - 24| = 0,69 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{0,69}{24} \cdot 100 = 2,88 \%$$

2. Результат моделирования при открытой двери и окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 20,32 °С. Рассматриваемый ближайший к средней температуре узел 21,42 °С.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = |21,42 - 20,32| = 1,1 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{1,1}{20,32} \cdot 100 = 5,41 \%$$

3. Результат моделирования при закрытой двери и открытом окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 21,16 °С. Рассматриваемый ближайший к средней температуре узел 21,66 °С.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = |21,66 - 21,16| = 0,5 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{0,5}{21,16} \cdot 100 = 2,36 \%$$

4. Результат моделирования при открытой двери и закрытых окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 22,19 °С. Рассматриваемый ближайший к средней температуре узел 22,60 °С.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = |22,60 - 22,19| = 0,41 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{0,41}{22,19} \cdot 100 = 1,85 \%$$

Расчет средней температуры при двух узлах измерений.

1. Ниже приведены результаты моделирования при закрытой двери и окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 24,00 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 24,69 \text{ °С}$, $t_2 = 24,62 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,66 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 2,75 \%$$

2. Результат моделирования при открытой двери и окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 20,32 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 21,42 \text{ °С}$, $t_2 = 21,24 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 1,01 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 4,97 \%$$

3. Результат моделирования при закрытой двери и открытом окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 21,16 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 21,66 \text{ °С}$, $t_2 = 21,36 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,35 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 1,65 \%$$

4. Результат моделирования при открытой двери и закрытых окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 22,19 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 22,60 \text{ °С}$, $t_2 = 22,36 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,29 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 1,3 \%$$

Расчет средней температуры при трех узлах измерений.

1. Ниже приведены результаты моделирования при закрытой двери и окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 24,00 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 24,69 \text{ °С}$, $t_2 = 24,62 \text{ °С}$, $t_3 = 24,54 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,61 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 2,54 \%$$

2. Результат моделирования при открытой двери и окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 20,32 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 21,42 \text{ °С}$, $t_2 = 21,24 \text{ °С}$, $t_3 = 20,89 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,86 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 4,23 \%$$

3. Результат моделирования при закрытой двери и открытом окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 21,16 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 21,66 \text{ °С}$, $t_2 = 21,36 \text{ °С}$, $t_3 = 21,24 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,26 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 1,22 \%$$

4. Результат моделирования при открытой двери и закрытых окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 22,19 °С. Рассматриваемые ближайшие к средней температуре узлы $t_1 = 22,60 \text{ °С}$, $t_2 = 22,36 \text{ °С}$, $t_3 = 22,17 \text{ °С}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,18 \text{ °С}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 0,81 \%$$

Расчет средней температуры при четырех узлах измерений.

1. Ниже приведены результаты моделирования при закрытой двери и окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила 24,00 °С. Рассматриваемые

мые ближайšie к средней температуре узлы $t_1 = 24,69^\circ\text{C}$, $t_2 = 24,62^\circ\text{C}$, $t_3 = 24,54^\circ\text{C}$, $t_4 = 24,57^\circ\text{C}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,60^\circ\text{C}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 2,5\%$$

2. Результат моделирования при открытой двери и окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила $20,32^\circ\text{C}$. Рассматриваемые ближайšie к средней температуре узлы $t_1 = 21,42^\circ\text{C}$, $t_2 = 21,24^\circ\text{C}$, $t_3 = 20,89^\circ\text{C}$, $t_4 = 20,96^\circ\text{C}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,81^\circ\text{C}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 3,99\%$$

3. Результат моделирования при закрытой двери и открытом окне. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила $21,16^\circ\text{C}$. Рассматриваемые ближайšie к средней температуре узлы $t_1 = 21,66^\circ\text{C}$, $t_2 = 21,36^\circ\text{C}$, $t_3 = 21,24^\circ\text{C}$, $t_4 = 21,30^\circ\text{C}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,23^\circ\text{C}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 1,09\%$$

4. Результат моделирования при открытой двери и закрытых окнах. Средняя температура воздуха по ГОСТ 30494-2011 составила $22,19^\circ\text{C}$. Рассматриваемые ближайšie к средней температуре узлы $t_1 = 22,60^\circ\text{C}$, $t_2 = 22,36^\circ\text{C}$, $t_3 = 22,17^\circ\text{C}$, $t_4 = 22,21^\circ\text{C}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}| = 0,15^\circ\text{C}$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 0,68\%$$

При выполнении моделирования тепловых режимов видно, что для данного типового помещения можно использовать упрощенный вариант с тремя узлами для определения распределенной температуры в помещении. Самым не благоприятным случаем является эксперимент с открытой дверью и окном. В этом случае имеется самая большая абсолютная погрешность равная $0,86^\circ\text{C}$ и относительная погрешность равная $4,23\%$.

Данная работа основана на методике измерения среднего значения температуры по ГОСТ 30494–2011, которая позволяет минимизировать количество узлов с допустимой погрешностью. ГОСТ не регламентирует связь погрешности с методикой измерения. Предложенная методика определения средней температуры представляет собой сходящийся процесс, результат которого представляет минимальное количество узлов, дающее среднее значение с допустимой погрешностью.

Литература:

1. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.
2. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные.
3. Дударева Н.Ю. SolidWorks 2009 на примерах / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. - СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 544 с.
4. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / Алямовский А.А. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 464 с.
5. Синицын, Н.Н. Температурное поле ограждающих конструкции угловых помещений. / Н.Н. Синицын, К.А. Шушкова, И.О. Белодонова. — Череповецкий государственный университет, 2014. — 339 с.