

the Royal Astronomical Society Letters. 2010. No 407. P 99-102/  
6. Cooperstock F.I. and Tieu S. General relativistic velocity: the alternative to dark matter // Modern Physics Letters. 2009. A 23: 1745-1755.

**УДК 697**

**Ахметов И.А.**  
*студент магистратуры 1 курса*  
**Краснов И.Д.**  
*студент магистратуры 1 курса*  
**НИУ “Московский государственный строительный университет”**  
**Россия, г. Москва**

### **СОСТАВЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ**

*Аннотация: Одна из первых вещей, о которых многие говорят, когда они представлены в аналитическом программном обеспечении это точность. Для программного обеспечения анализа, но в случае инструмента для термического анализа это не простой вопрос для ответа. В этой статье рассматриваются многие проблемы, которые вы должны сначала рассмотреть, прежде чем сравнивать измеренные тепловые значения с результатами моделирования, не только в ECOTECT, но в любом инструменте термического анализа.*

*Ключевые слова: анализ, термический контроль, сравнение, влажность, комфорт, микроклимат.*

**Akhmetov I.A.**  
*1rd year master’s student*  
**National Research Moscow State University Of Civil Engineering**  
**Russia, Moscow**  
**Krasnov I.D.**  
*1rd year master’s student*  
**National Research Moscow State University Of Civil Engineering**  
**Russia, Moscow**

### **MAKING A THERMAL COMPARISON**

*Annotation: One of the first things many people say when introduced to analytical software. The accuracy of analysis software is important, but in the case of a thermal analysis tool this is not a simple question to answer. This article discusses the many issues you must first consider before comparing measured thermal values against simulation results, not just in ECOTECT but in any thermal analysis tool.*

*Key Words: analysis, thermal control, comparison, humidity, comfort, microclimate.*

Основная цель моделирования - максимально приблизить физический процесс к реальности. Чтобы быть полезным, важно, чтобы результатов моделирования были точно сопоставимы с результатами физических

измерений, выполненных в аналогичной реальной ситуации. Тем не менее, для вас также важно сначала убедиться, что то, что рассчитывается и что измеряется, фактически сопоставимо.

Наиболее очевидным сравнением является измеренная температура внутреннего воздуха и моделируемые температуры в пределах одной и той же зоны здания. Это полезно, поскольку температура воздуха является одним из основных факторов, влияющих на восприятие комфорта в любом пространстве, и относительно легко измерить и спрогнозировать.

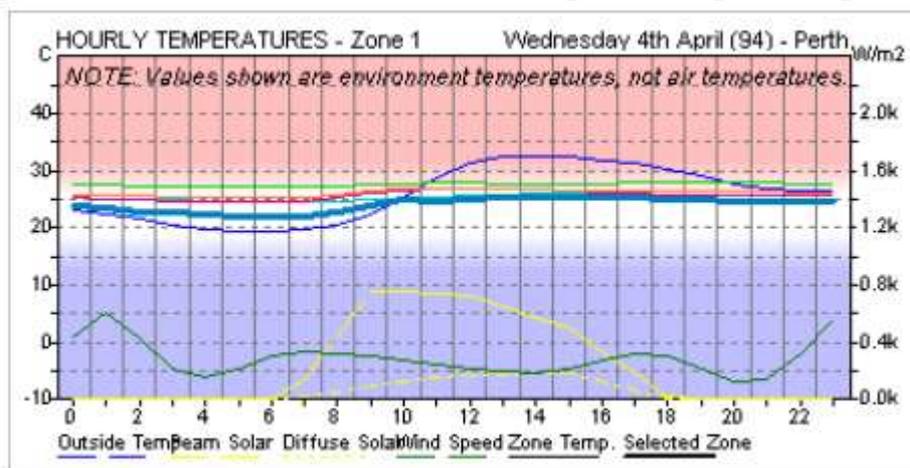


Рисунок 20 - Примерный график, показывающий внутренние и внешние температуры для ряда строительных мест. Это не означает, что такое сравнение не является верным, но вы должны понимать, что вы, вероятно, не сравниваете одно и то же в каждом случае, так что будут некоторые фундаментальные и присущие различия.

### **ФИЗИЧЕСКОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ**

Измеренные значения от термодатчиков или термометров неизменно берутся в *очень специфических местах* в каждом месте. С другой стороны, температура имитируемой зоны практически неизменно представляет *пространственное среднее* по всей зоне.

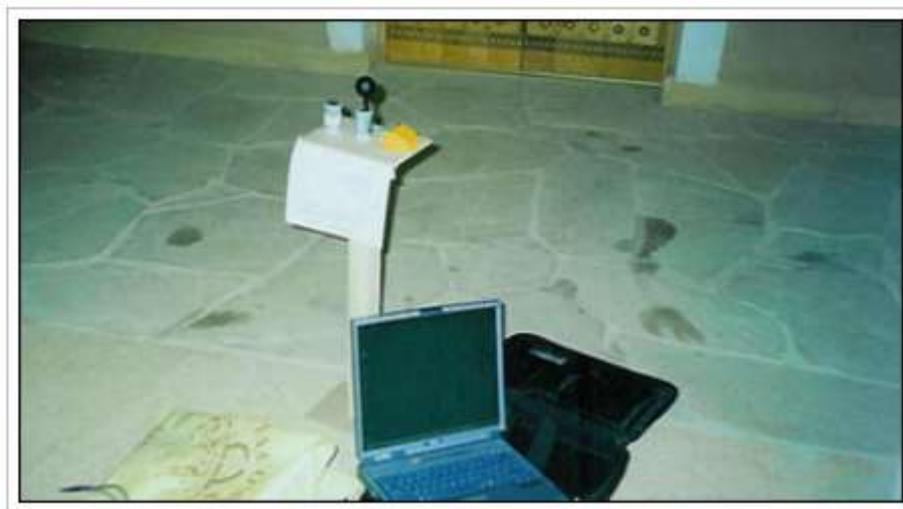


Рисунок 21 - Пример настройки измерения температуры воздуха. В реальных комнатах вы получаете локализованные тепловые пятна и

определенные слои воздуха, в которых те, которые ближе к потолку, теплее, чем те, которые ближе к полу. Аналогично, карманы воздуха вблизи поверхности холодного окна будут более прохладными и более подверженными движению, чем остальная часть воздуха ближе к центру комнаты. Существует целый ряд причин, по которым температура может значительно различаться в разных точках зоны: проекты внешнего воздуха, которые затрагивают только определенные районы, дифференциальные температуры поверхности – благодаря высокопроводящим материалам или высокопоглощающим материалам, что может привести к локальным проблемам с излучающей температурой или конвекционным токам, которые вызывают локализованное движение воздуха, тепловые шлейфы от оборудования и даже людей, направленное излучение от излучающего нагревателя и области прямого солнечного света, которые движутся по пространству и т. д.

Таким образом, вполне возможно, что вы будете физически измерять с помощью своего датчика один из этих очень локализованных эффектов - и у вас действительно нет способа узнать, так ли это.

Очевидно, если вы стоите рядом с датчиком, вы можете легко обнаружить значительные сквозняки, но с одеждой, защищающей большинство областей вашей кожи, вы не можете быть чувствительны к меньшим движениям воздуха и тонким сияющим эффектам. Чаще всего, отдельные датчики остаются без присмотра в течение длительных периодов времени, поэтому вы действительно не знаете, что с ними случилось в разное время.

Можно построить очень тщательную модель, которая может имитировать многие из этих сложных эффектов, но требует огромного внимания к деталям и анализу, которые многократно повторяются между термическим решением и вычислительной гидродинамикой (CFD). Оба они необходимы для точного решения эффектов движения воздуха и радиации на поверхности, но это сложный и трудоемкий процесс, и тот, который побеждает цель концептуального анализа для прямого принятия решений.

Лучшее, что вы действительно можете сделать, это использовать большое количество датчиков в каждом месте. Вы не можете надежно использовать один датчик и просто перемещать его, так как многие из этих локализованных эффектов очень динамичны, а потенциальные изменения изменяются, даже когда вы находитесь в процессе перемещения датчика.

### **РАДИАНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ**

Даже при использовании хорошо защищенного датчика очень трудно полностью исключить лучистые эффекты с других поверхностей в помещении при измерении температуры воздуха. Например, если вы близко к окну, то температура поверхности может сильно отличаться от непосредственной близости от стены. Будучи физическим объектом, датчик будет обменивать энергию с окном, либо теряя тепло, если окно становится более холодным, либо набирает тепло, если оно значительно нагревается.

Точный расчет локализованных радиантных умеренностей сильно зависит от геометрии каждого места и относительно длителен. Таким образом, большинство инструментов термического анализа рассчитывают только значение средней лучистой температуры, которое, опять же, усредняется по всей зоне. Таким образом, он основан на средневзвешенной площади всех температур поверхности - то, что быстро вычисляется и очень полезно свидетельствует о среднем лучистом эффекте. Однако это не точное значение для какого-либо конкретного местоположения в зоне.

Некоторые инструменты термического анализа могут вычислять лучистые температуры в определенных точках, но вы должны специально настроить расчет, чтобы сделать это, и вручную найти каждую точку. Если вы можете получить эту информацию для своего конкретного местоположения датчика, и вы знаете, как рассчитать чувствительность вашего датчика, вы *можете* исправить измеренную температуру для лучистых эффектов. Однако для этого вы должны предположить, что ваше тепловое моделирование в первую очередь является точным, чтобы использовать его радиантные температуры, поэтому сравнение несколько скомпрометировано.

### **ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ**

Во всех температурных датчиках в значениях, которые они записывают, присущи погрешности. Это связано с тем, как каждый тип датчика преобразует физическую характеристику в электрический сигнал. Например, некоторые датчики используют небольшую термопару, которая изменяет свое электрическое сопротивление с температурой. Другие используют металлические пружины, напряжения катушек которых изменяются или растворы жидкости, которые изменяют объем. Все должны обеспечить достаточное движение воздуха над самим датчиком, сохраняя при этом физическую защиту от повреждений и сияющих эффектов.

Большинство типов датчиков также требуют калибровки. Два датчика точно такого же типа, расположенные непосредственно рядом друг с другом, могут давать совершенно разные записи. Стандартная практика заключается в том, чтобы объединить все ваши датчики до проекта мониторинга и запустить их в течение нескольких дней, чтобы сравнить их измерения. Опыт заключается в том, что различия в порядке  $2^{\circ}\text{C}$  не являются чем-то необычным.

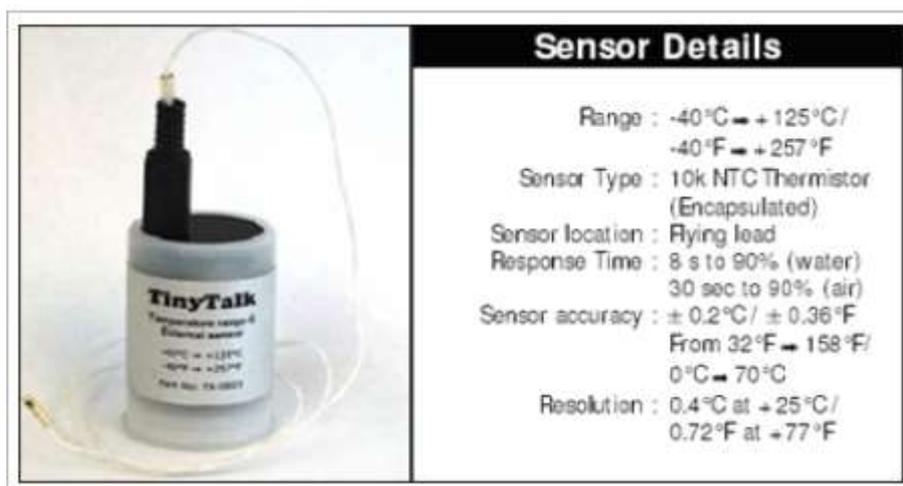


Рисунок 22 - Наклейка на температурном датчике TinyTag, показывающая точность и разрешенное отклонение.

Хотя точность встроенного датчика сама по себе не подлежит сомнению, многие котировки с ошибками при погрешности  $\pm 0,2$  ° C, абсолютная взаимосвязь между внешними условиями и внутренней записью может быть подвержена некоторому уровню дрейфа, который необходимо корректировать для каждого датчика.

### ТОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ПОГОДЕ

Хорошие данные о почасовой погоде хорошего качества часто могут быть очень трудными для получения, требуя много станции метеорологических измерений для обеспечения точной температуры, влажности, ветра и солнечной записи. Однако расчетный тепловой отклик любого здания почти полностью зависит от внешних условий, поэтому любое содержательное сравнение требует некоторых достаточно точных данных.



Рисунок 23 - Примеры оборудования для записи метеорологических данных.

Портативные метеостанции, которые также точно фиксируют как прямые, так и рассеянные солнечные данные, могут быть довольно дорогими. Таким образом, не всегда можно получить хорошие внешние данные на месте - вам, скорее всего, придется полагаться на записи с ближайшей государственной метеостанции. Используя эти данные, практически невозможно рассмотреть в моделировании многие эффекты микроклимата, которые могут влиять на фактическое здание. Например, часовые скорости ветра в каждом окне обычно не измеряются, поэтому симуляция обычно основана на измеренных скоростях ветра на

метеорологической станции, обычно расположенной на вершине беспрепятственного полюса 6 м в воздухе за миллион миль - почти одинаковые условия.

### **Решение**

Все вышеизложенные соображения справедливы для любого сопоставления моделирования и всегда будут приводить к некоторому изменению между измеренными и имитируемыми результатами. В то время как понимание причин этих различий позволяет учитывать коэффициенты ошибок, вероятно, что они составят не менее 3-5 ° С, что делает точное сравнение абсолютных значений весьма сомнительным. Однако, хотя фактические температуры сами по себе не могут быть напрямую сопоставимы, то, что вы действительно должны искать, являются общими тенденциями и колебаниями в каждом наборе данных. Если измеренные и смоделированные здания реагируют аналогично быстрому увеличению прямых солнечных лучей или внезапному воспламенению внутреннего источника тепла, то вы можете быть уверены в **относительной точности** сравнения.

### **ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ**

Проблема с относительной точностью заключается в том, что у вас должна быть какие-то данные, с которыми можно сравнить ваши новые результаты. Если вы просто тестируете дизайн, вы можете настроить базовую модель и затем сравнить любые изменения при применении различных вариантов дизайна. До тех пор, пока вы сразу меняете небольшое количество параметров, вы можете быть разумно уверены, что наблюдаете их относительное влияние на тепловые условия каждой зоны.

Если вы сравниваете только измеренные и смоделированные наборы данных, создание данных сложнее. В этом случае вам придется использовать более сложный статистический анализ.

### **НЕДОСТАТКИ**

Очевидно, что невозможность прямого сравнения смоделированных и измеренных данных существенно влияет на достоверность результатов моделирования и инструментов, которые их производят. Это затрудняет доверие к тому, что некоторые аномалии не закрались и, если они есть, трудно изолировать то, что они есть, и почему они есть.

Учитывая относительную точность, только хорошо, потому что он держит вас в правильном направлении, но не дает вам абсолютной уверенности, что вам может понадобиться убедить клиента в том, что ваше пассивное здание *всегда* будет работать ...

### **Заключение**

В большинстве работ по моделированию почти всегда относительная точность алгоритма моделирования имеет наибольшую пользу. Если реакция системы моделирования на изменение пропорциональна величине реальной системы, то это очень полезный инструмент для сравнения вариантов дизайна.

### Использованные источники:

1. Берковский, Б. М. Вычислительный эксперимент в конвекции / Б. М. Берковский, В. К. Полевиков. - Минск: Университетское, 1988. - 167 с.
2. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб / Ю. А. Быстров [и др.]. - СПб.: Судостроение, 2005. - 392 с.
3. Ferziger, J. H. Computational Methods for Fluid Dynamics / J. H. Ferziger, Milovan Peric. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2002. - 423 p.
4. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл; пер. с англ.; под ред. Б. А. Хрусталева. - М.: Мир, 1975. - 936 с.
5. Дульнев, Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: учеб. пособие для вузов / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. - М.: Высш. шк., 1990. - 207 с.
6. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар; пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.
7. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1982. - 415 с.
8. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди; пер. с венг. В. М. Беляева; под ред. В. И. Прохорова и А. Л. Наумова. - М.: Стройиздат, 1981.- 248 с.
9. Nilsson, H. O. Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models / H. O. Nilsson, I. Holmer // Indoor Air. - 2003. - Vol. 13. - P. 28-37.