

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
МИКРОКЛИМАТОМ СУДНА

В жизненном процессе человек неразрывно связан и находится во взаимодействии с окружающей его средой обитания. Наиболее явно эта связь проявляется в производственном процессе на морском транспорте. Именно здесь человек максимально подвергается влиянию изменения параметров окружающей среды. Такие параметры, характеризующие конкретную производственную обстановку, получили название параметров микроклимата. К числу наиболее важных, определяющих комфортность, принадлежат метеорологические факторы.

Кроме метеорологических или климатических составляющих на комфортность влияют внеклиматические факторы, представленные на рис. 1. Внеклиматические составляющие обуславливаются интенсивной хозяйственной деятельностью человека [1]. Морская специфика производства позволяет пренебречь влиянием внеклиматических факторов на микроклимат.



Рис. 1. Составляющие комфортности условий жизнедеятельности

Климатические параметры состоят из температуры, влажности, давления и скорости воздуха. Совокупность всех этих параметров, лежащих в необходимых диапазонах, создают комфортную среду обитания, которая является идеальной средой для работы. А это в свою очередь приводит к уменьшению вероятности совершения ошибок, ведущих к серьезным последствиям или несчастному случаю.

Для комфортного самочувствия человека очень важно, чтобы его теплообмен был в состоянии температурного баланса с внешней средой – то есть, вырабатываемое человеком количество тепла должно быть равно теплу, отводимому во внешнюю среду. Проведенные исследования [2] показали, что для нормализации и определения запаса устойчивости функциональных резервов, которые постоянно расходуются на поддержание равновесия между организмом и средой, фактор теплоощущения человека является основополагающим.

Движение воздуха улучшает теплообмен между телом человека и внешней средой, но излишняя скорость движения воздуха (сквозняки) повышает вероятность возникновения простудных заболеваний.

Влажность воздуха в сочетании с температурой оказывает выраженное влияние на организм. Чрезмерно сухой воздух порождает у человека такие проблемы как сухость кожи (вплоть до появления зуда), заложенность носа. При повышении влажности тяжелее переносится жара, увеличивается действие холода.

Установлена взаимосвязь между самочувствием людей и абсолютным значением атмосферного давления воздуха. Так от изменения давления напрямую зависит самочувствие абсолютного большинства людей [3]. Как известно, в течении суток давление также незначительно меняется – так называемый "суточный ход давления". Ночью повышается, а днем в период максимальных температур понижается. Максимальный суточный ход в тропических странах может достигать 2 мм. рт. ст. С увеличением широты амплитуда изменения атмосферного давления уменьшается.

Согласно санитарным правилам и нормам [4] для организации работы в производственных помещениях должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата, приведенные в табл.1.

Каждый из этих параметров может быть изменен не произвольно, а только в некоторых определенных пределах, удовлетворяющих условиям комфортных ощущений. При выходе параметров микроклимата за пределы граничных значений в некоторых случаях имеется возможность вернуть комфортность путем регулировки остальных параметров (например, при отсутствии движения воздуха можно понизить температуру). При различных комбинациях значений этих параметров ощущения человека могут оказываться одинаковыми, но не любое их

сочетание обеспечивает комфортные условия.

Таблица 1

Основные параметры метеорологических факторов
комфортной среды

Условия	Значение
Температура воздуха, °С	19 – 24
Относительная влажность, %	40 – 60
Скорость движения воздуха, м/с	0,1 – 0,4
Давление, мм. рт. ст.	непериодические колебания менее 2 – 3

Для своевременного контроля и поддержания оптимальных параметров микроклимата на заданном уровне требуется использование соответствующих контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации. Эффективность систем автоматизации во многом зависит от качества и надежности информации, поступающей с датчиков.

Задачей данного исследования является анализ применяемых в данный момент датчиков в системах управления микроклиматом и замещением их одним датчиком, основанном на принципе прохождения ультразвукового излучения в воздушном пространстве и подверженного влиянию температуры, влажности, давлению и скорости воздуха.

В табл. 2 представлены наиболее распространенные типы датчиков, применяющихся в настоящее время для изменения метеорологических параметров, а также перечислены их основные достоинства и недостатки.

Наиболее часто для измерения температуры в вышеуказанном диапазоне применяют следующие типы датчиков: термисторы, цифровые полупроводниковые датчики и термопреобразователи сопротивления.

Термисторы используют принцип изменения сопротивления проводника от температуры. Чувствительные элементы для термисторов выполняются на основе различных оксидов металлов. Преимуществами термисторов являются высокая чувствительность, малый размер и невысокая цена. Основные недостатки – нелинейность характеристики, слабая помехоустойчивость, отсутствие взаимозаменяемости.

В цифровых полупроводниковых датчиках температуры чувствительный элемент представляет собой интегральную микросхему, содержащую в себе чувствительный элемент и преобразователь в цифровой сигнал. Основные преимущества этих датчиков: удобная схема

Таблица 2

Типы датчиков применяющихся для измерения
метеорологических параметров

Измеряемый параметр	Наименование датчиков	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4
Температура	термисторы	высокая чувствительность; малый размер; невысокая цена	нелинейность характеристики; слабая помехоустойчивость; отсутствие взаимозаменяемости
	цифровые полупроводниковые	удобная схема подключения; цифровой сигнал; невысокая цена.	слабая помехоустойчивость
	термопреобразователи сопротивления	большой температурный диапазон; простота; прочность конструкции; невысокая цена	низкая точность; нелинейная зависимость
	пьезодатчики	твердотельность и надежность; высокая стабильность параметров	зависимость от влажности
Скорость движения воздушного потока	кататермометры	высокая точность	неправильные показания в присутствии тел, выделяющих тепловую энергию
	анемометры чашечные и крыльчатые	высокая точность	наличие движущихся частей; необходимость правильного позиционирования
	пьезодатчики	твердотельность и надежность; высокая стабильность параметров	зависимость от температуры и влажности, давления

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
Относительная влажность	психрометрические	точность	конструктивная сложность; сложность в обслуживании; зависимость от скорости потока воздуха
	аспирационные	высокая точность; стабильность показаний	конструктивная сложность; сложность в обслуживании
	емкостные	простота; высокая чувствительность; малая инерционность	слабая помехоустойчивость
	резистивные	отличная взаимозаменяемость; небольшие размеры; малая стоимость	подверженность воздействию химических паров; сдвиг значений при работе в конденсате; зависимость от температуры
	пьезодатчики	твердотельность и надежность; высокая стабильность параметров	зависимость от температуры
Атмосферное давление	ртутные барометры	высокая точность	громоздкость; хрупкость; пары ртути вредны для здоровья людей
	анероиды	прочность; малогабаритность	меньшая точность
	пьезодатчики	твердотельность и надежность; высокая стабильность параметров	зависимость от температуры и влажности

подключения, не требующая прокладки индивидуальной кабельной линии, цифровой сигнал, и невысокая цена. Недостатками этих датчиков является крайне слабая помехоустойчивость.

Принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте – возникающая ЭДС зависит от материала проводников и разности температур между спаями. Главным достоинством термопар является большой температурный диапазон, простота, прочность конструкции и невысокая цена. Основные недостатки термопар – точность измерения от 1 °С и нелинейная зависимость.

Для измерения относительной влажности воздуха широко доступны несколько типов датчиков: психрометрические, аспирационные, емкостные и резистивные.

Психрометрический датчик влажности применяется в качестве первичного измерительного преобразователя относительной влажности воздуха. Принцип измерения – измерение сухого и мокрого термометров с последующим автоматическим вычислением значения относительной влажности воздуха. Выполняется в виде сдвоенного термо преобразователя с двумя погружными частями. Рекомендуется устанавливать в той точке камеры, где скорость потока воздуха, обдувающей мокрый термометр, постоянна и равна приблизительно 2 м/с.

Аспирационный датчик влажности применяется в местах с переменным или слабым потоком воздуха. Конструктивно состоит из фитиля, емкости для воды, и встроенного обдувочного вентилятора. Обеспечивает высокую точность и стабильность показаний в условиях высокой влажности.

Недостатком таких типов датчиков является конструктивная сложность и сложность в обслуживании, а также зависимость точности измерений от скорости потока воздуха или наличие движущихся деталей.

В емкостных датчиках при изменении влажности изменяется электрическая емкость конденсатора с гигроскопичным диэлектриком. Так как измеряемой физической величиной является емкость конденсатора, то в качестве индикатора или выходного устройства можно использовать любой измеритель емкости. Достоинствами емкостных датчиков является простота, высокая чувствительность и малая инерционность. Недостатками – влияние внешних электрических полей, относительная сложность измерительных устройств.

Резистивные датчики, в которых изменяется сопротивление проводника, на поверхность которого нанесен гигроскопический слой в зависимости от влажности окружающей среды. Конструктивно они выполняются в виде диэлектрической пластины с нанесенными на ее

поверхность проводниками и покрытую влагопоглощающим слоем (например, солями стронция), сопротивление которого меняется, соответственно изменению влажности. В зависимости от состава покрывающего слоя такие датчики могут увеличивать свое сопротивление при увеличении влажности, или - уменьшать.

Главное преимущество резистивных датчиков влажности заключается в их отличной взаимозаменяемости (обычно она составляет $\pm 2\%$ отн. влаж.). Это позволяет устранить необходимость в стандартах калибровки влажности. Другими немаловажными преимуществами в применении являются небольшие размеры и малая стоимость.

В условиях бытовой и коммерческой эксплуатации срок службы таких датчиков составляет более 5 лет, однако воздействие химических паров и других загрязнений (масла, например) может привести к их досрочному выходу из строя. Другой недостаток резистивных датчиков влажности – их тенденция к сдвигу значений при работе в конденсате, если используется растворимое в воде покрытие. Резистивные датчики имеют значительную зависимость от температуры, когда применяются в среде с большими температурными изменениями.

Для измерения атмосферного давления используются ртутные барометры или их механические аналоги – anerоиды.

Наиболее точным прибором является ртутный барометр. Ртуть благодаря большой плотности позволяет получить в барометре сравнительно небольшой столб жидкости, удобный для измерения. Преимущество таких барометров – большая точность показаний и простота конструкции. Недостатки – они громоздки, хрупки, пары ртути вредны для здоровья людей. Барометры-анероиды наиболее распространенный класс барометров, они легкие и удобные в использовании и транспортировке. Используются в современных бытовых аналоговых и цифровых метеостанциях и бытовых барометрах. Преимущества anerоидов в том, что они удобны в работе, прочны, малогабаритны. Основной недостаток – они менее точны, чем ртутные барометры.

Скорость движения воздуха измеряется кататермометрами до 0,5 м/с, анемометрами чашечными и крыльчатymi – свыше 0,5 м/с.

Кататермометр предназначен для определения слабого движения воздуха. Прибор представляет собой спиртовой термометр с цилиндрическим или шаровым резервуаром. Принцип работы кататермометра заключается в том, что предварительно нагретый, он теряет тепло не только под действием температуры воздуха и радиационной температуры, но и под действием движения воздуха, пропорционально его скорости. Кататермометр предназначен для определения охлаждающей способности воздуха, на основании которой и рассчитывается скорость движения воздуха. Зная эту величину охлаждения кататер-

мометра и температуру окружающего воздуха, по эмпирическим формулам и по таблицам определяется скорость движения воздуха.

Из недостатков следует отметить, что показания кататермометра неточны и приблизительны. Погрешность измерений в некоторых случаях может достигать до 10 – 20 %. Также прибор дает неправильные показания в присутствии тел, выделяющих тепловую энергию.

Принцип действия анемометра основан на преобразовании скорости воздушного потока, вращающего ветроприемник, в число импульсов с помощью измерительного преобразователя. Общим недостатком является наличие движущихся частей, а в случае с использованием крыльчатого анемометра добавляется необходимость позиционирования перпендикулярно воздушному потоку.

В настоящее время применение рассмотренных выше датчиков в системах управления микроклиматом является проверенным временем решением. Однако в этом решении есть недостаток, который состоит в многообразии принципов работы, вытекающей отсюда сложности периодической подстройки и планового обслуживания, а также необходимость содержания полного комплекта запасных датчиков в случае замены вышедших из строя. Наличие же подвижных частей в некоторых датчиках уменьшает сроки как планового технического обслуживания так и общего срока службы элемента, что в свою очередь отрицательно влияет на надежность системы в целом.

Одним из вариантов выхода из созданной ситуации является применение принципов прохождения ультразвукового излучения в воздушном пространстве на основе пьезотрансформаторного датчика с вязкоупругой связью. Анализ работы пьезоэлектрических датчиков и зависимости их чувствительности от всех основных метеорологических параметров окружающей среды позволяет выдвинуть гипотезу о возможности создания датчика для измерения обобщенного показателя – комфортности.

Общие принципы построения ультразвукового пьезотрансформаторного датчика влажности основаны на амплитудно-частотной расстройке резонирующего объема по отношению к резонансной частоте излучателя и приемника [5]. В результате при неизменной частоте и напряжении питания выходное напряжение снимаемое со вторичной секции пьезоэлектрического трансформатора будет изменяться пропорционально изменению измеряемой относительной влажности исследуемой среды. Так в работе [6] приведена схема ультразвукового датчика влажности на основе пьезоэлектрического трансформатора с вязко-упругой связью, который обеспечив термкомпенсацию, дает возможность контролировать сразу два параметра – температуру и влажность среды.

Скорость звука в воздушном пространстве меняется в зависимости от температуры. При температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость распространения звука в атмосфере достигает $331,46\text{ м/с}$. Скорость звука увеличивается на $0,607\text{ м/с}$ каждый раз, когда температура поднимается $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результирующая скорость может быть рассчитана с помощью следующей формулы:

$$V = 331,46 + 0,607 \cdot t,$$

где t – текущая температура измеряемой воздушной среды, $^{\circ}\text{C}$.

Скорость звука в однородной жидкости или газе [7] вычисляется по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{1}{\beta\rho}},$$

где β – адиабатическая сжимаемость среды; ρ – плотность.

Для газов

$$V = \sqrt{\frac{\gamma kT}{m}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma R(t + 273,15)}{M}},$$

где γ – показатель адиабаты, равный $1,4$ для двухатомных газов и воздуха; k – постоянная Больцмана; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура в Кельвинах; t – температура в градусах Цельсия; m – молекулярная масса; M – молярная масса.

Так для определения измерения скорости движения воздуха достаточно применения акустического излучателя. В акустических излучателях преобразование энергии в акустическую основано на возбуждении колебаний полый емкости резонатора при натекании струи газа на препятствия различного вида [8]. При этом на остром краю возникают периодические завихрения, возбуждающие колебания воздушного объема резонатора (рис. 2). Частота излучения зависит от глубины резонатора и давления воздуха. Акустический излучатель струйного типа работает в диапазоне частот от $2 - 3$ до $40 - 50\text{ кГц}$. Первый источник ультразвука был предложен английским ученым Ф. Гальтоном [9].



Рис. 2. Принцип действия акустического излучателя

Недостатком данного излучателя является то, что работа происходит в диапазоне частот, граничных с частотами, воспринимаемыми человеческим ухом и требуется точная калибровка излучателя для избежания дискомфорта.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что многообразие принципов работы применяющихся в настоящее время датчиков усложняет конструкцию всей системы в целом. Применение принципов прохождения ультразвукового излучения в воздушном пространстве на основе пьезоэлементов позволит заменить все существующие датчики системы. А так как в последнее время наметилась тенденция разработки датчиков, которые служат для получения информации о нескольких параметрах, дальнейшие исследования, направленные на создание пьезоэлектрических датчиков микроклимата представляются актуальными. Эти исследования целесообразно направить на разработку модели и конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепов В.М., Новиков Ю.В. Эколого-гигиенические проблемы среды обитания человека. – М.: РСГУ, 2007. – 1076 с.
2. Голиков В.А., Цюпко Ю.М. Управление судовым микроклиматом в системах кондиционирования воздуха. // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 9. – Одесса: ОНМА. – С. 16 – 25.
3. Зотов Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве. – 2 изд., перераб. и доп.: – М.: КолосС, 2003. – 432 с.
4. СНиП 2.04.05-91*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
5. Джагупов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: справочник. – СПб.: Политехника, 1994. – 608 с.
6. Джагупов Р.Г., Борисюк А.М., Никольский В.В. Ультразвуковой пьезотрансформаторный датчик влажности. // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 1999. – Вып. 4. – Одесса: ОГМА. – С. 58 – 61.
7. Савельев И.В. Курс общей физики в 3-х т. Т 1. Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1970. – 508 с.
8. Измерительные преобразователи: учебное пособие / Р.Г. Джагупов, Е.Б. Плавинский, В.В. Никольский, А.М. Веретенник - Одесса: Астропринт, 2002. - 216 с.
9. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Иностранная литература, 1957. – 726 с.