

Вебинар 16

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ: ВЕНТИЛЯЦИЯ, ОХЛАЖДЕНИЕ

1 Вентиляция

Для обеспечения гигиенического качества воздуха внутри здания необходимо в определенные периоды времени заменять воздух в помещении, т.е. удалять из помещений воздух, обогащенный запахами, водяным паром, углекислым газом (CO₂) и, возможно, загрязняющими веществами, и заменять его свежим воздухом. Скорость воздухообмена (LW) показывает, как часто весь объем воздуха в помещении должен быть заменен свежим воздухом в течение определенного периода времени, например, в течение одного часа. В Таблице 1 представлен обзор рекомендуемых средних показателей воздухообмена для типичных размеров помещений, плотности заселения и нагрузки загрязняющих веществ.

Таб. 1: Рекомендуемые нормы воздухообмена (на основе Фистоля (2007 г.))¹

Вид помещения	LW (л в час)
Жилые помещения	0,6-0,7
Туалеты	2-4
Бюро	4-8
Столовые	6-8
Рестораны	4-12
Кинотеатры	4-8
Аудитории	6-8
Комнаты для совещаний	6-12
Магазины	4-6

Необходимый воздухообмен обычно обеспечивается открытием окон во внешней стене, но часто также и механическими системами вентиляции. В вентиляционной технике принципиально различают естественную (свободную) вентиляцию и механическую. Границы между свободной и механической вентиляцией (например, вентиляционные системы, также известные как системы кондиционирования воздуха) являются плавными и не всегда понятными на практике. На рис. 1 показана возможная классификация систем вентиляции.

¹ Пистохль, Вольфрам (2007): Руководство по инженерной технике зданий. Основы проектирования и примеры, 6-е издание, Кельн, стр. L14



Рис. 1: Вентиляционные системы²

1.1 Естественная вентиляция

При естественной (свободной) вентиляции движение воздуха в помещении обусловлено исключительно перепадами давления возле и внутри здания, которые вызваны ветром и/или перепадами температур, т.е. без технического оборудования и приводной техники.

Как уже объяснялось, (естественная) вентиляция зданий или помещений обычно осуществляется через окна или другие регулируемые отверстия (например, заслонки), которые остаются открытыми либо на короткое время (импульсная вентиляция), либо на более длительный период времени (непрерывная вентиляция). В большинстве зданий можно комфортно проветривать помещение в течение большей части года.

Раздвижные окна и окно со среднеподвесной створкой лучше подходят для хорошей вентиляции, чем откидные створки, так как поперечное сечение приточного и вытяжного воздуха одинаково велико и может регулироваться по мере необходимости (см. рис. 2).

² Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.38

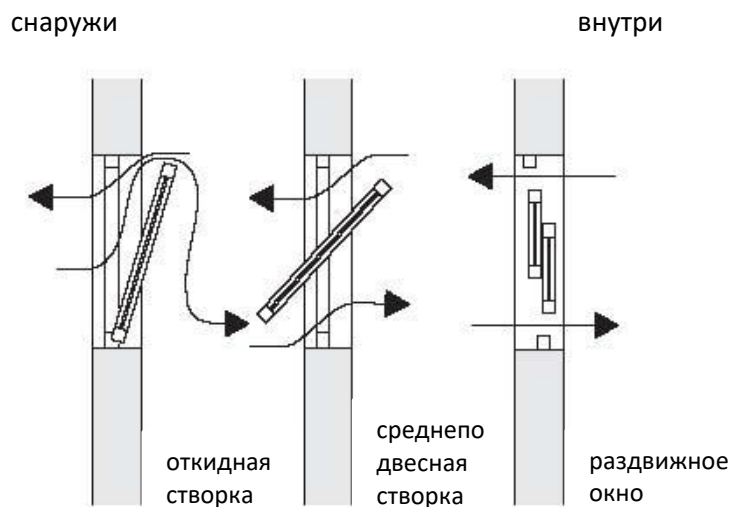


Рис. 2: Типы окон³

При открывающихся окнах только в одной наружной стене возможен только односторонний воздухообмен. В идеале вентиляция должна осуществляться путем сквозного проветривания, т.е. через окна с противоположных сторон. Поэтому в квартирах необходимо обеспечить достаточную перекрестную вентиляцию или, по крайней мере, угловое проветривание (см. рис. 3).

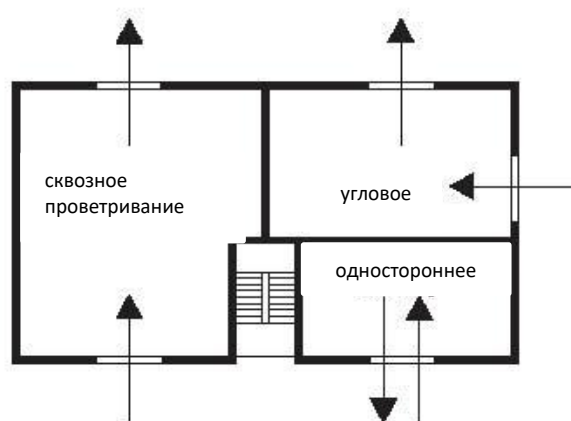


Рис. 3: Проветривание на чертеже⁴

Таким образом, приведенные в таблице 2 скорости воздухообмена, которые следует понимать как ориентировочные значения, могут быть достигнуты с помощью проветривания через окна или фуги (при закрытом окне).

³ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.41

⁴ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.41

Таб. 2: Скорость воздухообмена при проветривании через окна⁵

Вид вентиляции через окна	Воздухообмен
Окна, двери закрыты (проветривание только через фуги)	0 до 0,5 в час
Одностороннее проветривание, окна откинuty, нет рольставень	0,8 до 4,0 в час
Одностороннее проветривание, окна наполовину открыты	5 до 10 в час
Одностороннее проветривание, окна полностью открыты ¹	9 до 15 в час
Сквозное проветривание (через противоположные окна и двери)	до 45 в час

¹Простой воздухообмен достигается уже через 4 минуты «импульсного» проветривания.

Эти скорости воздухообмена, которые можно ожидать в результате проветривания через окна или фуги, очень сильно колеблются в зависимости от скорости ветра и геометрии здания. Поэтому размеры помещений/зданий с естественной вентиляцией ограничены. Например, при односторонней оконной вентиляции и высоте помещения до 4 м глубина помещения не должна быть в 2,5 раз больше, чем высота, при поперечной вентиляции – в 5 раз больше, чем высота помещения⁶ (см. рис. 4). В связи с этим, планирование атриумов является хорошим способом обеспечения подачи воздуха и света в помещения в очень глубоких зданиях.

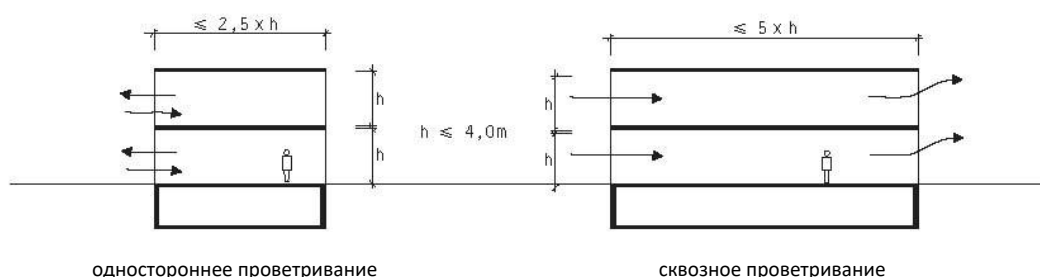


Рис. 4: Максимальная глубина помещения при оконном проветривании⁷

Кроме того, скорость воздухообмена, которая может быть достигнута с помощью вентиляции окон, также сильно зависит от поведения пользователя. Хотя, безусловно, преимуществом является то, что пользователь может напрямую влиять на приток воздуха, на практике часто бывает слишком много или слишком мало вентиляции. Поэтому контролируемый воздухообмен не может быть достигнут с помощью управляемой пользователем вентиляции окон. Таким образом, естественная вентиляция через окна, помимо связи с внешним пространством, предлагает возможность индивидуального кондиционирования помещения и, следовательно, высокий уровень комфорта, но это может привести

⁵ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.40

⁶ Комитет по рабочим местам (01.2012): Вентиляция - технические правила для рабочих мест. ASR A3.6, СТР.8

⁷ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.42

к повышенным потерям тепла в зимнее время и, таким образом, отрицательно повлиять на энергетический баланс.

Как видно на рис. 1, вентиляция через вентиляционные шахты и надстройки на крыше также относится к группе систем естественной вентиляции, но не будет здесь рассматриваться в связи с ее низкой актуальностью в жилищном строительстве.

1.2 Механическая вентиляция

Согласно рис. 1 под механической вентиляцией понимаются как системы вентиляции простого типа (например, вентиляционные шахты с вентилятором или вентиляторы в наружной стене), так и системы вентиляции и кондиционирования воздуха, которые, как правило, обрабатывают воздух централизованно и подают его в помещения через системы распределения воздуха (воздуховоды, шахты). Системы вентиляции и кондиционирования воздуха кондиционируют качество воздуха в помещении. Они обеспечивают необходимый гигиенический воздухообмен и могут иметь одну или несколько функций термообработки. Это нагрев, охлаждение, увлажнение и осушение. В зависимости от того, как обрабатывается приточный воздух, речь идет о:

- Вентиляционных системах
без или только с одной термической функцией обработки воздуха (например, только нагрев)
- Частичных системах кондиционирования воздуха
с двумя или тремя термическими функциями обработки воздуха
(например, нагрев и охлаждение или нагрев, охлаждение и осушение)
- Системах кондиционирования воздуха
со всеми четырьмя термическими функциями обработки воздуха
(нагрев, охлаждение, увлажнение и осушение)

Благодаря возможности точно обеспечить и кондиционировать требуемый объем приточного воздуха, механические вентиляционные системы превосходят по гигиеническим показателям и, особенно в комбинации с рекуперацией тепла, как правило, также по энергопотреблению. Вентиляционные системы используются также тогда, когда геометрия помещения не позволяет использовать естественную вентиляцию (см. рис. 4).

Центральные системы кондиционирования воздуха всегда требуют установки очистки воздуха, которые должны быть установлены даже в отдельных помещениях, больших определенного размера (центральные вентиляционные установки). Если кондиционирование воздуха централизовано, воздух в здании должен распределяться по воздуховодам. Обычно это делается вертикально в

шахта и горизонтально в области потолка. В данном случае при проектировании также необходимо учитывать необходимое пространство.

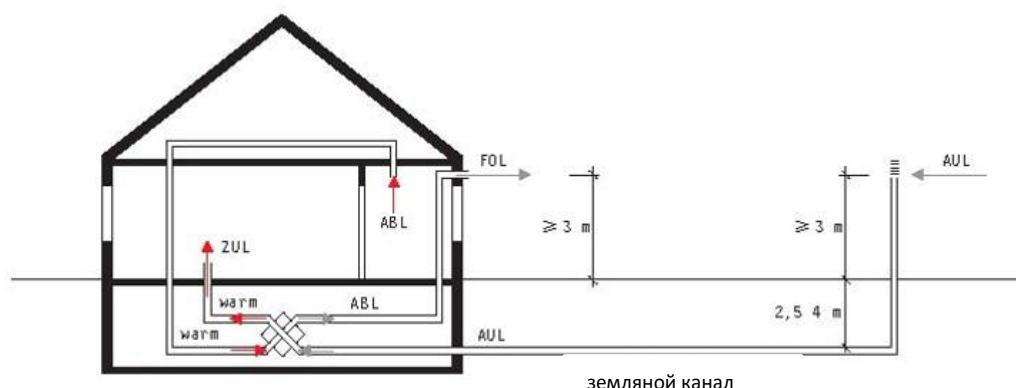


Рис. 5: Вентиляционная система с земляным каналом и рекуперацией тепла⁸

На рис. 5 показана типичная система вентиляции жилого здания с рекуперацией тепла и земляным каналом. Входные и выходные отверстия для свежего воздуха должны быть защищены от дождя, птиц и насекомых и находиться на высоте не менее 3 м над поверхностью земли. Выход воздуха через проложенный на глубине около 2,5-4 м земляной канал длиной около 30 м является эффективной мерой экономии энергии, так как сбалансированная температура почвы летом охлаждает наружный воздух, а зимой подогревает его.

Точно так же тепло, присутствующее в отработанном воздухе, может быть добавлено обратно в свежий воздух посредством рекуперации тепла через теплообменник. В теплообменнике теплый вытяжной и холодный приточный воздух пересекаются, не смешивая оба потока воздуха, предотвращая тем самым перенос загрязняющих веществ. В зависимости от типа теплообменника КПД достигает 90% и, таким образом, значительно снижается потребность в обогреве. При соответствующем высоком стандарте теплоизоляции, только такая система вентиляции может принести необходимое тепло в здание и, таким образом, сделать ненужным дополнительное отопление помещений. В таком случае говорят о так называемом "пассивном доме".

Решающим для комфорта в помещении является способ распределения кондиционированного воздуха. В основном, в помещении можно выделить три типа воздушного потока (см. рис. 6):

- Смешанная вентиляция
- Вытесняющая вентиляция
- Приточная вентиляция

⁸ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.48

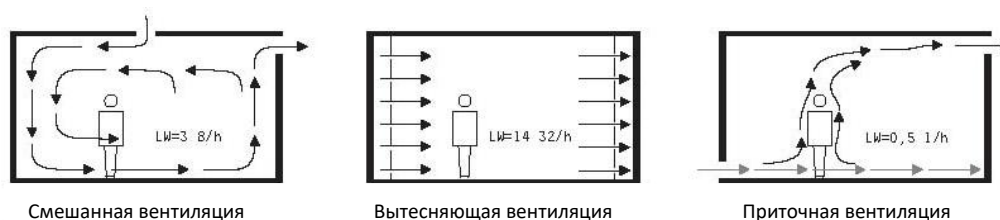


Рис. 6: Поток воздуха в помещении и достижимые скорости воздухообмена⁹

Смешанная вентиляция – типичный тип воздушного потока в помещении, при котором приточный воздух обдувается с относительно высокой скоростью в потолке или стене и смешивается с неподвижным воздухом помещения.

Вытесняющая вентиляция — это технология вентиляции помещений специального назначения. Здесь приточный воздух подается по всей площади стены или потолка и отводится с противоположной стороны. Типичными областями применения являются операционные и чистые помещения, так как используемый тип вентиляции означает, что приточный воздух и воздух в помещении не смешиваются, создавая, таким образом, чрезвычайно чистое пространство.

Приточная вентиляция является особенно энергосберегающим и комфортным типом вентиляции. При приточной вентиляции воздух поступает в помещение на уровне пола при температуре 2-3 К и низкой скорости воздуха ($<0,2$ м/с). Благодаря этому воздух распространяется по полу помещения и образует "озеро свежего воздуха". Благодаря источникам тепла в помещении, таким как люди или компьютеры, свежий воздух поднимается к потолку в результате теплового лифта и, таким образом, обеспечивает каждого человека достаточным количеством свежего воздуха. Таким образом, скорость воздухообмена может быть снижена до гигиенически необходимого минимума ($LW\ 0,5 - 1,0/h$), тем самым снижая потребность в энергии. Приточная вентиляция работает независимо от глубины помещения и объема здания и поэтому может применяться в очень глубоких зданиях и залах с высокой потребностью в воздухе и низкой охлаждающей нагрузкой (до около 35 Вт/м^2), например, в театрах или спортивных залах, а также в офисах.

1.3 Концепция вентиляции

Современные, энергоэффективные здания построены максимально герметично. Этот метод герметичного строительства желателен и имеет смысл с точки зрения энергосберегающего строительства, но на практике он все чаще приводит к

⁹ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.49

повышению влажности воздуха в зданиях и квартирах, что может привести к росту плесени.

Для обеспечения достаточного воздухообмена в этих зданиях DIN 1946-6¹⁰, как общепризнанный технический стандарт, формулирует соответствующие предписания.

Эти предписания должны быть подтверждены через разработанную концепции вентиляции и касаются:

- нового строительства жилых домов,
- санации частных (односемейных) и многоквартирных домов, в которых заменено более 1/3 существующих окон или
- односемейных домов, в которых более 1/3 поверхности крыши герметизировано.

Как правило, необходимость использования механической системы вентиляции возрастает с ростом энергетических стандартов.

2 Охлаждение

Для поддержания комфортных условий в помещениях может потребоваться охлаждение. При отсутствии возможности естественного охлаждения (например, путем вентиляции окон), возможно, придется обеспечить охлаждение с помощью технических средств.

2.1 Избежание потребности в энергии для охлаждения

Несмотря на использование всех структурных (пассивных) мер во избежание перегрева здания или помещения летом (теплоаккумулирующая способность, процентное соотношение площади окон, направленность, защита от солнца и т.д.), может потребоваться дополнительная энергия для охлаждения. Это происходит всякий раз, когда прирост тепла (за счет солнечного излучения и внутренних тепловых нагрузок), как показано на рис. 7, становится больше потерь тепла (за счет потерь на вентиляцию и передачу), а избыточное тепло не может в достаточной степени накапливаться в термоаккумулирующих массах. Повышения и превышения максимально желаемой температуры в помещении можно избежать только с помощью активных, т.е. инженерных мер.

¹⁰ Стандарт DIN 1946-6 (05.2009): Вентиляционные системы - Часть 6: Вентиляция жилых помещений

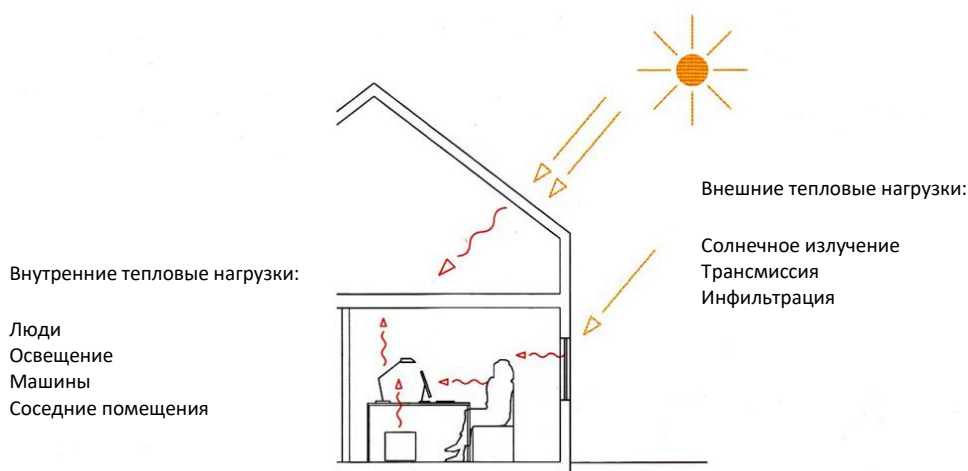


Рис. 7: Внутренние и внешние тепловые нагрузки (по Хайнер 2010, стр.58)

Если бы потребность в энергии для охлаждения удовлетворялась с помощью, например, обычной системы кондиционирования воздуха, то это было бы очень энергоемким процессом, поэтому в интересах энергосбережения этого следует избегать. По этой причине летняя теплоизоляция, наряду с аспектами комфорта, также имеет особое значение в целях избежания дополнительной потребности в энергии для охлаждения.

2.2 Комнатные системы охлаждения

Если, несмотря на рассмотрение всех вышеописанных аспектов и эффективную систему защиты от солнца, требуется дополнительная энергия для охлаждения с целью уменьшения нежелательного поступления солнечного тепла, так как в противном случае постоянное комфортное пребывание в здании будет невозможно, то для активного охлаждения здания или помещения следует выбрать системы охлаждения, работающие с максимальной эффективностью. Например, системы с водяным управлением (например, охлаждающие потолки) предпочтительнее систем с воздушным управлением (кондиционирование воздуха). На рис. 8 представлен обзор систем охлаждения помещений.



Рис. 8: Обзор систем охлаждения помещений (по Хайнер 2010, стр.62)

В широко распространенных системах кондиционирования воздуха, работающих только на воздухе (см. рис. 9), охлаждение достигается исключительно за счет обдува холодным приточным воздухом. Холод обычно генерируется компрессионной холодильной машиной. В принципе он работает как тепловой насос, за исключением того, что здесь испаритель используется для охлаждения. Компрессионная холодильная машина имеет высокую потребность в электроэнергии, а холодопроизводительность часто сопровождается ограничениями с точки зрения теплового комфорта. Поэтому по возможности следует избегать его использования. Однако соответствующим образом направленный подземный воздухопровод может привести к экономии энергии, по крайней мере, в центральных системах, за счет предварительного охлаждения центрального приточного воздуха (см. также рис. 5).

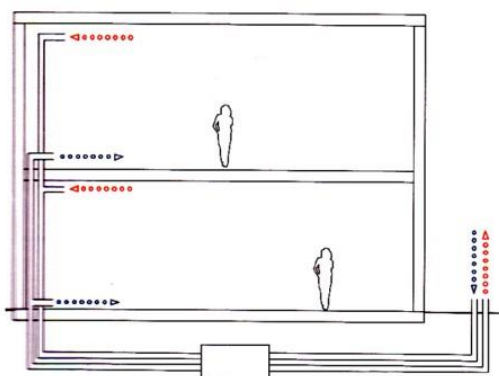


Рис. 9: Система вентиляции, управляемая только воздухом (также в качестве системы кондиционирования воздуха)¹¹

¹¹ Хейнер, Майкл, Тиль, Дитер/Руофф, Джо (2010): Общее правило инженерных систем здания. Для архитекторов, Мюнхен, стр.63

Дополнительные меры по экономии энергии для систем, работающих только на воздухе, включают использование солнечной энергии (солнечное охлаждение) или использование испарительного охлаждения для (предварительного) кондиционирования приточного воздуха (адиабатическое охлаждение).

В случае водоносных систем используются, в частности, охлаждающие потолки и так называемая активация строительных компонентов.

Охлаждающие потолки — это подвешенные к потолку системы, которые могут покрывать различную по размеру часть потолка. На подвесных потолках установлены охлаждающие змеевики, через которые течет вода. Таким образом, избыточное тепло удаляется из помещения и выбрасывается в окружающую среду. Для этого так называемого обратного охлаждения могут также использоваться речные или подземные воды, как правило, через соответствующие теплообменники.

Примерно половина передачи холода происходит при помощи излучения и легко контролируется.

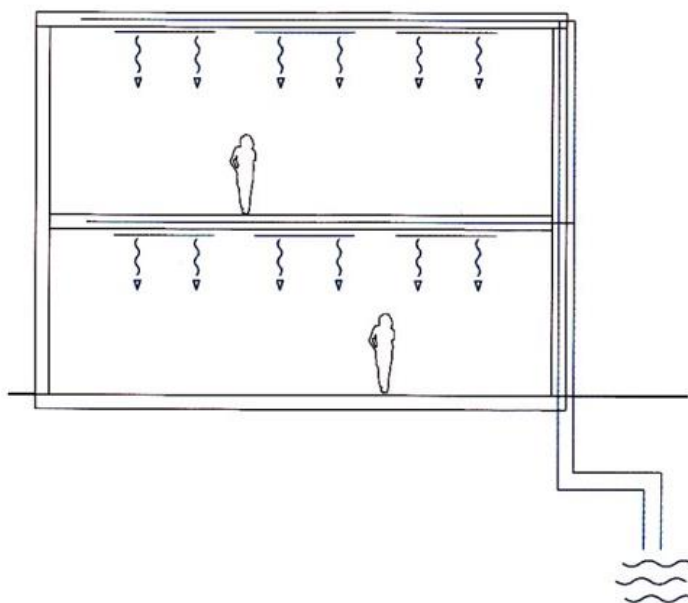
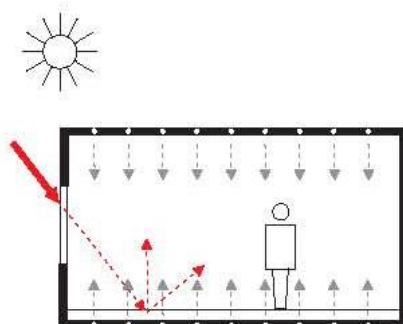


Рис. 10: Водоносная система охлаждения (охлаждающий потолок)¹²

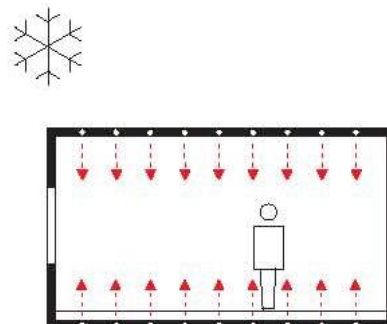
Как правило, больший комфорт может быть достигнут при использовании преимущественно излучающих систем, например, при активации строительных элементов. Здесь трубы укладываются змееобразно в ядро бетонного потолка, и через них течет холодная (или теплая) вода, которая термически активизирует элемент здания в качестве накопительной массы. Поэтому эта система подходит

¹² Хейнер, Майкл, Тиль, Дитер/Руофф, Джо (2010): Общее правило инженерных систем здания. Для архитекторов, Мюнхен, стр.63

как для охлаждения, так и для обогрева. В режиме охлаждения поток холодной воды в ночное время позволяет высвободить тепло, поглощенное бетоном в течение дня, тем самым снижая требуемую днем охлаждающую способность.



Терморегулирование строительного элемента 90/10
Охлаждение $T_v=16^{\circ}\text{C}$



Терморегулирование строительного элемента 90/10
Отопление $T_v=25^{\circ}\text{C}$

Рис.11: Рассеивание тепла и холода посредством активации компонентов¹³

Предпосылкой для функциональности системы температурного контроля элементов здания является термическая доступность бетонных поверхностей, т.е. необходимо избегать подвесных конструкций на потолке.

Умеренные температуры воды в подающей трубе (T_v) подходят для использования с возобновляемыми источниками энергии. Однако, как и в случае с системами напольного отопления, их регулируемость очень низкая из-за тепловой инерции бетонной массы.

Материал предоставлен проф. др. А. Юстом, Европейский образовательный центр экономики жилищного хозяйства и недвижимости (ЕБЦ), EBZ Business School, г. Бохум, Германия, 2020 г.

¹³ Кляйн, Оливер, Шленгер, Йорг (2008): Кондиционирование помещений, Базель, Бостон, стр.72