



Энергоэффективное управление инженерными системами

Автоматизация и безопасность зданий

SIEMENS

Вступительное слово

Энергосбережение – самый экологически чистый источник энергии, поскольку не загрязняет окружающую среду вредными выделениями парниковых газов. К тому же, это весомая часть снижения эксплуатационных издержек, поскольку создаёт облегчённый режим работы оборудования, уменьшая его износ и удлиняя срок службы. Энергосбережение с помощью интеллектуальной системы автоматизации упрощает задачи эксплуатационного персонала, делая его труд интеллектуальным. Автоматизация зданий – это важный инструмент не только в борьбе с нерациональным использованием энергоресурсов и загрязнением окружающей среды, но также и в создании комфортного микроклимата внутри помещений. Здание, оснащённое новыми современными системами автоматизации, это здание, представляющее собой не застывшую архитектуру, а структуру со сложными системами жизнеобеспечения, которую можно сравнить с живым организмом. Здание “дышит” при помощи системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Его трубные “артерии” подают тепло и живительную влагу. Его интеллектуальная система автоматизации, построенная на современной элементной базе, получает информацию от “нервных окончаний” – датчиков температуры, давления, влажности и т. д., и работает, как “центральная нервная система”. Она обрабатывает информацию в своём “мозге” и посылает команды к исполнительным органам: электроприводам насосов и вентиляторов, исполнительным механизмам воздушных заслонок и регулирующих клапанов. У такого здания есть душа – это человек, для которого оно существует, для которого в нём созданы все комфортные условия, и в котором он готов проводить большую часть своего времени. В таком здании комфорт, экономичность и экологичность шагают рука об руку. Энергоэффективные здания наглядно демонстрируют, насколько серьёзно их владельцы возлагают на себя ответственность за рациональное использование энергии. Такой “зелёный имидж” приобретает всё большее значение, и системы автоматизации различных типов зданий или комплексов зданий играют здесь большую роль. В данной брошюре представлены популярные и инновационные методы энергоэффективного управления инженерными системами посредством автоматизации. Мы надеемся, что она окажется полезной при проектировании, наладке и эксплуатации систем автоматизации зданий.

Тарасенко Ю.А.



Москва. 2017 год.

Содержание

1	Введение	4
1.1	Область применения.....	4
1.2	Выбор между энергосбережением и комфортным микроклиматом ...	4
2	Комфортные условия	5
2.1	Температура воздуха	5
2.2	Влажность воздуха.....	5
2.3	Качество воздуха	5
2.4	Скорость движения воздуха	6
2.5	Освещение.....	6
2.6	Шумы	6
2.7	Тепловое излучение.....	6
2.8	Двигательная активность.....	7
3	Автоматизация инженерных систем	7
3.1	Системы автоматизации.....	7
3.2	Окупаемость систем автоматизации	8
3.3	Меры по повышению энергоэффективности.....	9
3.4	Классификация систем автоматизации	10
3.5	Две разновидности характеристик.....	11
4	Энергосбережение в отоплении	15
4.1	Схема централизованного теплоснабжения.....	15
4.2	Принцип энергосбережения в системе теплоснабжения	17
4.3	Энергосбережение в ИТП.....	18
4.4	Теплообмен человека с окружающей средой.....	24
4.5	Инерционность конструкции здания	27
4.6	Предиктивное управление отоплением	33
5	Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования	37
5.1	Регулирование влажности воздуха.....	38
5.2	Регулирование температуры воздуха.....	41
5.3	Регулирование освещения и охлаждения.....	51
5.4	Регулирование качества воздуха	52
5.5	Регулирование тепловлажностного режима	55
6	Заключение	61

1 Введение

Для кого
предназначена
брошюра?

Брошюра разработана департаментом “Автоматизация и безопасность зданий” компании ООО “Сименс” и предназначена для всех участников процессов проектирования, наладки и эксплуатации систем автоматизации зданий.

1.1 Область применения

Брошюра посвящена вопросам энергоэффективного управления инженерными системами здания:

- отопление;
- горячее водоснабжение;
- охлаждение;
- вентиляция;
- кондиционирование воздуха;
- освещение и затенение помещений,

а также вопросам поддержания комфортного микроклимата в помещениях.

1.2 Выбор между энергосбережением и комфортным микроклиматом

Инженерные системы зданий или, как их называют – системы жизнеобеспечения, служат для поддержания комфортного микроклимата в помещениях и при этом затрачивают большое количество тепловой и электрической энергии. Если энергию экономить, это может привести к ухудшению комфортных условий. Встаёт вопрос: что важнее – энергосбережение или комфорт?

Чему отдать
приоритет?



Затраты на энергопотребление, какими бы высокими они ни были, не идут ни в какое сравнение с ценой здоровья людей и производительности их труда. Поэтому энергосбережение должно заканчиваться тогда, когда возникает угроза ухудшению комфортных условий. То есть, энергосбережение должно достигаться без ущерба для комфорта. Поэтому, прежде чем заниматься энергосбережением, надо позаботиться о комфортных условиях.

2 Комфортные условия

Что влияет на самочувствие людей?



2.1 Температура воздуха

Температурный комфорт – одно из основных условий комфортного микроклимата в помещениях. Ощущение температурного комфорта очень индивидуально. Оно бывает разным у разных людей, в зависимости от здоровья, закалки, возраста, комплекции и т. д. Это ощущение бывает разным у одного и того же человека, в зависимости от его двигательной активности или эмоционального состояния. Температуру воздуха поддерживают системы отопления, охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Цель этих систем – создать такие условия, при которых человек не задумывается – холодно ему или тепло. Температура воздуха условно считается комфортной в пределах от 20°C до 25°C.

2.2 Влажность воздуха

Для того, чтобы избежать негативного воздействия чрезмерной влажности или, наоборот, чрезмерной сухости воздуха, его необходимо осушать летом и увлажнять зимой. Этот двухсторонний процесс является одной из основных функций систем кондиционирования воздуха. Относительная влажность воздуха условно считается комфортной в пределах от 30% до 60%. При разной влажности человек по-разному ощущает фактическую температуру воздуха.

2.3 Качество воздуха

Воздушный комфорт человека в закрытом помещении определяется качественной характеристикой комнатного воздуха, которая во многом зависит от количества поступающего свежего атмосферного воздуха и его чистоты. Качество воздуха характеризуется степенью концентрации углекислого газа, наличием запахов, табачного дыма, аллергенов, токсичных испарений и т. д. Оно поддерживается системами приточно-вытяжной вентиляции, управляемыми с помощью датчиков качества воздуха. Обычно используются два типа датчиков: датчики CO₂ и датчики летучих органических соединений (ЛОС).

Датчики CO₂ определяют концентрацию углекислого газа, выдыхаемого человеком. Избыток и недостаток CO₂ во вдыхаемом воздухе одинаково вредно отражается на состоянии организма. При недостатке CO₂, когда его допустимая концентрация <0,03%, нарушается работа многих органов, а при избытке >1,5% ощущаются головные боли и наркотическое действие. Работоспособность и основные физиологические функции организма значительно не изменяются, если CO₂ составляет 0,04% – 0,5%.

Датчики ЛОС определяют концентрацию токсичных испарений от различных веществ, таких как краска, ковры, деревянные изделия, клеящие вещества, моющие и чистящие средства и т.д. Их неблагоприятное воздействие на здоровье зависит не только от уровня токсичности, но также от концентрации и длительности контакта с людьми. Концентрация летучих органических соединений в закрытых помещениях в пять раз превышает их концентрацию в открытом воздухе.

2.4 Скорость движения воздуха

Движение воздуха может привести к ощущению холода при нормальной температуре. Оно способствует локальному охлаждению отдельных участков тела и может отрицательно сказываться на здоровье. Не должно быть сквозняков, создаваемых системами приточно-вытяжной вентиляции. Скорость движения воздуха в помещении не должна превышать 0,15 м/сек. зимой и 0,25 м/сек. летом. При разной скорости движения воздуха человек по-разному ощущает фактическую температуру воздуха.

2.5 Освещение

Слишком яркое освещение вызывает раздражение зрительного аппарата. Недостаточное освещение вызывает утомление зрительного аппарата. Освещение в помещениях должно поддерживаться в соответствии с санитарными нормами для разных типов помещений, в зависимости от трудовой деятельности, или в соответствии с индивидуальным ощущением светового комфорта. Освещение регулируется датчиками освещённости и диммерами (электронными потенциометрами, регулирующими мощность светильников).

2.6 Шумы

Шумовой дискомфорт вызывает звуковое утомление и нервозность. Шумы возникают чаще всего от работы систем вентиляции – при движении воздуха по воздуховодам, особенно в местах сужения воздушного канала, или в воздушных заслонках, а также от работы вентиляторов. Очень важно при проектировании, по-возможности, выносить воздуховоды и вентиляторы за пределы помещений с людьми. Уровень шума ниже 35 дБ – безвреден, от 35 до 65 дБ – вызывает раздражающее действие, свыше 65 дБ – негативно воздействует на нервную систему, от 70 до 85 дБ – превышает порог вредного воздействия на здоровье (при длительном воздействии может вызвать повреждение слуха).

2.7 Тепловое излучение

Тепловое излучение происходит от стен и перекрытий, от приборов освещения, офисной техники и т. д. Люди излучают тепло. При разном тепловом излучении человек по-разному ощущает фактическую температуру воздуха.

2.8 Двигательная активность

При низкой температуре двигательная активность помогает согреться. При высокой температуре – усиливает ощущение жары. При разной двигательной активности человек по-разному ощущает фактическую температуру воздуха.

Синдром “больного здания”



Если все или часть этих показателей не отвечают нормам, то возникает синдром “больного здания”, когда люди ощущают недомогание, казалось бы, по непонятным причинам. Стоит выйти наружу, эти симптомы проходят. Подсчитано, что в таком здании скорость мыслительных процессов на 10% ниже, а количество ошибок на 30% больше.

3 Автоматизация инженерных систем

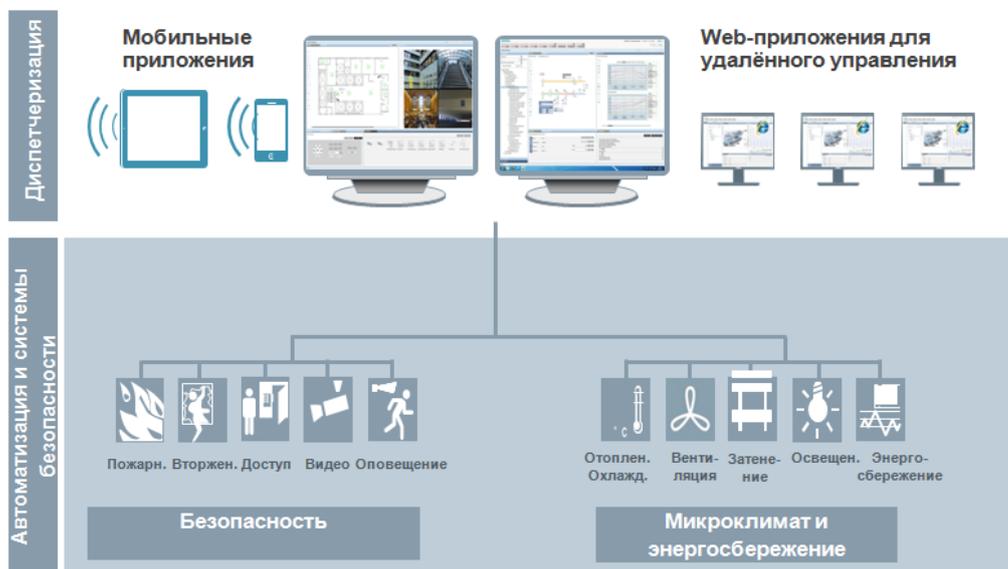
3.1 Системы автоматизации



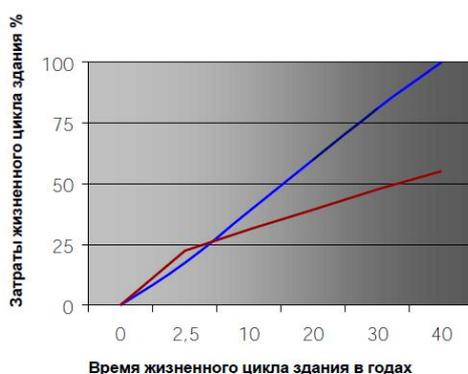
Департамент “Автоматизация и безопасность зданий” предлагает полный набор приборов, средств и систем автоматизации для центральных систем ОВК (отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Специальная система TRA (Total Room Automation) предназначена для индивидуального комнатного регулирования температуры в режиме обогрева или охлаждения, индивидуального комнатного воздухообмена, а также для освещения и затенения помещения с помощью жалюзи. Центральная станция предназначена для диспетчеризации и представляет собой интегрированную

систему управления зданием для поддержания микроклимата и энергосбережения. Она интегрирует также системы пожарной безопасности, контроль несанкционированного проникновения в помещения, контроль доступа, видеонаблюдение и оповещение при нештатных ситуациях. Специальные web-приложения позволяют осуществлять управление с удалённого компьютера. Мобильные приложения позволяют осуществлять управление с помощью айфона или планшета.

Desigo CC



3.2 Окупаемость систем автоматизации



Здание без систем автоматизации
Здание с системами автоматизации

Срок окупаемости – 3-5 лет!



Комфортный микроклимат
Снижение эксплуатационных расходов
Энергосбережение

На рисунке представлен график затрат на протяжении жизненного цикла здания, включающего в себя проектирование, возведение, оснащение, эксплуатацию и т. д. вплоть до сноса. Синяя линия соответствует зданию без систем автоматизации, а красная линия – с системами автоматизации. Видно, что на начальном этапе затраты без автоматизации ниже затрат с автоматизацией. Но затем происходит перелом, и оказывается, что эксплуатация здания с автоматизацией обходится дешевле. И чем дальше, тем больше. Срок окупаемости обычно подсчитывают, исходя из стоимости автоматизации и стоимости сэкономленной за счёт автоматизации энергии.

При этом обычно не берётся в расчет, что помимо энергосбережения, автоматизация даёт два других весомых преимущества. Это – комфортный микроклимат и снижение эксплуатационных расходов.

Комфортный микроклимат способствует повышению производительности труда и снижению заболеваемости, то есть уменьшению количества дней отсутствия по болезни. Эти аргументы свидетельствуют о том, что комфортный микроклимат – это также экономический показатель.

Снижение эксплуатационных расходов вытекает из того, что автоматизация способствует сокращению эксплуатационного персонала, уменьшению вероятности возникновения аварийных ситуаций, и созданию более облегчённого режима работы инженерного оборудования в результате автоматического поддержания оптимальных режимов работы, что уменьшает износ и сокращает затраты на эксплуатацию и ремонт.

3.3 Меры по повышению энергоэффективности

Автоматизация - наиболее эффективная мера энергосбережения



Существуют различные меры по повышению энергоэффективности зданий:

- архитектурно-строительные меры наиболее трудоёмкие и затратные с большим сроком окупаемости – свыше 10 лет;
- модернизация инженерного оборудования – менее трудоёмкая и затратная мера со сроком окупаемости – менее 10 лет;
- автоматизация инженерного оборудования – наименее трудоёмкая и затратная мера со сроком окупаемости – до 5 лет, особенно учитывая наличие специальных малозатратных программных функций энергоэффективного управления.

3.4 Классификация систем автоматизации

EN 15232
РФ – ГОСТ Р 54862-2011



Чем выше уровень автоматизации, тем больше возможностей для извлечения потенциала экономии в инженерных системах.

В соответствии с европейской нормой EN 15232 и российским стандартом РФ – ГОСТ Р 54862-2011, системы автоматизации зданий и методы управления инженерными системами условно разделены на четыре класса энергоэффективности: А, В, С и D.

Класс D включает в себя неэнергоэффективные системы автоматизации зданий и методы управления инженерными системами, которые не должны закладываться в проектные решения.

Класс С называется стандартным или сравнительным. Энергопотребление в инженерных системах, автоматизированных и управляемых по классу С, условно принимается за единицу для сравнения.

Класс В включает в себя системы с повышенной энергоэффективностью.

Класс А включает в себя системы с высокой энергоэффективностью.

Если, например, в офисном здании системы автоматизации и методы управления инженерными системами класса С модернизировать и довести до класса А, то можно начать экономить до 30% тепловой энергии и до 13% электрической энергии.

Метод определения потенциала экономии основан на коэффициентах. Он оправдал себя на протяжении многих лет эксплуатации инженерных систем зданий, начиная с 2003 года. Таблица коэффициентов энергоэффективности для тепловой и электрической энергии в разных типах зданий представлена ниже.

Коэффициенты энергоэффективности

Типы зданий	Тепловая энергия				Электроэнергия			
	D	C	B	A	D	C	B	A
Офисное здание	1,51	1	0,80	0,70	1,10	1	0,93	0,87
Концертные или конференц-залы	1,24	1	0,75	0,50	1,06	1	0,94	0,89
Учебные заведения	1,20	1	0,88	0,80	1,07	1	0,93	0,86
Больницы	1,31	1	0,91	0,86	1,05	1	0,98	0,96
Гостиницы	1,31	1	0,85	0,68	1,07	1	0,95	0,90
Рестораны	1,23	1	0,77	0,68	1,04	1	0,96	0,92
Торговые центры	1,56	1	0,73	0,60	1,08	1	0,95	0,91
Жилые дома	1,10	1	0,88	0,81	1,08	1	0,93	0,92

Коэффициенты расписаны для тепловой и электрической энергии в различных типах зданий. Если, например, в офисном здании системы автоматизации соответствуют неэффективному классу D, то энергопотребление в инженерных системах примерно в 1,5 раза выше, по сравнению с системами класса C. Если они соответствуют классу B, то энергопотребление на 20% ниже, по сравнению с системами класса C. Если же они соответствуют классу A, то энергопотребление на 30% ниже, по сравнению с системами класса C. Таким образом, на этапе проектирования или подбора оборудования можно предварительно оценить возможность экономии.

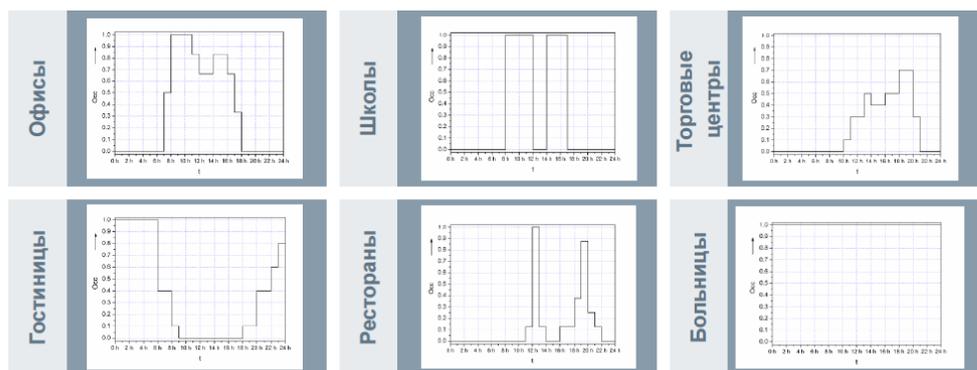
3.5 Две разновидности характеристик

Характеристики зданий подразделяются на два типа: характеристики пользователя и характеристики управления. Во взаимодействии они определяют коэффициенты энергоэффективности. Это показано в нижеприведённой таблице коэффициентов тепловой энергии в нежилых зданиях.

Типы нежилых зданий	Коэффициенты тепловой энергии			
	D	C	B	A
	Неэффективные	Стандартные (сравнительные)	Повышенные	Высокие
Офисные здания	1,51	1	0,80	0,70
Концертные или конференц-залы	1,24	1	0,75	0,5 ^a
Учебные заведения (школы)	1,20	1	0,88	0,80
Больницы	1,31	1	0,91	0,86
Гостиницы	1,31	1	0,85	0,68
Рестораны	1,23	1	0,77	0,68
Торговые центры	1,56	1	0,73	0,6 ^a

^a Величины зависят от потребности в обогреве или охлаждении для вентиляции

Примеры характеристик пользователя зданий.



Характеристики пользователя зданий разработаны, исходя из наличия людей в течение суток для осуществления принципа: “люди в здании – комфортные условия соблюдаются, люди отсутствуют – параметры микроклимата выводятся за пределы комфортной зоны”. Потенциал энергосбережения зависит от типа здания.

Пример характеристики управления системой отопления по классам А, В, С и D для жилых и нежилых зданий.

Пример для системы отопления

		Классификация							
		Нежилые				Жилые			
		D	C	B	A	D	C	B	A
Автоматизация системы отопления									
Комфортные условия в помещениях									
Поддержание температуры в помещениях									
0	Автоматическое регулирование температуры в ЦТП								
1	Автоматическое регулирование температуры в ИТП								
2	Покомнатное регулирование температуры (радиаторными вентилями, термостатами и т.д.)								
3	Покомнатное регулирование с коммуникацией между контроллерами и центральной станцией								
4	Покомнатное регулирование с коммуникацией и с учётом потребности по присутствию человека								

Если автоматическое регулирование температуры отопления ограничивается ЦТП (центральным тепловым пунктом), то система соответствует неэффективному классу D, поскольку теплоноситель одинаковой температуры подаётся в разные здания с разными тепловыми характеристиками и разной потребностью в отоплении.

Если автоматическое регулирование температуры отопления ограничивается ИТП (индивидуальным тепловым пунктом), то система соответствует также неэффективному классу D, поскольку теплоноситель одинаковой температуры подаётся в разные помещения здания с разной потребностью в отоплении.

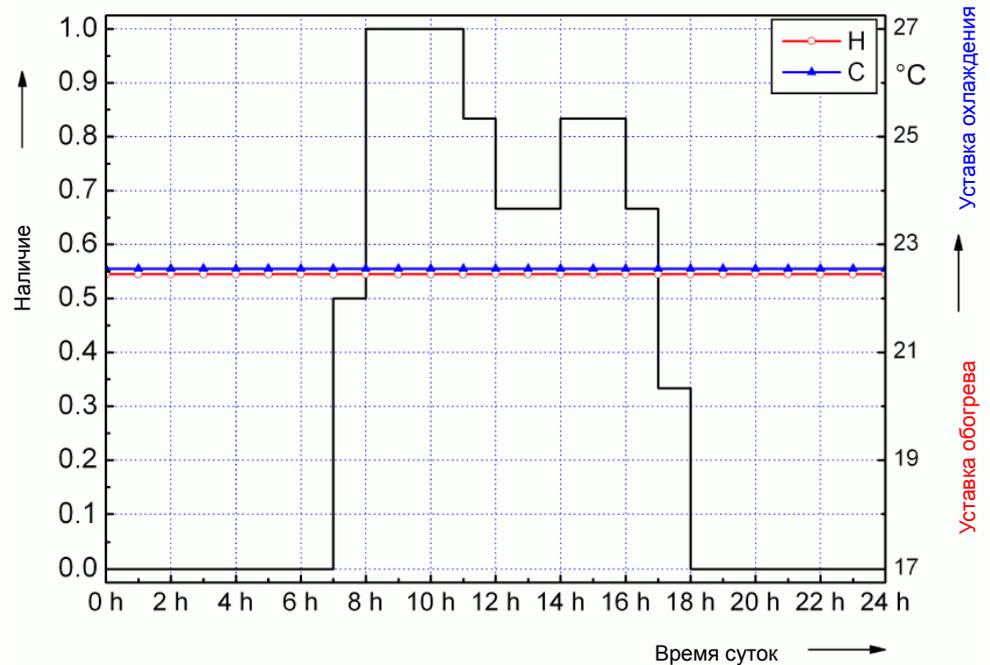
Для того, чтобы соответствовать хотя бы стандартному классу C, необходимо обеспечить покомнатное регулирование температуры радиаторными вентилями, термостатами, комнатными контроллерами и т. д.

Для того чтобы соответствовать классу В, необходимо обеспечить покомнатное регулирование температуры с коммуникацией между контроллерами и центральной станцией. Коммуникация в виде обратной связи позволяет извлечь дополнительный потенциал экономии в системе отопления.

И наконец, чтобы соответствовать классу А, необходимо обеспечить покомнатное регулирование температуры с коммуникацией между контроллерами и центральной станцией, плюс контроль присутствия человека в помещении.

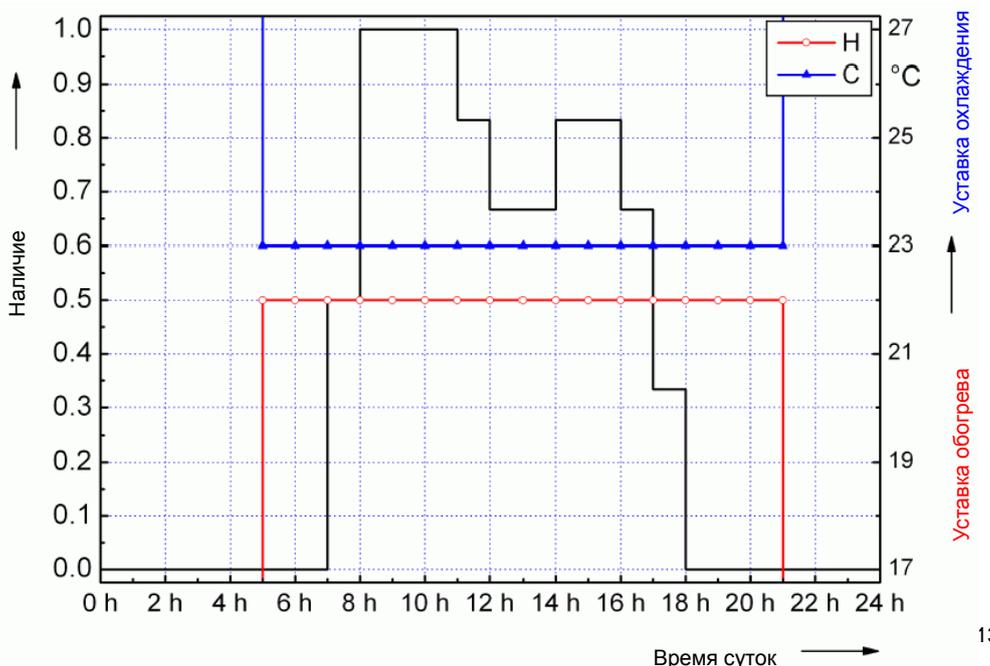
Примеры характеристик пользователя и управления офисного здания

Класс D



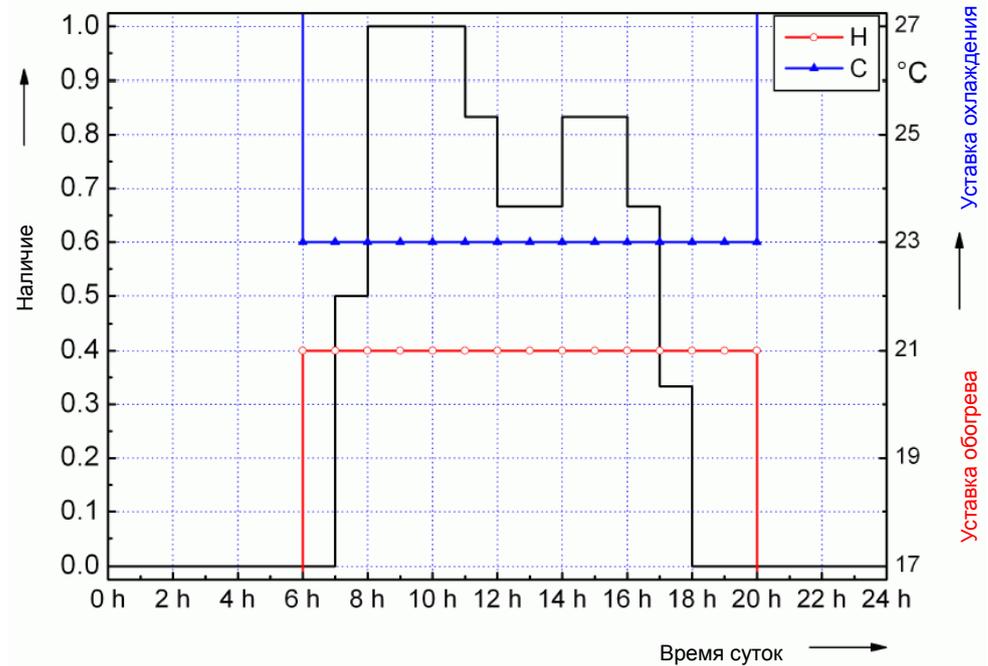
Класс D неэнергоэффективен, так как температурные уставки режимов обогрева и охлаждения имеют одинаковые величины, то есть отсутствует нейтральная зона. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования работают круглосуточно, хотя продолжительность наличия людей в здании составляет всего 11 часов.

Класс C



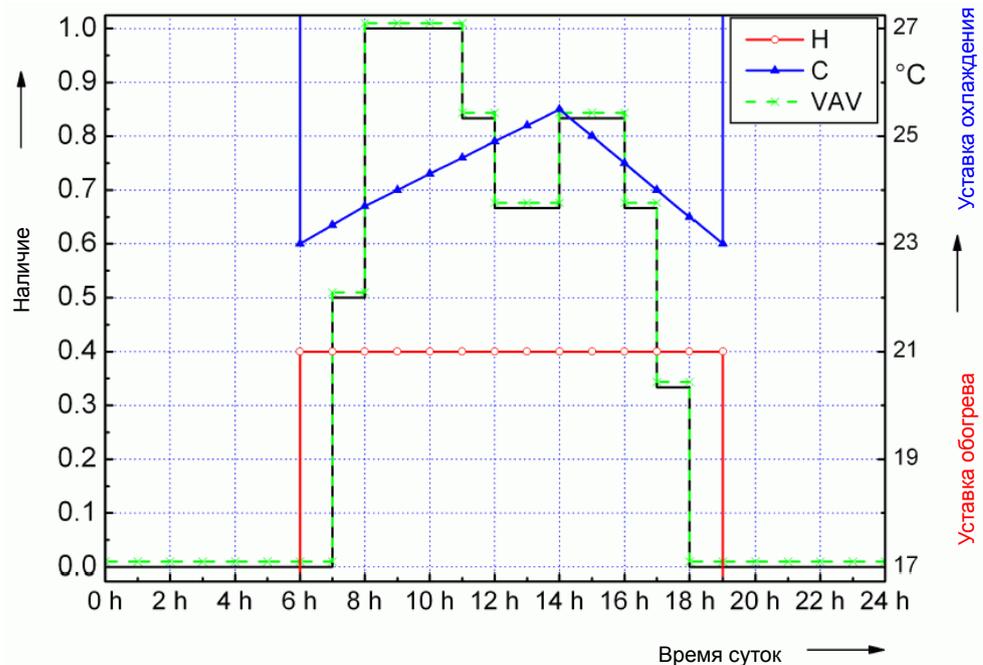
Класс С эффективнее класса D, так как температурные уставки режимов обогрева и охлаждения разведены на 1°C (минимальная нейтральная зона). Системы отопления, вентиляции и кондиционирования включаются за два часа до прихода людей и выключаются спустя три часа после ухода.

Класс В



Класс В отличается повышенной энергоэффективностью за счёт более широкой нейтральной зоны (2°C), разделяющей уставки режимов обогрева и охлаждения, а также за счёт большей оптимизации времени включения и выключения систем отопления, вентиляции и кондиционирования по сравнению с классом С.

Класс А



Класс А обеспечивает дополнительную энергоэффективность за счёт адаптивного регулирования уставок режимов обогрева и охлаждения, за счёт оптимального времени включения и выключения систем отопления,

вентиляции и кондиционирования, а также за счёт регулирования воздухообмена в соответствии с фактической потребностью, зависящей от количества людей.

4 Энергосбережение в отоплении

4.1 Схема централизованного теплоснабжения

Централизованное теплоснабжение

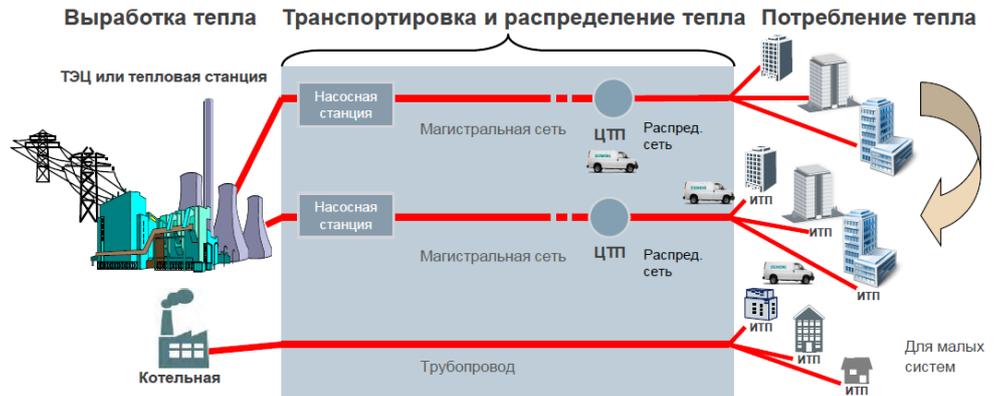


Схема централизованного теплоснабжения состоит из трёх составляющих: выработка тепла, транспортировка и распределение тепла и, наконец, потребление тепла.

Выработка тепла осуществляется в ТЭЦ (теплоэлектроцентралях), которые используют систему теплоснабжения, как большой радиатор для охлаждения воды в процессе производства электроэнергии. Тепло также вырабатывается на теплостанциях и в котельных (для малых систем).

Для транспортировки тепла насосные станции подают теплоноситель по магистральным трубопроводам к ЦТП. Режимы работы насосов зависят от расходов теплоносителя. Снижение расхода теплоносителя на ЦТП влечёт за собой нежелательное увеличение напора насоса, что отрицательно воздействует на все компоненты системы. В лучшем случае увеличивается только гидравлический шум. В любом случае теряется электрическая энергия.



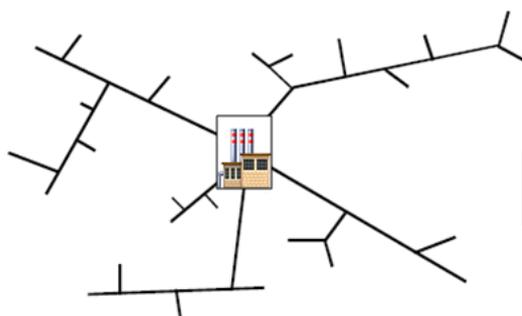
В этих условиях экономический эффект обеспечивается частотным управлением насосами. Контроллер поддерживает постоянный перепад давления на насосе путём изменения частоты вращения. Наиболее эффективно управление с коррекцией задания по “удалённой точке”. В этом случае измеряется перепад давления в конечных точках магистральных сетей. Если датчик давления, по которому работает частотный преобразователь, установлен прямо на выходе насоса, то стабилизировано давление на напорном трубопроводе у насоса. Но в разных точках трубопровода оно разное. Чем дальше от насоса, тем разница больше. Причина – потери гидравлического давления в трубопроводе.

ЦТП выполняют функцию гидравлического стабилизатора и разделяют систему на два иерархических уровня: магистральные сети и распределительные сети. Благодаря этому, теплосеть после ЦТП может работать с меньшими температурами теплоносителя и меньшими динамическими давлениями. Это способствует её стабильной работе, а также сокращает инвестиции и затраты. Теплообменник ЦТП имеет один первичный контур, связанный с двумя магистральными трубопроводами (прямая и обратка), и два вторичных контура: для отопления и для ГВС (горячего водоснабжения).

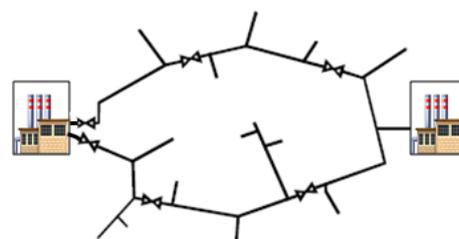
Потребителями тепла являются здания. От ЦТП теплоноситель одинаковой температуры подаётся к различным зданиям с разными тепловыми характеристиками и разной потребностью в тепле. Поэтому в одних зданиях может испытываться недостаток тепла, и пользователи вынуждены включать дополнительные обогревательные приборы, а в других зданиях может испытываться избыток тепла, и пользователи вынуждены охлаждать помещения путём открытия окон. При централизованном регулировании в ЦТП перерасход тепла на отопление и ГВС составляет 19% – 32%. Во избежание этих потерь в каждом здании устанавливают ИТП. В этом случае теплообменник ЦТП имеет только один вторичный контур, от которого отходят две трубы (прямая и обратка), с параллельными ответвлениями, подключёнными к первичным контурам ИТП зданий. А ИТП, в свою очередь, имеет два вторичных контура для отопления и ГВС своего обслуживаемого здания. В этом случае, помимо уменьшения потерь тепла в здании, уменьшаются потери в распределительной сети из-за сокращения количества труб. Сокращение протяжённости распределительных сетей сокращает расходы на их прокладку и эксплуатацию.

Схемы тепловых сетей могут быть двух видов: радиальные и кольцевые.

Радиальная схема



Кольцевая схема

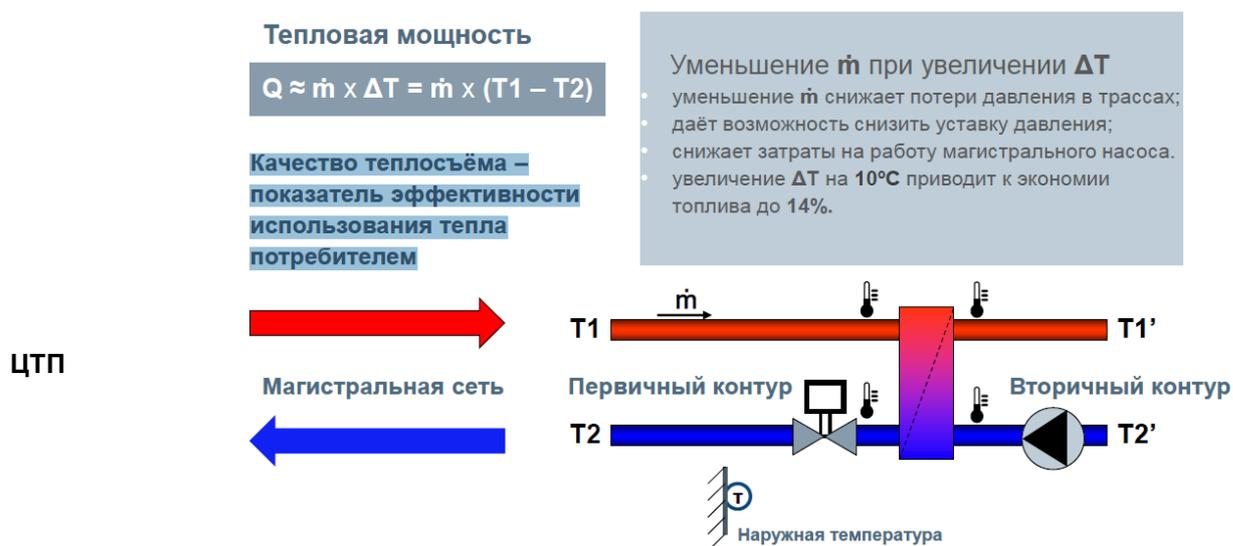


Радиальная схема представляет собой тупиковые ответвления ко всем объектам потребителей. В случае аварии эти объекты оказываются отключёнными.

Кольцевая схема – более надёжная и бесперебойная в работе. В ней все ветки ответвлений объединены в общий контур, чтобы, в случае выхода из строя одного источника тепла, его мог дублировать другой.

4.2 Принцип энергосбережения в системе теплоснабжения

Показателем эффективности использования тепла потребителем является качество теплосъёма. Для обеспечения необходимого теплосъёма можно либо количественно регулировать массу теплоносителя, либо качественно выдерживать температурный график, в зависимости от наружной температуры. Количество тепловой энергии, которая может быть выработана и передана по тепловым сетям за единицу времени, называется тепловой мощностью Q . Формула тепловой мощности приведена на рисунке.

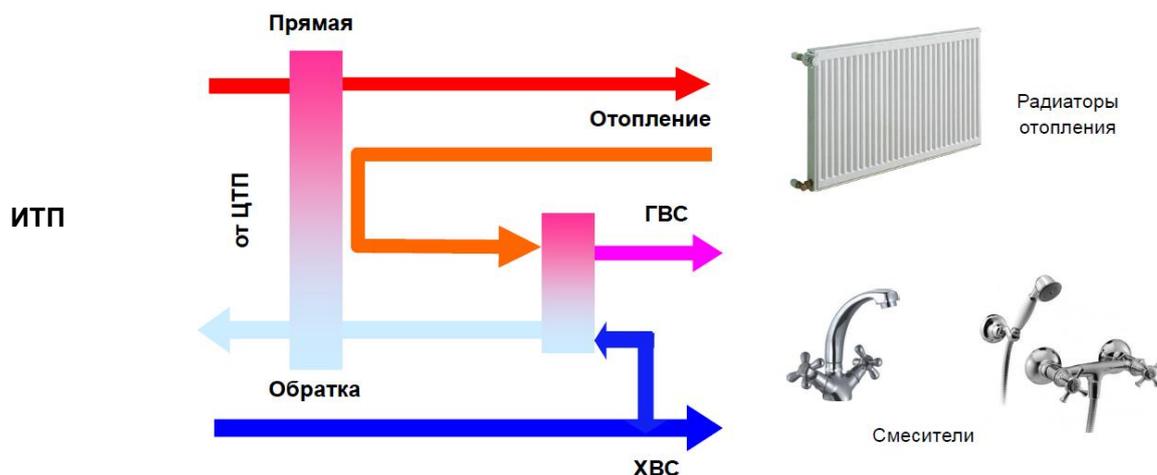


Принцип энергосбережения в системе отопления заключается в уменьшении \dot{m} при увеличении ΔT . Таким образом, эффективность использования тепла потребителем определяется разностью температуры в подающем и обратном трубопроводах сети. Чем больше эта разница (при данной температуре наружного воздуха), тем полнее используется доставленное потребителю тепло. Другими словами, гораздо выгоднее подавать каждый Гкал тепла при разнице температур 80°C, чем при разнице 8°C. В последнем случае затраты на транспортировку теплоносителя будут почти на порядок выше. Максимизация ΔT является актуальной задачей. Известный график 150°/70° предусматривает, что при морозе -26°C в подающем трубопроводе сети температура теплоносителя должна быть 150°C, а в обратном трубопроводе должна быть 70°C. Однако часто теплоснабжающая организация не поддерживает декларируемый температурный график. В тепловых сетях, которые должны функционировать по графику 150°/70°, температура воды в подающем трубопроводе часто не превышает 95°C. Более распространёнными графиками являются отопительные графики: 95°/70°, 90°/70°, 80°/70°.

Вторичный контур теплообменника ЦТП связан с теплообменниками ИТП по двухтрубной системе.

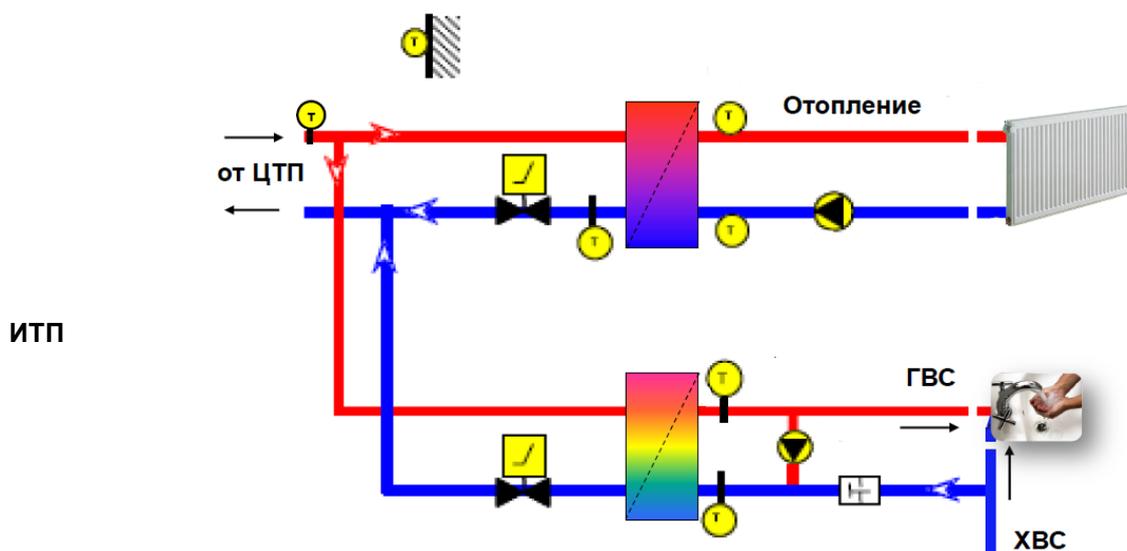
4.3 Энергосбережение в ИТП

ИТП с последовательным включением ГВС.



На схеме первичный контур теплообменника ИТП связан по двухтрубной системе со вторичным контуром теплообменника ЦТП. Во вторичном же контуре ИТП прямой трубопровод подаёт теплоноситель к приборам отопления. А обратный трубопровод контура отопления подаёт остаточное тепло на теплообменник ГВС. И уже от него остывшая вода поступает в обратку вторичного контура теплообменника ИТП. Таким образом, энергосбережение в ИТП с последовательным включением ГВС заключается в использовании в контуре ГВС остаточного тепла от контура отопления.

ИТП с параллельным включением ГВС.



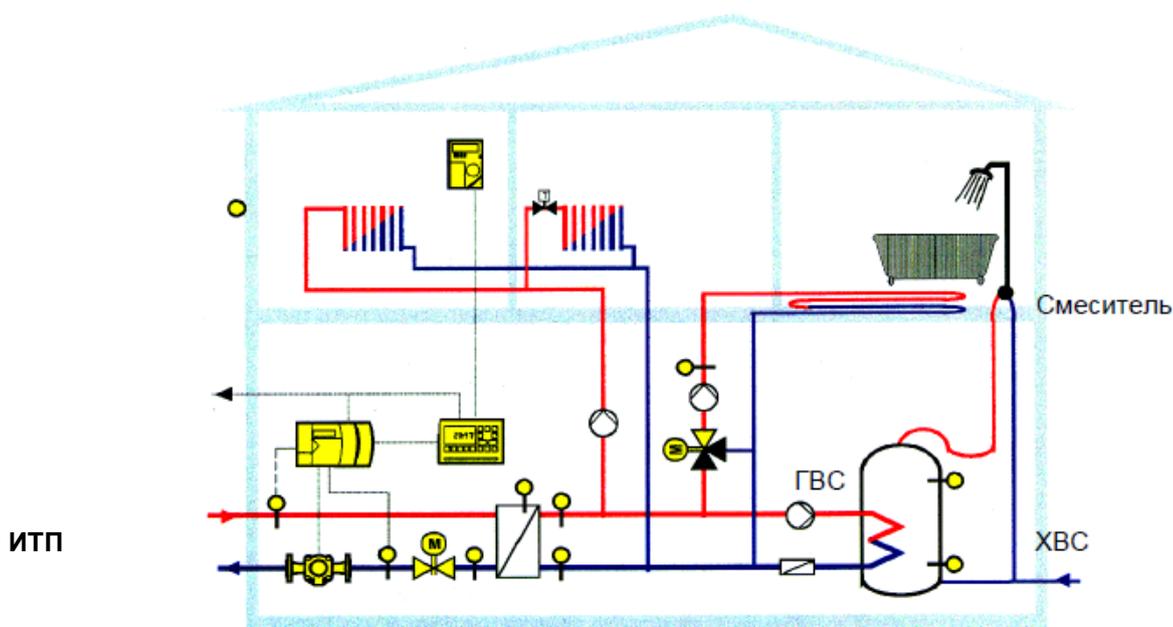
Трубопроводы от ЦТП подводятся параллельно к двум теплообменникам: отопления и ГВС.

Вторичный контур отопления замкнут. Теплоноситель циркулирует, благодаря работе насоса. Температура прямого теплоносителя поддерживается работой регулирующего клапана, установленного в обратке первичного контура отопления, в соответствии с температурой наружного воздуха.

Вторичный контур ГВС отличается от вторичного контура отопления тем, что в нём открытый водоразбор. Холодная вода от системы ХВС (хозяйственного водоснабжения) разделяется на два потока. Один поток поступает в холодный кран смесителя, а другой поступает на теплообменник ГВС, где нагревается и подаётся в горячий кран смесителя. Температура горячей воды поддерживается около 50°C работой регулирующего клапана, установленного в обмотке первичного контура ГВС. Из-за водоразбора, температура ГВС может изменяться гораздо быстрее, чем в системе отопления. Поэтому требуется быстрое действие привода регулирующего клапана. Рекомендуется электромагнитный регулирующий клапан. Контроллер распознаёт пиковую нагрузку в системе ГВС по значению температуры подачи во вторичном контуре. Если при полном открытии регулирующего клапана температура ГВС опускается ниже 48°C, то контроллер начинает воздействовать на закрытие регулирующего клапана в контуре отопления, “заимствуя” таким образом часть тепла из системы отопления. То есть, при пиковом потреблении горячей воды контроллер временно снижает потребление тепловой энергии в контуре отопления. Это никак не влияет на снижение температурного комфорта в помещениях здания. Поскольку в ИТП пики нагрузок отопления и ГВС не совпадают, рекомендуется подбирать диаметры трубопроводов и мощности насосов, в расчете не на полные нагрузки, а только на 70%.

Наличие примесей в системе ХВС влияет на загрязнение пластин теплообменника, что ухудшает теплообмен и снижает стабильность работы системы ГВС. Степень загрязнения зависит не только от концентрации примесей, но и от разности температур нагреваемой воды и нагревающей. Циркуляционный насос в байпасе вторичного контура ГВС подмешивает горячую воду в холодном трубопроводе, уменьшая, тем самым, эту разницу температур и препятствуя отложению примесей.

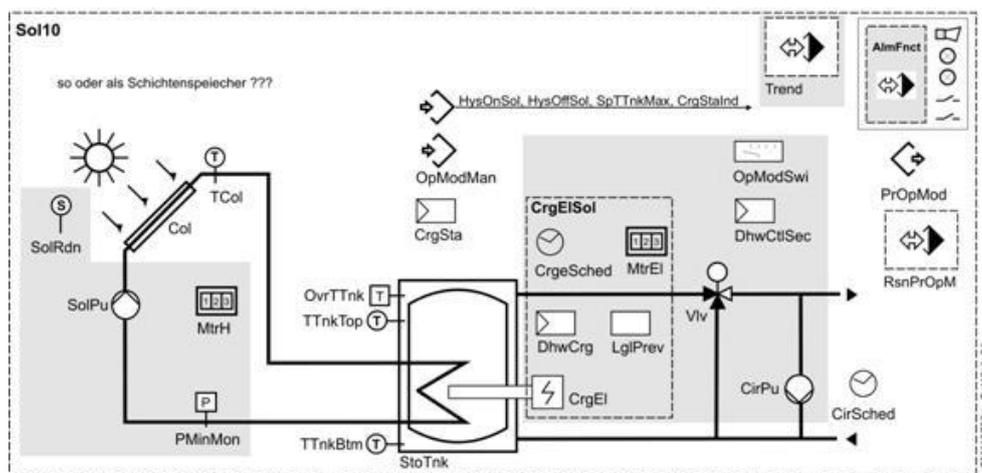
Накопительная система ГВС



В накопительной системе ГВС в качестве вторичного контура используется водяной накопительный бак. Достоинством таких систем является возможность использовать баки с водой в качестве буферов в режимах максимальных пиковых нагрузок. Недостатками являются потери тепла, возникающие при медленной работе больших систем, и развитие бактерий легионеллы. Накопительные системы ГВС вытесняются устройствами

проточного подогрева воды через быстродействующие теплообменники. Однако в некоторых случаях они успешно применяются, например, при использовании солнечной энергии.

ИТП



Солнечные водонагреватели (солнечные коллекторы) используют солнечное излучение для нагрева воды, то есть преобразуют солнечную энергию в высокую температуру теплоносителя. Существуют два типа солнечных водонагревателей: с естественной циркуляцией (пассивная система) и с принудительной циркуляцией (активная система). Баки-накопители аккумулируют тепло, поскольку поступление солнечной энергии происходит только днём, а потребление горячей воды должно быть обеспечено всегда.

В пассивной системе бак-накопитель солнечного нагревателя монтируется горизонтально непосредственно над солнечной панелью для создания условий естественной циркуляции, поскольку нагретая жидкость имеет меньшую плотность и стремится подняться вверх. Такие баки называют термосифонными.

В системе с принудительной циркуляцией используется электронасос для циркуляции воды через солнечный коллектор. В этом случае бак-накопитель солнечного водонагревателя монтируется внутри здания вертикально отдельно от коллектора. Он может иметь большую ёмкость и иметь дополнительное оборудование.

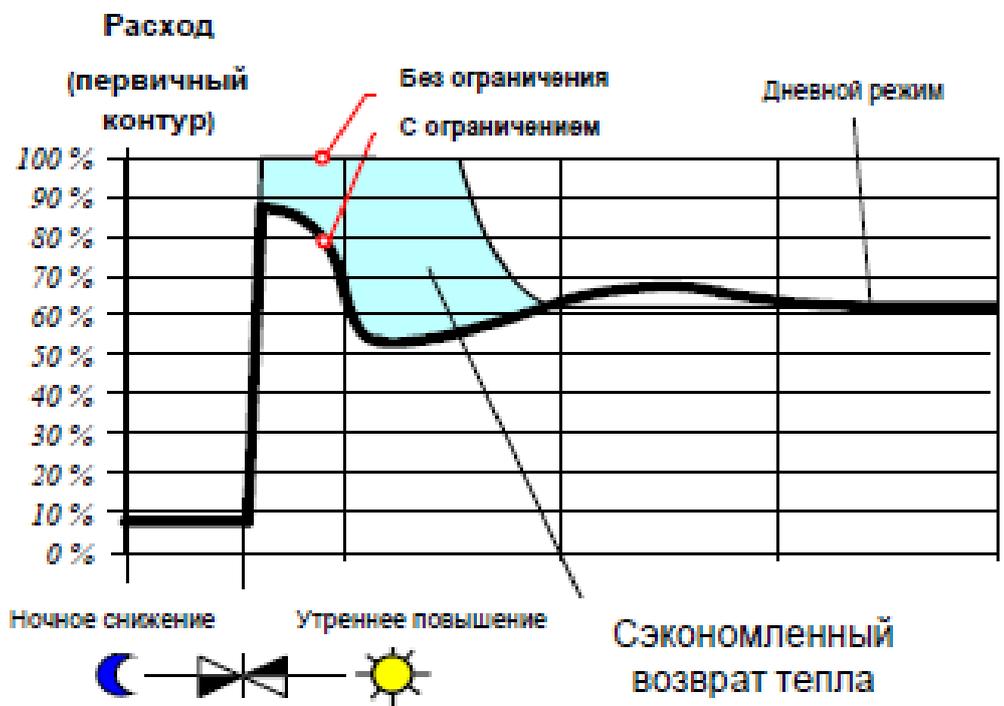
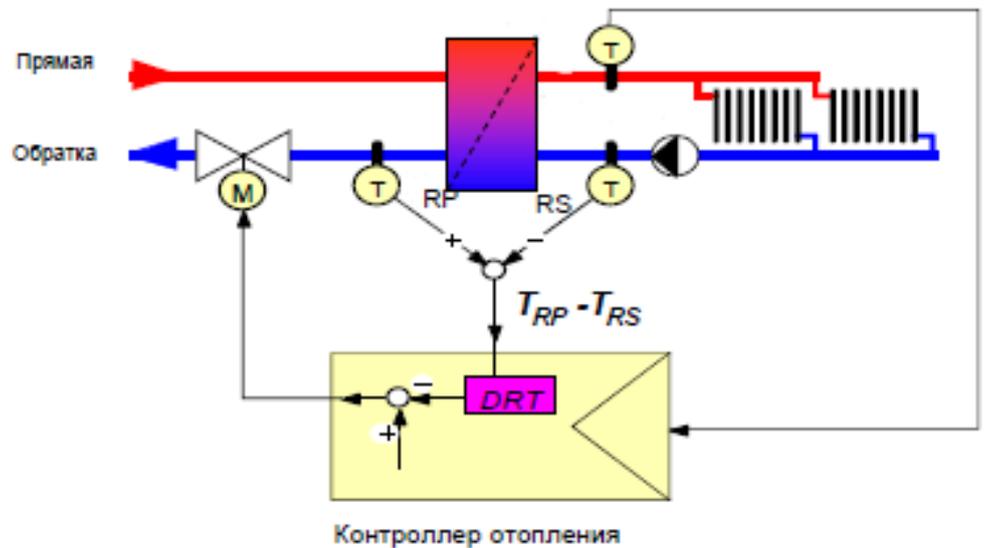
В обоих случаях теплоноситель, нагретый в солнечном коллекторе, поступает в накопительный бак, где передаёт тепло нагреваемой воде. Бак дополнительно оснащается трубчатым электронагревателем для подогрева воды в холодные или пасмурные дни.

Солнечные водонагреватели подразделяются также на системы с открытым (прямым) контуром и системы с закрытым (косвенным) контуром.

Ночное снижение температуры отопления и сглаживание пиковых нагрузок

Один из способов экономии энергии в системе отопления – ночное снижение температуры теплоносителя. Он приемлем для зданий, в которых ночью отсутствуют люди.

Регулирующий клапан температуры прямого теплоносителя вторичного контура установлен в обратке первичного контура (см. рисунок ниже). В дневном режиме степень его открытия колеблется возле положения примерно >60%.

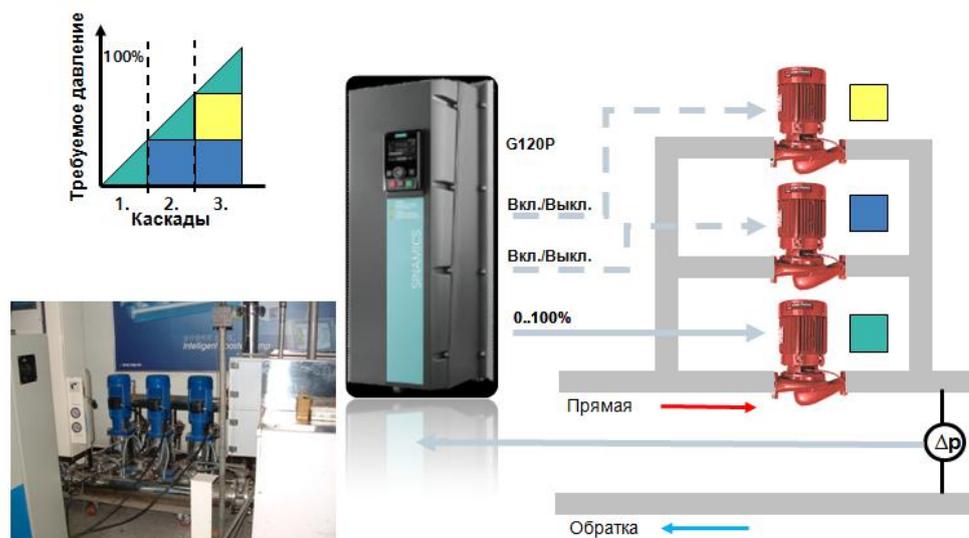


При автоматическом переключении на ночной режим клапан начинает прикрываться до положения примерно <10% открытия. При этом расход теплоносителя первичного контура сокращается более чем в 6 раз.

При утреннем автоматическом переходе на дневной режим температурная уставка теплоносителя повышается, и клапан открывается. При этом может происходить нежелательный эффект, когда из-за инерционности системы клапан проскакивает своё обычное положение дневного режима и открывается на 100%, оставаясь в таком положении некоторое время. Затем, как бы спохватившись, начинает возвращаться к своему нормальному положению примерно >60% открытия. Зелёное поле на графике соответствует потраченному зря количеству энергии. Во избежание этого нежелательного эффекта, специалисты компании Сименс разработали специальную защитную функцию DRT (differential of return temperatures) – дифференциал обратных температур. Эта функция контролирует разность обратных температур первичного и вторичного контуров и следит за тем, чтобы она не превышала величину 5°C, тем самым сдерживая полное

открытие клапана при смене температурной уставки. Эта функция оказалась полезной не только при переходе с ночного режима на дневной, но и во всех случаях возникновения пиковых нагрузок в течение суток по любым причинам, будь то технологические причины или причины, связанные с человеческим фактором. Она способствует максимальному ограничению возврата неиспользованного тепла и поддержанию самой допустимо низкой температуры обратки, то есть оберегает от штрафов за превышение температуры обратки. При этом экономится энергия, так как превышение температуры обратки на 3°C приводит к увеличению расхода теплоносителя на 13%. Эта функция также способствует снижению нагрузки насосов, повышению КПД системы, ослаблению гидравлических ударов и, как следствие, сокращению износа оборудования и уменьшению эксплуатационных расходов.

Многонасосная схема с бесступенчатым регулированием



При поочерёдном включении нескольких насосов каскадным способом, включение каждого последующего насоса может вызывать избыточный перепад давления в системе отопления. Использование частотных преобразователей позволяет поддерживать стабильную величину перепада давления путём плавного регулирования числа оборотов электроприводов насосов. При этом можно использовать один частотный преобразователь, регулируя число оборотов только одного насоса. Остальные могут включаться ступенчато, при условии, что первый выполняет функцию “основного” – ответственного за постоянное сглаживание скачков давления. Смена “основного” насоса происходит автоматически раз в определённый период, например: ежедневно.

Функция выполняет контроль перепада давления циркуляционных насосов контуров отопления и насосов систем централизованного теплоснабжения в трубопроводах с переменным объёмным расходом для снижения потребления электроэнергии.

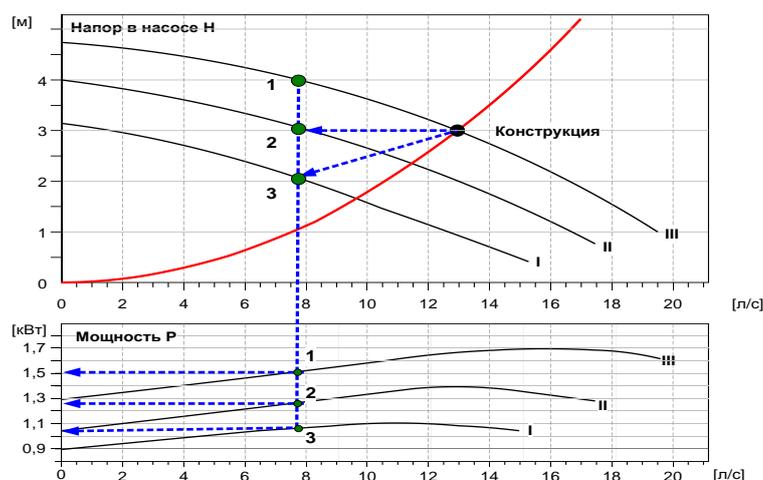
Этот метод используется в сетях подачи тепла с перепадами давления, возникающими из-за переменного потребления тепла. Перепады давления компенсируются изменением объёмного расхода в системе:

- контуров отопления, в которых потребители оснащены двухходовыми клапанами;
- основных насосов, распределяющих потоки под давлением;
- насосов в системе централизованного теплоснабжения с переменным расходом.

Перепад давления в трубопроводе увеличивается, если клапаны потребителей тепла закрываются из-за снижения потребности нагрева. Датчик давления регистрирует изменение, как переменную величину. Перепад давления поддерживается путем регулирования рабочего потока с помощью регулируемой скорости привода.

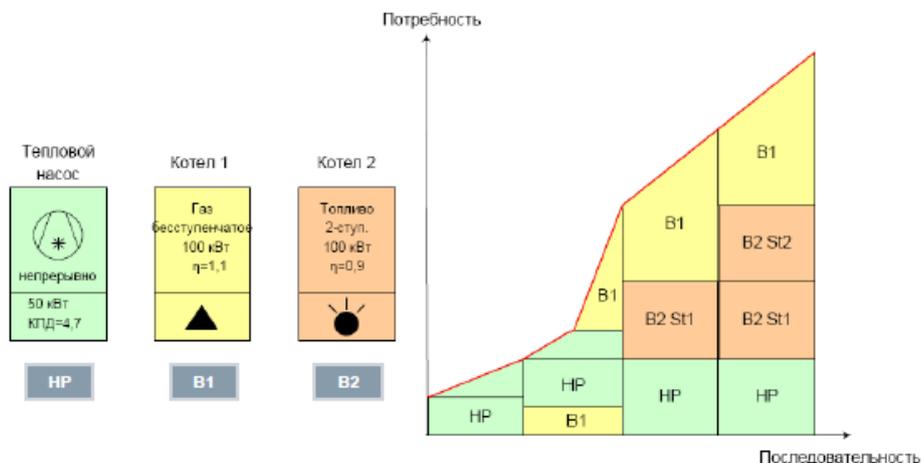
Сохранение перепада давления в насосе снижает потребление электроэнергии. Экономия энергии увеличится, если датчик давления установить в "отрицательной точке" установки. "Отрицательная точка" установки – это точка, в которой для подачи потребителям необходимого количества теплоносителя требуется минимальный перепад давления. Это снижает давление в насосе (давление на крыльчатке) и еще больше снижает потребление электроэнергии.

Ниже представлен график снижения потребления электроэнергии.



Эту функцию можно использовать только в гидравлических контурах, в которых количество воды при неполной нагрузке меньше, чем при номинальной нагрузке.

Последовательное включение в работу источников отопления



При наличии нескольких источников выработки тепловой энергии различных типов, приоритет на включение в работу отдаётся тем агрегатам, чья мощность и производительность оптимально соответствуют текущей потребности в энергии. Разумная последовательность включения источников

выработки тепловой энергии в работу способствует тому, что они используются с высокой степенью энергоэффективности. Главный принцип экономии энергии – не допустить избыточное производство тепла.

Основная температура подачи определяется на основе оценки потребности нагрева для всех потребителей (контуры отопления, нагрев ГВС, обогрев калориферов и т. д.). Отдельные источники тепла регулируются с учетом этой температуры. Различаются основные и дополнительные источники тепла. Основным источником тепла всегда запускается первым. Он контролирует поддержание температуры в пределах заданного значения уставки. Порядок включения источников тепла устанавливается индивидуально таким образом, чтобы максимально задействовать все используемые источники. Функция рассчитывает степень использования различных источников тепла (самый используемый источник считается основным), задает значение уставки для включенного источника, а также определяет переключение между ступенями по потребности. Дополнительные источники тепла включаются в последовательность с определенной степенью их использования, когда температура подачи опускается ниже нейтральной зоны значения уставки в течение определенного времени. Для балансировки выходной кривой можно использовать настраиваемую выдержку времени. Неисправные источники тепла остаются выключенными. При устранении неисправности они снова могут быть включены в последовательность работы.

Функция улучшает среднегодовую степень использования источников. С ее помощью можно уменьшить

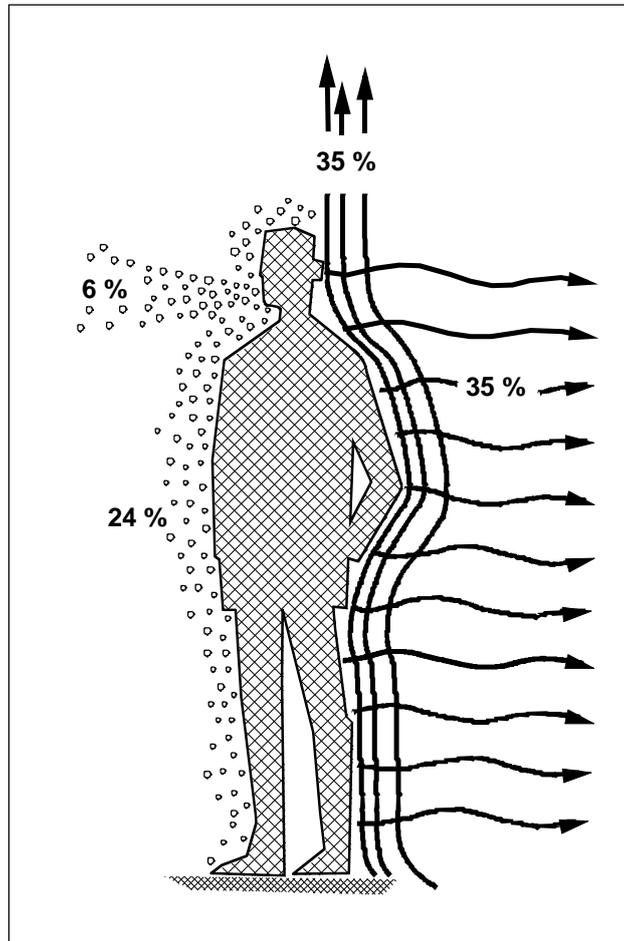
- потери от простоя и от работы в режиме ожидания котлов,
- потери тепла в системе трубопровода,
- рабочее время горелок, насосов и компрессоров.

Необходимые условия:

- отсутствие гидравлических проблем в работе источников тепла совместно со всей системой;
- управление всеми компонентами, повышающими энергоэффективность источника тепла (насос, регулирующий клапан);
- постоянная проверка потребности в цепи от потребителя к источнику тепла;
- при определении последовательности включения источников тепла необходимо учитывать степень их использования.

4.4 Теплообмен человека с окружающей средой

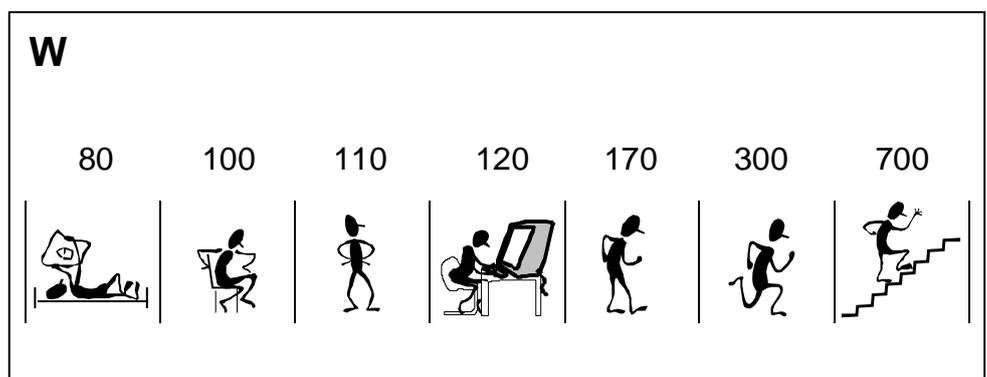
Человек испытывает комфорт, когда его организм теряет столько же тепла в единицу времени, сколько вырабатывает. Человек отдаёт тепло. Известно, что нормальная температура тела человека равна 36,6°C. Средняя температура поверхности кожи – около 33°C. А в помещениях температура воздуха всегда ниже температуры человека. Тепло передаётся от тела или среды с более высокой температурой к телу или среде с более низкой температурой и никогда наоборот.



Люди отдают тепло примерно в такой пропорции:

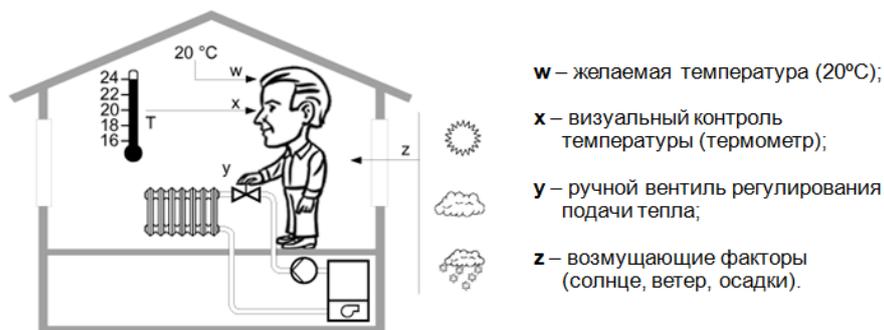
- 35% через теплопроводность и конвекцию;
- 35% через теплоизлучение;
- 24% через испарение;
- 6% через рот.

Эти пропорции меняются с изменением температуры. При её повышении доля тепловыделения через испарение увеличивается. На теплообмен человека также влияет и влажность воздуха. Причём влияние влажности зависит от температуры воздуха и от теплового излучения в помещении. Отдача тепла также усиливается с повышением физической активности.



Цель систем отопления, вентиляции и кондиционирования – поддерживать такие условия, при которых тело человека способно без усилий сохранять температурный баланс с окружающей средой в помещении.

Поддержание температурного комфорта в помещении

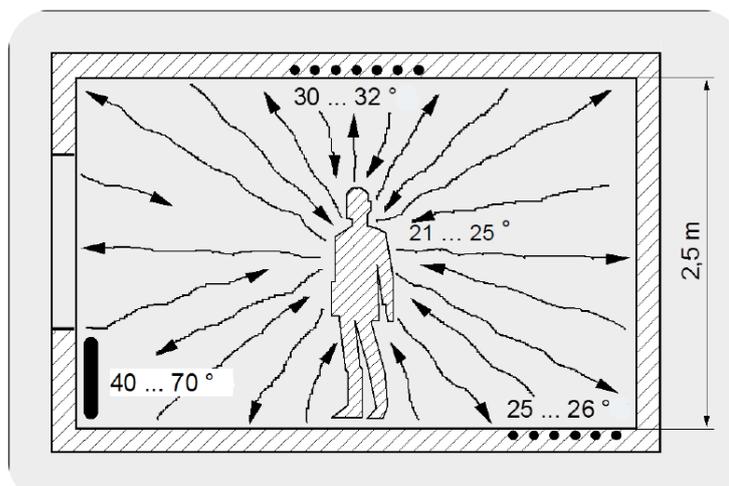


Температура воздуха в помещении изменяется под воздействием внешних возмущающих факторов. Человек, испытывая температурный дискомфорт, принимает меры. Например, смотрит на стеклянный термометр, видит, что температура отличается от желаемой, и регулирует ручным вентилем расход теплоносителя на радиаторной батарее. Избавление человека от необходимости постоянно заботиться о температурном комфорте повышает ощущение комфорта.



Для этого используется автоматический узел регулирования, где вместо стеклянного термометра установлен температурный датчик, а вместо ручного вентиля – регулирующий клапан с приводом. Наличие автоматики повышает ощущение комфорта.

Лучистый теплообмен с источником тепла: радиатором, тёплым потолком или тёплым полом



Для поддержания комфортной температуры воздуха в помещении в пределах 20°C - 25°C можно использовать различные виды отопительных приборов. Рассмотрим по отдельности три случая: радиаторные батареи, тёплые потолки и тёплые полы.

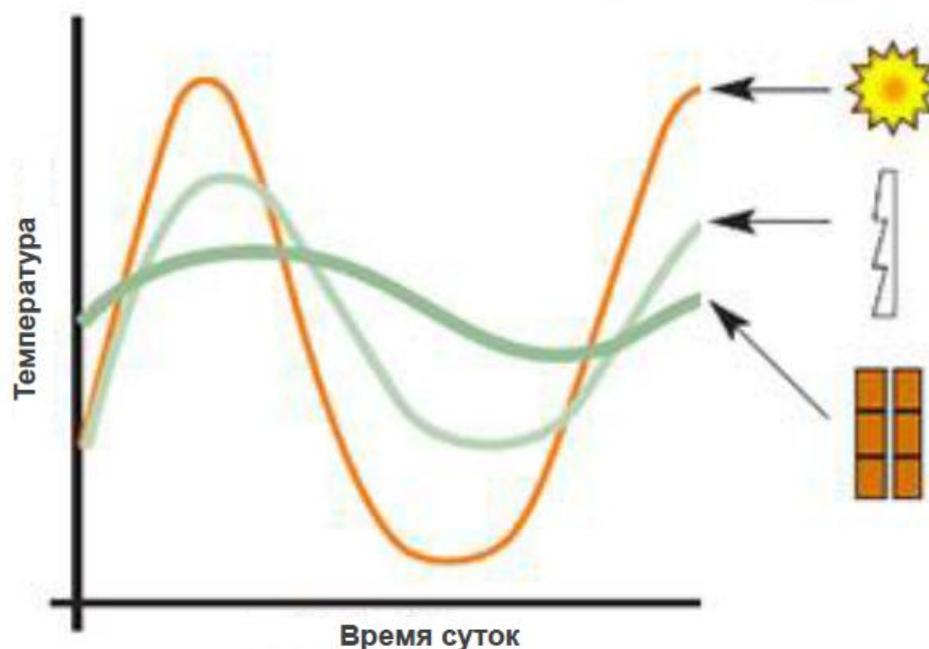
При использовании радиаторной батареи, её излучающая поверхность должна быть нагрета до температуры 40 - 70°C, что сильно отличается от требуемой температуры воздуха. А разница температур: воздуха и излучающей поверхности – показатель энергоэффективности. Следовательно, эффективность радиаторной батареи невысока.

При использовании тёплого потолка, его излучающая поверхность должна быть нагрета до температуры 30°C - 32°C, что несильно отличается от требуемой температуры воздуха. Следовательно, эффективность тёплого потолка высока.

При использовании тёплого пола, его излучающая поверхность должна быть нагрета до температуры 30°C - 32°C, что почти совсем не отличается от требуемой температуры воздуха. Следовательно, эффективность тёплого пола самая высокая.

Использование тёплого потолка и тёплого пола улучшает комфорт по сравнению с радиаторной батареей, поскольку тепловое излучение от перекрытий расширяет границы ощущения теплового комфорта. Тепловой комфорт также зависит от условий, в которых находятся отдельные участки тела, особенно голова и ноги. Температура воздуха в помещении меняется от пола к потолку. Плохо, когда голова ощущает избыток тепла, а ноги – недостаток. Голова человека чувствительнее к тепловому излучению, а ноги – к температуре пола. Для температурного комфорта ног важную роль играют свойства теплоусвоения покрытия пола. Они характеризуются количеством тепла, отбираемым от ступней человека. Деревянные полы считаются тёплыми, а бетонные – холодными.

4.5 Инерционность конструкции здания

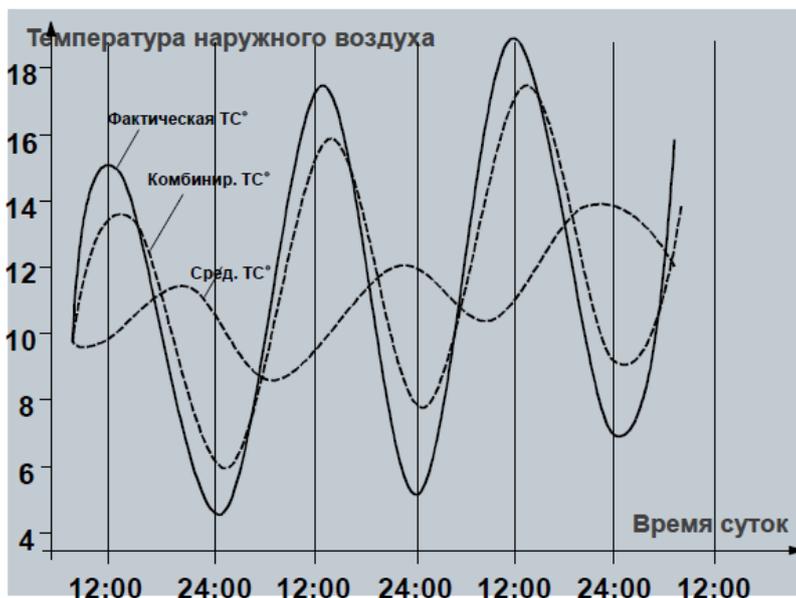


Ограждающие конструкции, включающие в себя фундамент, стены и крышу, создают оболочку здания. Она защищает от внешних погодных воздействий внутренний микроклимат, создаваемый системами жизнеобеспечения, и влияет на ощущения температурного комфорта. Внешняя среда воздействует на здание температурными колебаниями, солнечным излучением, ветром, осадками и т.д. Оболочка здания должна выстоять перед натиском всех этих неприятных для человека воздействий.

Для экономии энергоресурсов на обогрев или охлаждение здания изначальным требованием является значительное улучшение теплоизоляции защитных конструкций. Чем надёжнее теплоизоляция, тем лучше сохраняются тепло зимой или прохлада летом внутри оболочки здания. При этом не только экономится энергия, но и повышается температурный комфорт. Хорошая теплоизоляция и толстые стены приводят к накоплению тепла, полученного также от внутренних источников: ламп, офисной техники, людей и т.д.

Важное свойство оболочки здания – её теплоёмкость. При расчете материалов ограждающих конструкций необходимо учитывать теплоемкость их массы, а также тепловое сопротивление. Благодаря этим двум величинам, здание нагревается и охлаждается постепенно, а не скачкообразно. Теплоёмкость и тепловое сопротивление определяют тепловую постоянную времени – от 10 часов в панельных домах до 35 часов в кирпичных. Тепловая инерционность здания выравнивает температурные колебания за счёт отложенной потребности в обогреве или охлаждении. Возможность использования теплоёмкости массы конструкции для экономии на обогреве или охлаждении содержит в себе большой энергосберегающий потенциал. Летом, например, можно компенсировать высокие дневные температуры низкими ночными температурами. При достаточной теплоёмкости здание остаётся комфортно охлаждённым даже в самое жаркое время дня без необходимости включения охлаждающего оборудования. Здание также остаётся комфортно обогретым без отопления, если температура наружного воздуха ночью опустится ниже отметки, установленной для начала отопительного сезона. В остальное время года, особенно в переходные сезоны – весной и осенью, теплоёмкость сглаживает влияние кратковременных колебаний температуры наружного воздуха на температуру в помещении.

Учёт теплоёмкости
конструкции здания



Контроллер отопления определяет фактическую температуру наружного воздуха, подсчитывает среднюю и задаёт комбинированную, соответствующую инерционности конструкции данного здания.

Активное использование теплоёмкости

Для экономии на обогреве или охлаждении за счёт использования теплоёмкости конструкции здания применяются термически активированные системы – TABS (thermally activated building system). Система TABS предназначена для обогрева или охлаждения воздуха в помещениях за счёт лучевого теплообмена между железобетонными перекрытиями и воздухом в помещениях.

TABS

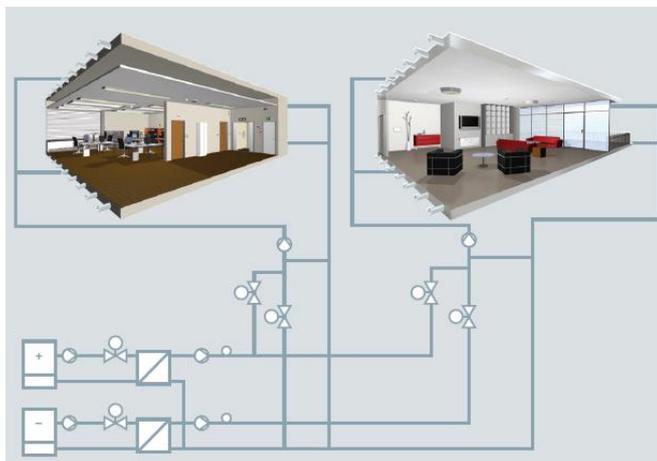


Реальный объект в гор. Цюрихе. Декабрь 2006 г.

Нагрев или охлаждение самого перекрытия регулируется путем циркуляции воды по замурованному в нём змеевику из полимерных труб.

Отличия TABS от обычной системы.

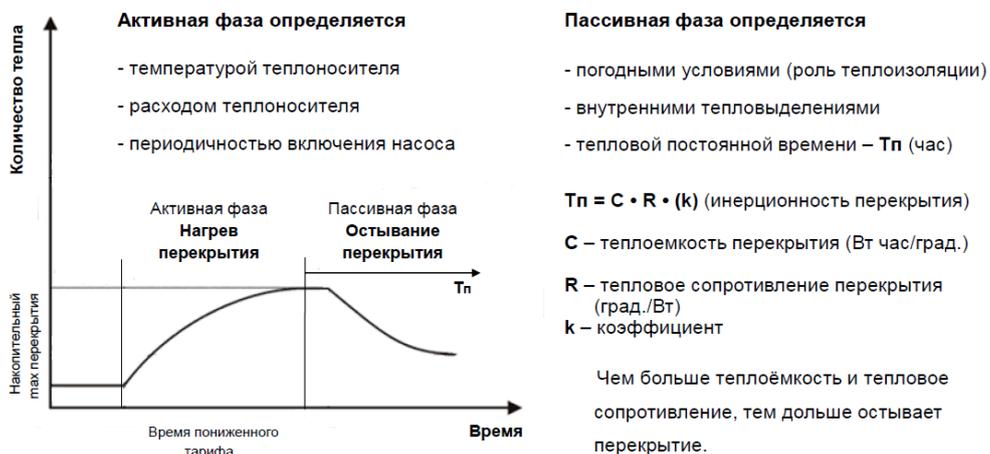
1. Отсутствие радиаторов (теплообменники в перекрытиях).
2. Обогрев и охлаждение в одной системе.
3. Работа системы не круглосуточная.
4. Работа насоса периодическая.
5. Регулирование по средней T° наружного воздуха за 24 часа.
6. Маленькая разница T° теплообмена.
7. Требуется меньше энергии (дешёвые альтернативные источники).
8. Температурный комфорт выше, так как тепловое излучение от стен и перекрытий расширяет границы ощущения комфорта.



Если накопительный максимум перекрытия не обеспечивает потребность помещения зимой в обогреве, а летом в охлаждении, то можно частично использовать обычные системы обогрева или охлаждения, а также нетрадиционные системы, использующие энергию окружающей среды: воздуха, воды, грунта и др. Правильное использование теплоемкости конструкции здания усредняет дневные и ночные перепады температуры и уменьшает затраты энергии.

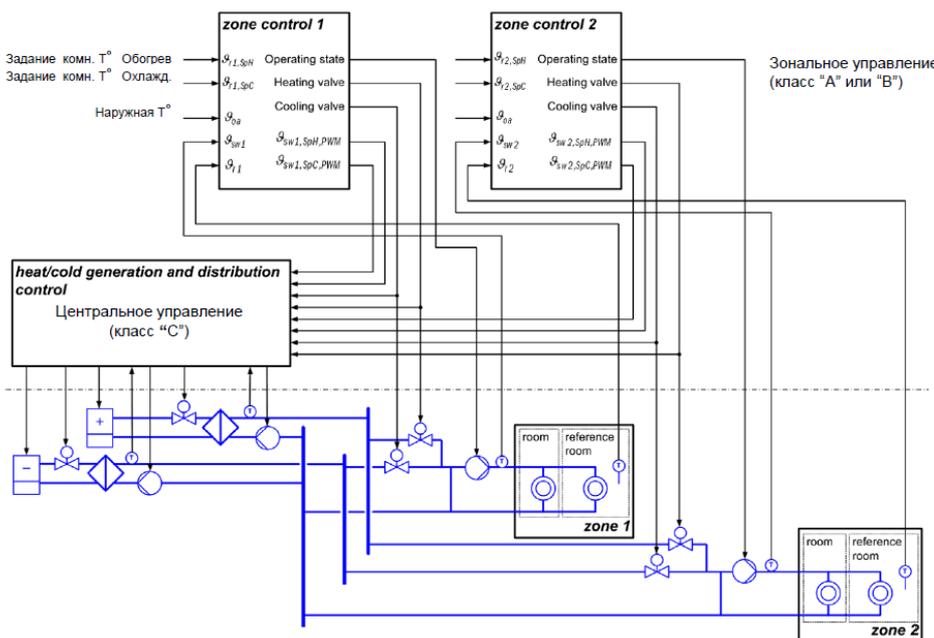
Нагрев и остывание перекрытия

Пример режима отопления



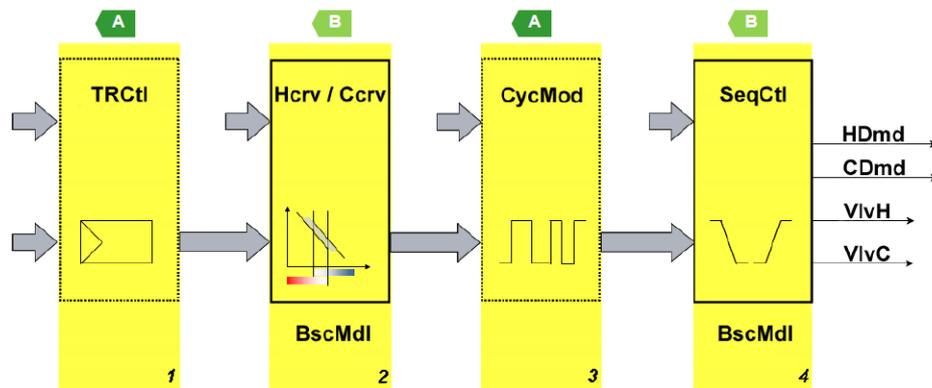
Концепция управления TABS.

2х-зонное управление - северная сторона - южная сторона



Стандартное приложение под индексом {HCGrp20} в библиотеке стандартных приложений осуществляет управление TABS, состоящее из четырёх модулей:

Модули TABS



1. Обратная связь по комнатной температуре
2. Регулирование температуры тепло/хладоносителя по наружной температуре
3. Цикличность работы циркуляционного насоса
4. Переключение режимов обогрева и охлаждения

Использование модулей 2 и 4 обеспечивает уровень автоматизации, соответствующий энергетическим характеристикам класса B. Использование модулей 1 и 3 обеспечивает уровень автоматизации, соответствующий энергетическим характеристикам класса A.

Модуль 1 осуществляет обратную связь по комнатной температуре. Используется только для отдельных контрольных комнат или для помещений с особыми требованиями к точному поддержанию температуры.

Модуль 2 определяет температуру подачи в системе отопления с учетом компенсации температуры наружного воздуха. Летняя/зимняя компенсация используется для настройки значений уставки температуры в помещении в зависимости от температуры наружного воздуха.

Кривая строится на основе среднего значения температуры наружного воздуха за последние 24 часа (непрерывна по времени). Кривая нагрева учитывает температуру наружного воздуха при определении необходимой температуры подачи для создания требуемых комфортных условий в помещении. Номинальная кривая нагрева соответствует номинальному значению уставки для помещения. Кривая нагрева смещается параллельно, если желаемое значение уставки температуры для помещения не равно номинальному значению уставки для помещения. Корректирование кривой нагрева во времени следует использовать, когда заранее известно о разных нагрузках систем отопления и охлаждения в помещениях одной зоны. Корректирование обычно используется для компенсации потери тепла из-за простоя помещения в выходные дни. Кривая нагрева смещается вверх за выходные дни. Ограничитель нагрева показывает, следует ли включать отопление, принимая во внимание среднюю температуру наружного воздуха. Большая тепловая инерция в TABS допускает только ежедневную коррекцию температуры в помещении и дополнительно использование регулирования температуры в помещении. Она корректирует положение кривой нагрева в соответствии с текущими измерениями условий. Если есть возможность провести измерения в одном или нескольких эталонных помещениях зоны, то можно поддерживать желаемую комфортную температуру и не допускать перегрев.

Модуль 3 осуществляет циклический режим работы и помогает сохранить до 60% энергии, периодически отключая зональный насос (доступно в качестве опции). Циклический режим работы можно также использовать для настройки времени «включения» оборудования энергоэффективного или недорогого производства тепла. Например, с помощью теплового насоса можно подавать

тепло, если затраты на электроэнергию будут небольшими (т.е. в периоды сниженных тарифов). Циклический режим работы можно адаптировать к определенным условиям – характеристикам структуры здания TABS или типу системы выработки тепла.

Модуль 4 управляет последовательностью работы клапанов и насосов для переключения режимов обогрева и охлаждения. Система была разработана для гидравлических контуров, она позволяет осуществлять зональное регулирование потока воды и температуры подачи с помощью независимых клапанов нагрева и охлаждения. Функция поддерживает все типы гидравлических контуров, обеспечивающих постоянный поток воды внутри структуры TABS при включении зонального насоса. Вместо независимых клапанов обогрева и охлаждения можно использовать выпускаемый компанией Сименс 6-ходовой шаровой клапан.

6-ходовой клапан

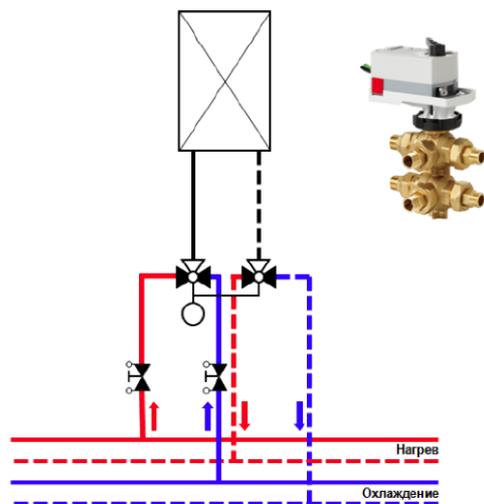


Схема с 6-ходовым клапаном

- Использование одного клапана с приводом вместо двух в 4-х трубной системе.
- Сокращение количества точек данных и снижение затрат на оборудование и монтаж.
- Крепление привода без инструментов.
- Встроенный компенсатор давления с целью повышения безопасности эксплуатации при закрытом положении клапана.
- Контур нагрева и охлаждения во время работы надежно разделены.
- Наличие изоляционного кожуха

Преимущества TABS перед традиционным тепло/холодоснабжением

1. Выше температурный комфорт, так как тепловое излучение от перекрытий расширяет границы ощущения комфорта.
2. Энергосбережение (до 23%), благодаря следующим обстоятельствам:
 - а) возможность понизить температуру обогрева и повысить температуру охлаждения;
 - б) большие площади поверхности теплового излучения способствуют хорошему теплообмену даже при малой разнице температур на поверхности перекрытия и воздуха в рабочей зоне.
3. Возможность меньше платить за энергоресурсы там, где тарифы меняются в течение суток, так как время выработки тепла/холода не совпадает со временем его потребления.
4. Сглаживание пиковых нагрузок, благодаря следующим обстоятельствам:
 - а) термомасса служит буфером, выравнивающим температурные колебания и уменьшающим пики за счёт отложенной потребности в обогреве или охлаждении;
 - б) снижаются требования к мощности и размерам оборудования, что к тому же уменьшает его стоимость.

4.6 Предиктивное управление отоплением

Обычно в системах отопления снижение энергопотребления достигается, в основном, за счёт регулирования температуры прямого теплоносителя по температурному графику, в зависимости от наружной температуры. Недостатком таких систем является управление без учета информации о динамических характеристиках системы отопления, что из-за инерционности здания приводит к длительным переходным процессам и неизбежному запаздыванию управления по отношению к изменению параметров погодных условий. В этих условиях важной задачей становится внедрение системы упреждающего управления процессом подачи тепла на отопление здания с целью повышения эффективности существующих способов управления. Для этого используются инновационные методы энергосбережения, достигаемые специальными программными функциями.

Стандартное приложение "Predictive Heating Control" (предиктивное управление отоплением) под индексом {HGr20} в библиотеке стандартных приложений компании Сименс является инновационной запатентованной программной функцией и осуществляет управление контуром отопления по прогнозу с учётом характеристики здания, погодных условий и температуры воздуха в помещении. Функция выполняет

- прогноз наружной температуры (интегрированный);
- моделируемое предвидение комнатной температуры;
- оптимизацию уставки температуры;
- оптимизацию включения - выключения;
- адаптацию параметров модели, включая самонастраивающийся график отопления.

Благодаря использованию функции предиктивного управления, система реагирует не только на возникшие отклонения от идеального режима, но и на те, которые имеют тенденцию к возникновению. Предиктивное управление является составной частью алгоритма регулирования температуры подачи. Оно включает в себя три отдельные самостоятельные функции: *"Регулирование температуры подачи, в зависимости от температуры наружного воздуха"*, *"Ограничитель нагрева"* и *"Оптимизация включения/выключения"* для следующих потребителей тепла:

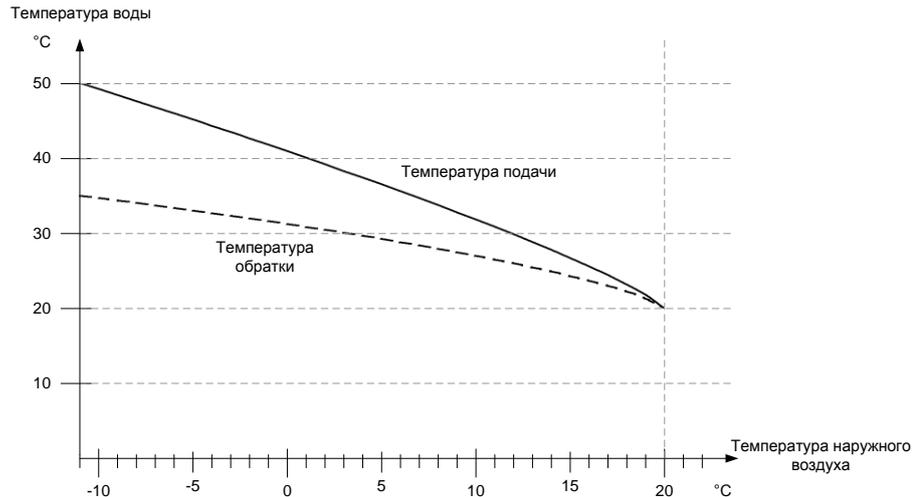
- радиаторы;
- конвекторы;
- теплые полы;
- тёплые потолки;
- фанкойлы.

Регулирование температуры подачи, в зависимости от температуры наружного воздуха.

Для системы регулирования температуры необходимый выход тепла определенной зоны здания (северная сторона, южная сторона) задаётся в зависимости от температуры наружного воздуха. Датчик, установленный на наружной стене здания, регистрирует значение температуры наружного воздуха. На основе этого значения рассчитывается необходимое количество подаваемого в помещения тепла. Связь этих параметров описывается так называемой кривой нагрева. Необходимо определить эту кривую нагрева для эффективного использования установок отопления. Потребление тепла в отапливаемом помещении возрастает при понижении температуры наружного воздуха. Для поддержания комфортного уровня температуры в помещениях необходимо подавать больше тепла. При неизменном размере радиатора

количество подаваемого тепла можно регулировать, изменяя температуру горячей воды в системе отопления (температура подачи).

Кривая нагрева



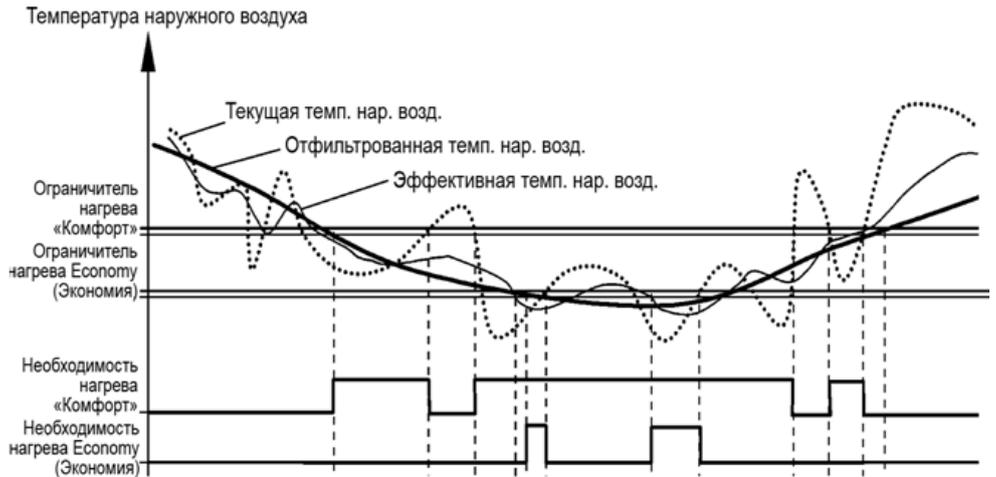
Температура наружного воздуха не всегда указывает на текущую потребность тепла для отопления помещений. Нет необходимости сразу же подавать тепло в помещение с учетом понижения температуры наружного воздуха, если здание имеет хорошую теплоизоляцию или достаточные запасы тепла. Для расчета температуры подачи тепла используется откорректированная температура наружного воздуха, учитывающая теплоизоляционные свойства наружных стен здания (уменьшение влияния изменения температуры наружного воздуха на температуру подачи в системе отопления). После улучшения теплоизоляции здания снижается требуемая температура подачи. Другими словами, кривую нагрева (снижение) необходимо корректировать на каждом этапе улучшения теплоизоляции. Также учитываются внутренние тепловыделения в здании, не учтенные наружным датчиком. Это можно исправить, установив датчик температуры в эталонном помещении, который будет оказывать влияние на температуру подачи.

Ограничитель нагрева

Для ограничителя нагрева устанавливается значение температуры наружного воздуха, выше которой функция нагрева должна отключаться. При этом учитываются величины текущей, эффективной и отфильтрованной температур окружающего воздуха. При определении эффективной температуры наружного воздуха учитываются изоляционные свойства наружных стен здания, а при расчете отфильтрованной температуры наружного воздуха учитывается способность здания сохранять тепло. Для определения параметров сохранения тепла используется постоянная времени здания, которая зависит от теплоёмкости конструкции здания и теплового сопротивления материала конструкции. Она определяет инерционность, которая выравняет температурные колебания за счёт отложенной потребности в обогреве или охлаждении. Возможность использования инерционности массы конструкции для экономии на обогреве или охлаждении содержит в себе большой энергосберегающий потенциал. Алгоритмы включения и отключения отопления настраиваются отдельно для дневного и ночного режимов работы. Во избежание произвольного переключения, предел переключения имеет зону нечувствительности (например, 1°C). Значения текущей и эффективной температуры наружного воздуха должны преодолеть этот порог для дневного или ночного режимов работы, чтобы запустить систему отопления. Однако подача и распределение тепла прекращается (т.е. выключается насос), если одно из этих значений

температуры превышает установленный предел для дневного или ночного режима работы.

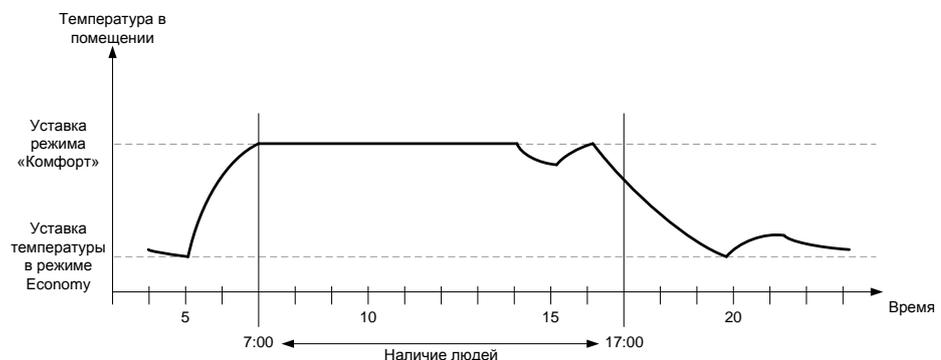
Ограничение нагрева



Оптимизация включения/выключения

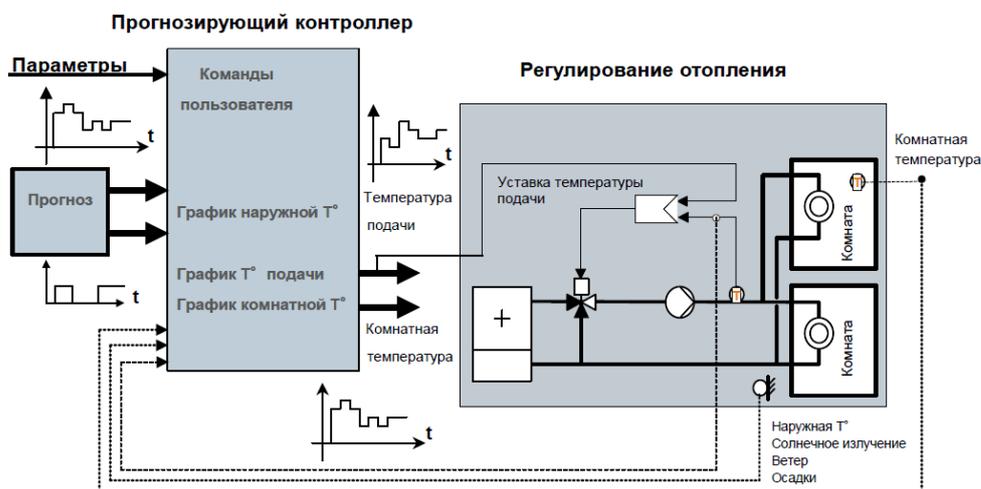
Функция оптимизации задает текущий режим работы, связанный с наличием людей (включение и выключение). Для расчета можно задать определенный алгоритм, и она будет рассчитывать оптимальное время включения и выключения с учетом температуры наружного воздуха и температуры в помещении. Время включения системы отопления для определенной зоны здания (северная, южная) рассчитывается, исходя из условий достижения заданного значения температуры внутри этой зоны при минимальном количестве людей. Время отключения системы отопления для определенной зоны здания рассчитывается таким образом, чтобы падение внутренней температуры оставалось в заданных пределах перед тем, как все присутствующие люди начнут покидать помещение. Режим поддержания температуры включается, когда величина падения внутренней температуры опускается ниже допустимого значения. Для включения нагрева значение уставки температуры определенной зоны возрастает в начале следующего периода использования зоны с учетом времени, когда эта зона не использовалась. Временная активизация значения уставки, например, после выходных или праздников, компенсирует потери тепла через холодные наружные стены здания.

Оптимизация включения/ выключения



Функция предиктивного управления отоплением использует динамическую модель здания в системе подачи и распределения тепла, которую всегда можно скорректировать в соответствии с текущими измеренными значениями температуры в помещении, температуры подачи и температуры наружного воздуха. Функция способна регулировать подачу тепла также в зависимости от других погодных факторов: солнечное излучение, ветер, осадки.

Динамическая модель здания



Прогнозируется температура наружного воздуха, и рассчитывается кривая значений уставки температуры в помещении. Периодически (каждые 15 минут) проводится оптимизация расчетов на основе модели и прогноза. Цель расчетов – достижение необходимого уровня комфорта в помещении в течение следующих 64 часов при минимальном расходе тепла. Результатом расчетов является оптимизированная кривая для определения температуры подачи и связанная с ней кривая для определения температуры в помещении. Кривая показывает значения температуры, как минимум, на ближайшие 64 часа с учетом пониженного энергопотребления во время выходных и праздничных дней. Рассчитанное, таким образом, значение уставки температуры подачи используется до начала следующего цикла (примерно в течение 15 минут). Функция определяет также время включения подачи и распределения тепла. Оно начинается, когда предполагаемое значение температуры в помещении значительно отличается от соответствующего предполагаемого значения уставки для температуры в помещении. Предиктивное управление отоплением фактически осуществляет управление насосом отопления и регулирующим клапаном. Дополнительно можно также использовать детекторы присутствия людей и оконные контакты в помещении.

Управление насосом и клапаном



Эта функция помогает снизить потери тепла на стадии его выработки, подачи и распределения, а также потребления. С ее помощью можно уменьшить эксплуатационные расходы.

Рекомендации для предиктивного управления отоплением.

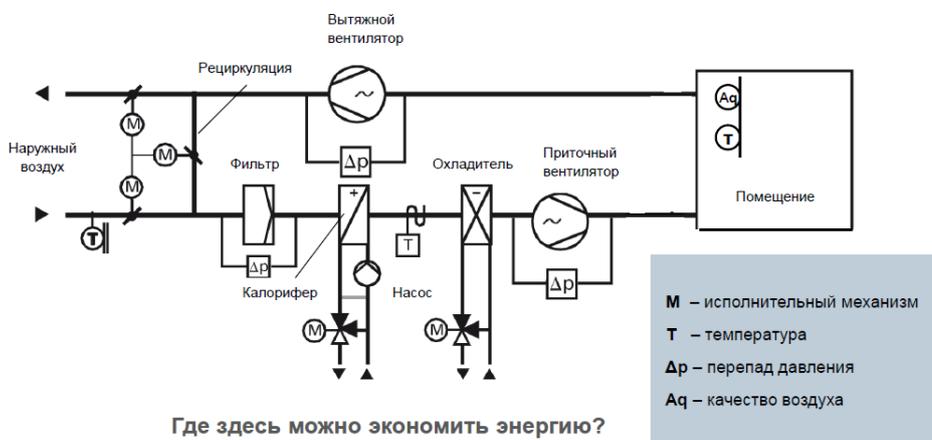
- Желательно проводить измерение температуры в контрольном помещении. Использование системы с прогнозированием, но без регистрации температуры в помещении, приводит к увеличению стоимости настройки и энергозатрат. Температуру необходимо измерять в эталонной комнате и в помещении с наивысшей потребностью нагрева.
- Правильная адаптация значений в динамической модели здания возможна при контроле процессов с отклонениями температуры в помещении от заданных режимов и отслеживании фаз с различными значениями температурных уставок.
- Параметры модели здания необходимо правильно сконфигурировать. Это особенно важно, если функция используется без датчика температуры в помещении.
- Термостатические радиаторные вентили не допустимы в эталонной комнате.

Опыт использования функции предиктивного управления отоплением в странах Евросоюза показывает возможность экономии тепловой энергии до 13%, причём, не только без ухудшения температурного комфорта в помещениях, но и с улучшением комфорта. Помимо тепловой энергии снижается потребление электроэнергии за счёт значительного сокращения времени работы насосов отопления.

5 Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования

Функциональная схема приточно-вытяжной вентиляции

Типовая схема



Основные агрегаты системы приточно-вытяжной вентиляции – это приточный и вытяжной вентиляторы. Они служат для компенсации потерь давления воздуха на всём пути воздухоподготовки.

Приточный вентилятор забирает наружный воздух и через наружную заслонку на приточном воздуховоде подаёт его в обслуживаемое помещение. При этом воздух проходит через воздушный фильтр, где очищается от пыли и грязи. Затем воздух либо обогревается в калорифере, либо охлаждается в охладителе, в зависимости от того, в какую сторону отличается температура наружного воздуха от требуемой температуры помещения.

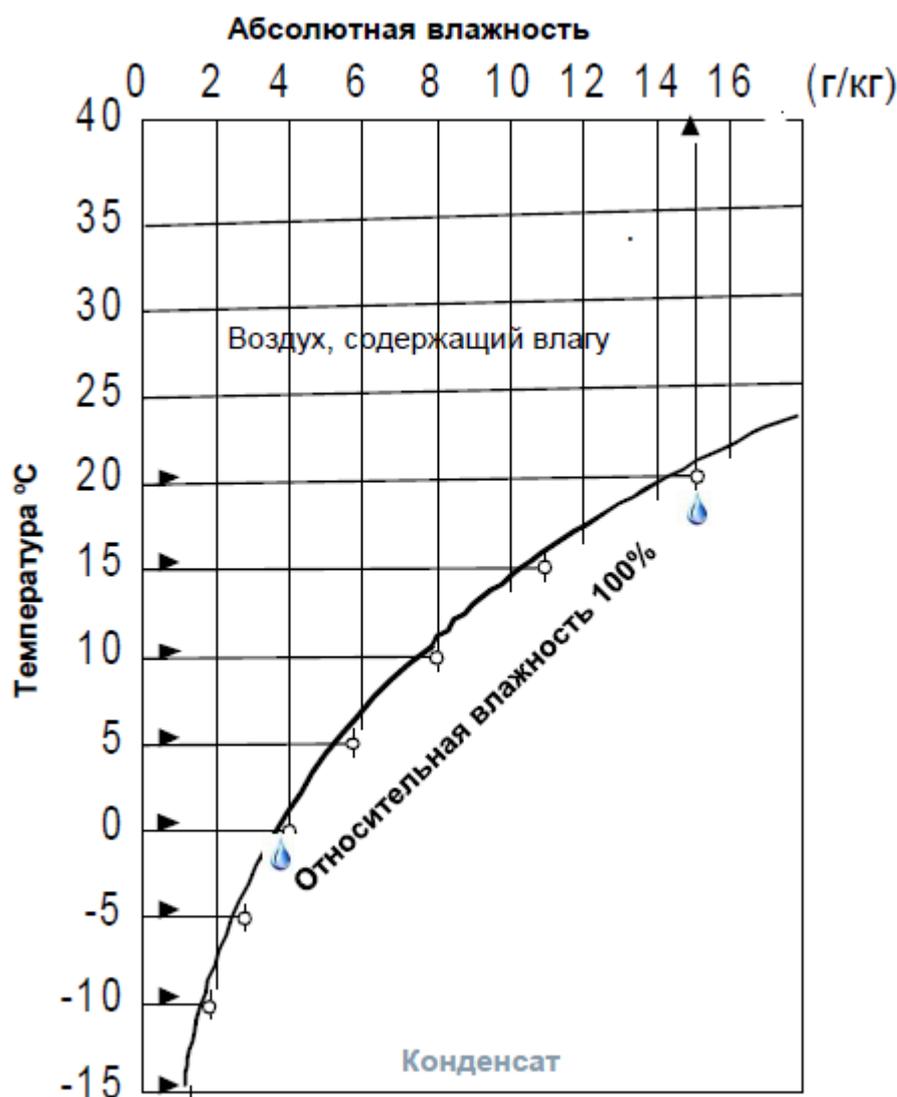
Вытяжной вентилятор забирает отработанный воздух из помещения и удаляет его наружу через наружную заслонку на вытяжном воздуховоде. Вытяжной воздух содержит в себе термальную энергию (тепло или прохладу),

которую можно вторично использовать для экономии энергии на обогрев или охлаждение в процессе воздухоподготовки. Для этого используется система рециркуляции, где часть вытяжного воздуха возвращается назад. При этом возникает угроза попадания воздуха с избытком CO_2 и летучих органических соединений назад в проветриваемое помещение. Поэтому в помещении наряду с датчиком температуры необходим датчик качества воздуха, по показаниям которого контроллер управляет воздушной заслонкой в рециркуляционном воздуховоде.

Энергию здесь можно экономить за счёт оптимальных режимов включения - выключения системы и частотного управления вентиляторами; оптимальных режимов обогрева и охлаждения; своевременной замены воздушных фильтров и других мер, которые будут рассмотрены далее.

5.1 Регулирование влажности воздуха

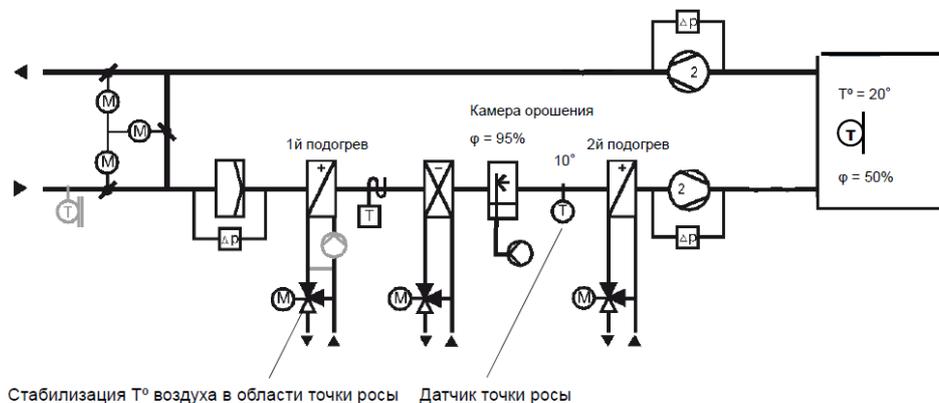
Упрощённая диаграмма тепло-влажностного режима



Воздух всегда содержит в себе водяной пар. Абсолютно сухой воздух в природе не существует. Количество водяного пара играет важную роль в самочувствии людей, поэтому увлажнение и осушка воздуха – важные составляющие процесса воздухоподготовки в системе кондиционирования. При насыщении, то есть при относительной влажности 100%, фактическая температура воздуха совпадает с точкой росы. Точка росы – это температура, при которой воздух охлаждён настолько, что содержащийся в нём пар

превращается в капельки воды – в росу. Количество влаги, которое может удерживать в себе воздух, зависит от температуры. На диаграмме видно, что влага в количестве 15 граммов на килограмм воздуха выделяется в виде росы при понижении температуры до 20°C, а влага в количестве 4 грамма на килограмм воздуха выделяется в виде росы при понижении температуры до 0°C.

Функциональная схема кондиционирования с косвенным регулированием влажности.



1	Желаемая T° в помещении: 20°
2	Желаемая φ в помещении: 50%
3	Результирующая точка росы: 10°

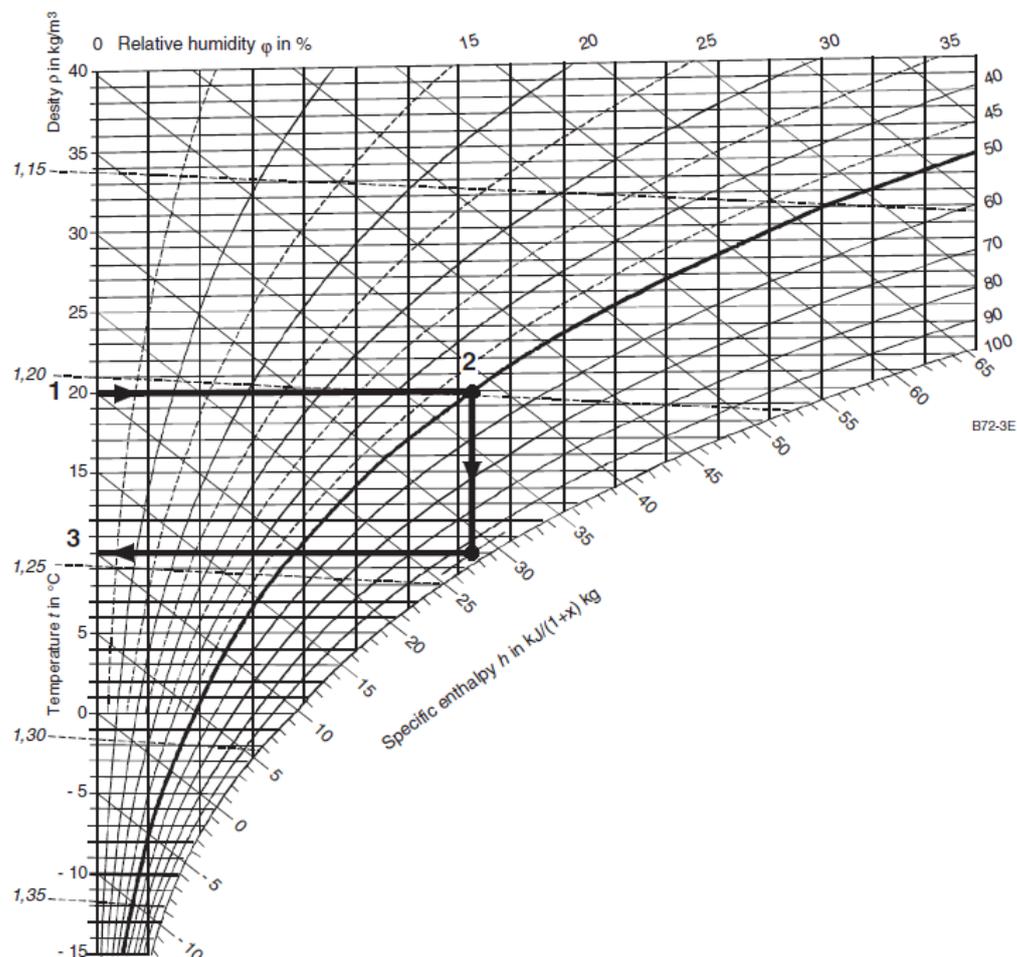
В данной функциональной схеме имеется дополнительный узел, по сравнению с предыдущей схемой приточно-вытяжной вентиляции. Это – узел увлажнения в виде камеры орошения. В камере орошения холодная вода распыляется с помощью форсунок и насыщает воздух влагой с целью доведения относительной влажности до 100%. Однако, на практике в существующих камерах орошения удаётся достичь относительной влажности только 95%.

Калорифер первого подогрева нагревает воздух таким образом, чтобы стабилизировать температуру воздуха за камерой орошения в области точки росы. Регулирование осуществляется регулирующим клапаном в обратке теплоносителя калорифера первого подогрева по показаниям температурного датчика, установленного после камеры орошения. Этот датчик называется датчиком точки росы.

Далее имеется второй подогрев, для доведения воздуха до заданных параметров по температуре и влажности и подачи его в обслуживаемое помещение. Если желаемая температура в помещении равна 20°C, то второй подогрев поддерживает именно эту температуру прямым регулированием с помощью клапана в обратке теплоносителя калорифера второго подогрева по показаниям температурного датчика, установленного в помещении.

Если желаемая относительная влажность в помещении равна 50%, то её поддержание осуществляется косвенным образом поддержанием точки росы после камеры орошения. Для определения необходимой для этого результирующей точки росы, то есть температурной уставки для датчика точки росы, используется диаграмма тепло-влажностного режима.

**Диаграмма тепло-
влажностного режима**



Точка 1 – температура воздуха в помещении.

Точка 2 – относительная влажность воздуха в помещении.

Точка 3 – температура воздуха после камеры орошения (точка росы).

Диаграмма используется для визуализации результатов расчёта процессов обработки влажного воздуха и представляет собой графическую зависимость между основными параметрами воздуха. На диаграмме показаны

- температура воздуха (по вертикали);
- абсолютная влажность воздуха (по горизонтали);
- значения относительной влажности (изогнутые линии).

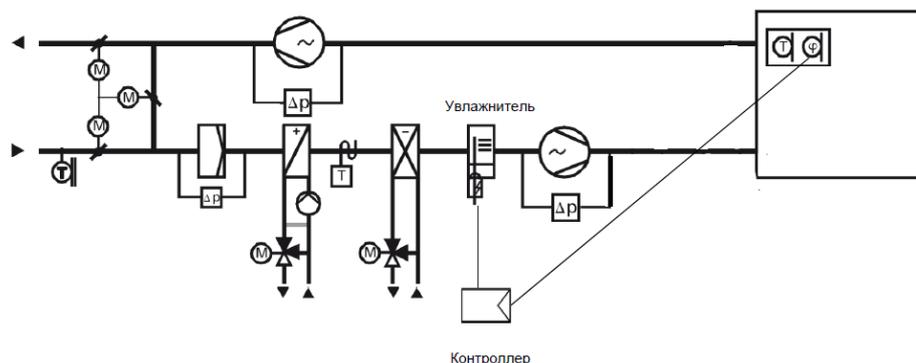
Самая нижняя изогнутая линия соответствует относительной влажности воздуха, равной 100%. Для определения точки росы используются значения температуры воздуха и относительной влажности.

Так как желаемая температура воздуха в помещении равна 20°C, то она соответствует на диаграмме точке 1.

Так как желаемая относительная влажность воздуха в помещении равна 50% (при температуре 20°C), то она соответствует на диаграмме точке 2.

Если опустить прямую линию от точки 2 вертикально вниз до пересечения с изогнутой линией, соответствующей относительной влажности 95%, то есть относительной влажности после камеры орошения, то эта точка окажется на уровне температуры воздуха, которую необходимо поддерживать после камеры орошения (точка 3). Она соответствует 10°C. То есть результирующая точка росы равна 10°C.

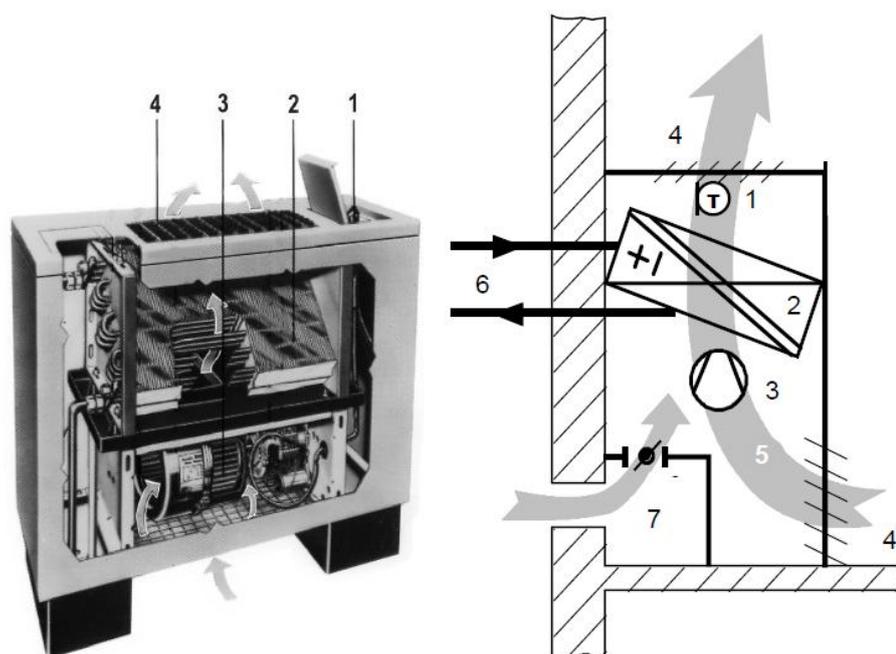
Функциональная схема кондиционирования с прямым регулированием влажности.



Для прямого регулирования влажности контроллер управляет увлажнителем, в соответствии с показаниями датчика относительной влажности φ.

5.2 Регулирование температуры воздуха

Для поддержания заданной температуры воздуха в помещении часто используются вентиляторные доводчики – фанкойлы.



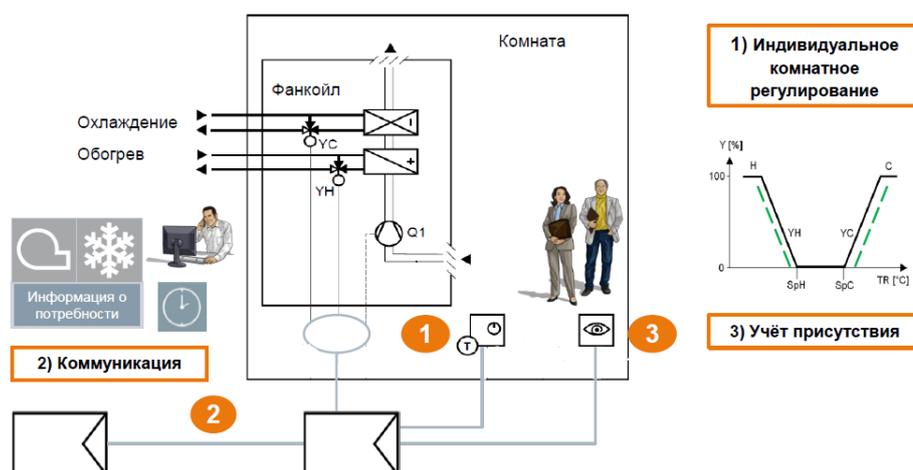
1. Датчик температуры
2. Теплообменник
3. Вентилятор
4. Воздушная решётка
5. Поток воздуха через фанкойл
6. Тепло/хладоноситель
7. Подмешивание приточного воздуха

Преимущества обогрева фанкойлами перед традиционной системой отопления:

- более быстрый прогрев помещения;
- большой тепловой комфорт от равномерного распределения температуры;
- более высокая гибкость регулирования температуры;
- отопление в нерабочие часы может осуществляться в режиме естественной конвекции;
- осуществление принципа индивидуального комнатного регулирования.

Аналогичные преимущества (кроме естественной конвекции) соответственно можно перенести и на работу в режиме охлаждения.

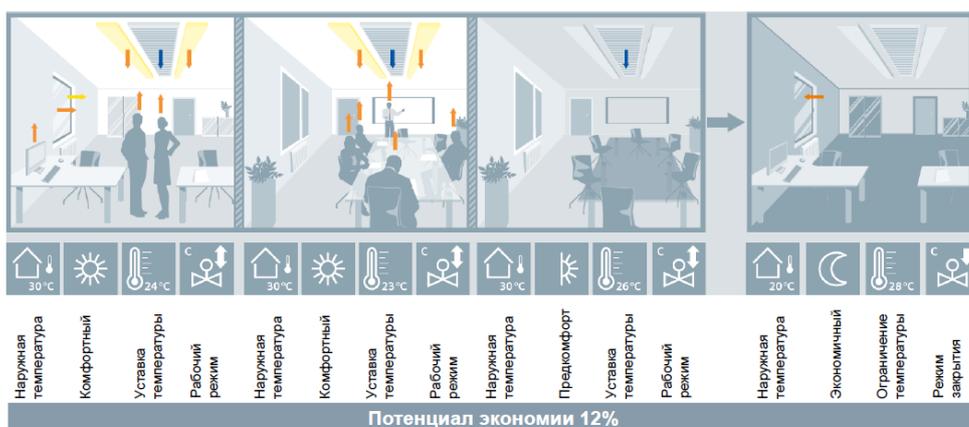
Уровни автоматизации фанкойлов по стандарту EN 15232



- 1) Для автоматизации по классу энергоэффективности С необходимо индивидуальное комнатное регулирование температуры воздуха, для чего, собственно, фанкойл и предназначен. Контроллер снимает показания комнатного датчика температуры и управляет соответственно клапаном на хладоносителе YC или на теплоносителе YH. На диаграмме справа показана степень открытия клапана (по вертикали), и температура воздуха в помещении (по горизонтали). Температурные уставки обогрева (SpH) и охлаждения (SpC) находятся в пределах комфортной зоны (20°C - 25°C). Они разведены, и между ними имеется нейтральная зона для исключения одновременного поддержания режимов обогрева и охлаждения.
- 2) Для автоматизации по классу энергоэффективности В необходимо индивидуальное комнатное регулирование температуры воздуха с коммуникацией между контроллерами. Контроллеры, управляющие помещениями, сообщают контроллерам в тепловом пункте или в холодильном центре о совокупной потребности в выработке тепла или холода, и получают от центральной станции – информацию о графике работы (рабочее/нерабочее время, выходные/праздники).

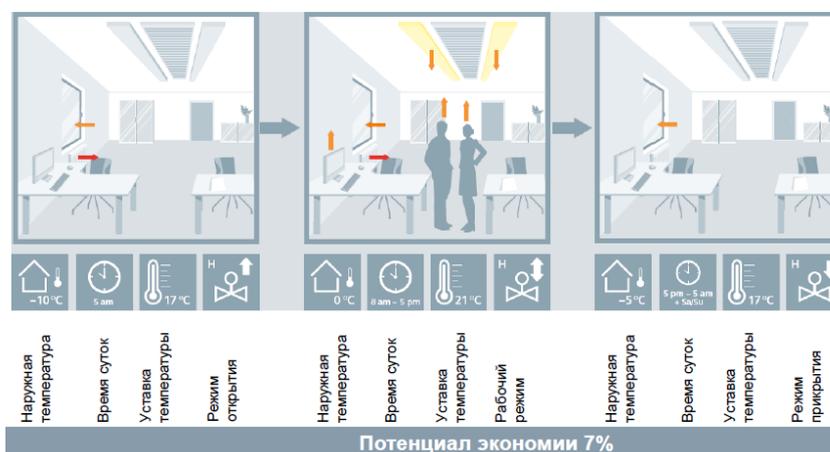
- 3) Для автоматизации по классу энергоэффективности А необходимо индивидуальное комнатное регулирование температуры воздуха с коммуникацией между контроллерами и учётом присутствия человека. Если люди находятся в помещении, о чём контроллер получает информацию от детектора присутствия, температура воздуха поддерживается в пределах комфортной зоны, в соответствии с уставками. Если люди выходят из помещения в рабочее время, то уставки автоматически сдвигаются за пределы комфортной зоны на небольшую величину (1°C), чтобы по возвращении людей вернуться в пределы температурного комфорта, не допуская дискомфорта. Если же люди выходят из помещения по окончании рабочего времени, то фанкойл отключается.

В каждом отдельном помещении поддерживается индивидуальный температурный режим. Энергия подаётся по фактической потребности. Детектор присутствия определяет целесообразность поддержания режима "комфортный". В отсутствие людей временная программа устанавливает режимы: "предкомфортный" в рабочее время или "экономичный" в нерабочее время (ночное или праздничное).



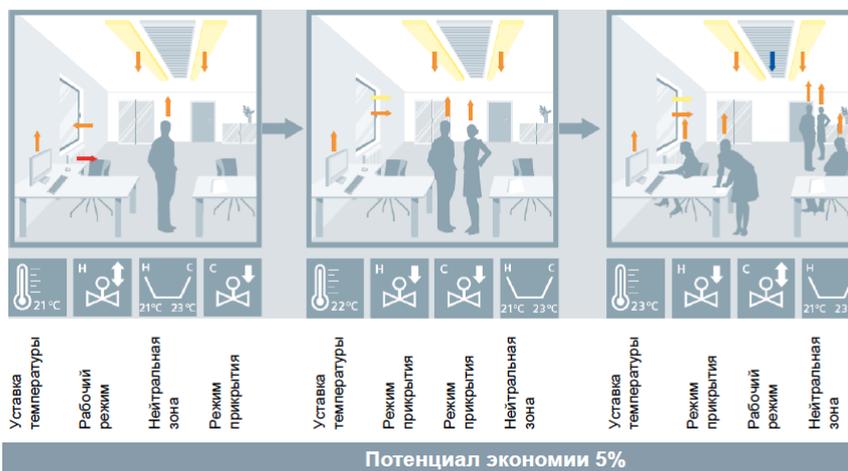
Оптимизация времени ПУСК/СТОП.

Контроллер определяет время включения системы воздушного обогрева утром так, чтобы температура в помещении достигла значения нижнего предела комфортной зоны к моменту начала рабочего дня и определяет время выключения системы воздушного обогрева вечером так, чтобы температура в помещении вышла за пределы комфортной зоны в момент окончания рабочего дня.



Взаимоблокировка режимов обогрева и охлаждения воздуха

Температурные уставки комнатного контроллера для обоих режимов: обогрева и охлаждения разведены (на рисунке на два градуса C°) в пределах комфортной зоны, чтобы предотвратить одновременное открытие клапанов теплоносителя и хладоносителя. При колебании фактической температуры внутри нейтральной зоны между уставками обогрева и охлаждения комната не обогревается и не охлаждается. Чем больше разница температурных уставок обогрева и охлаждения, тем энергоэффективнее функция взаимоблокировки этих режимов, но менее точное поддержание температуры.

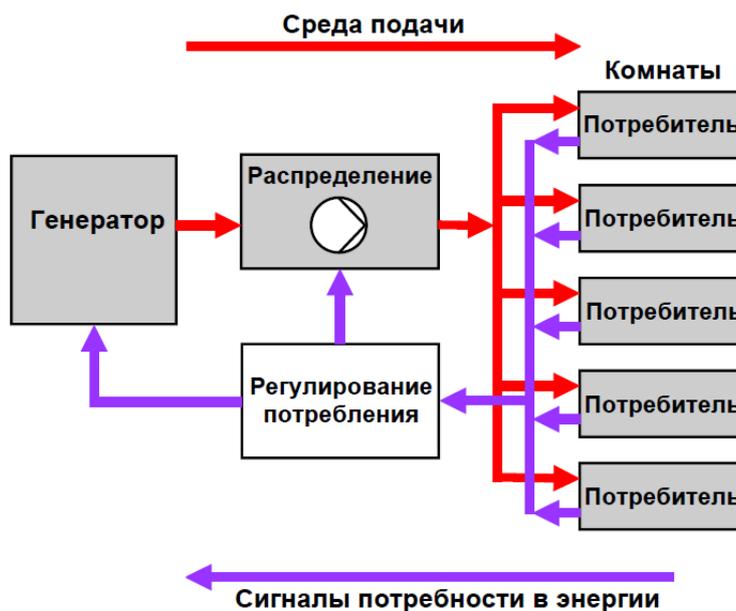


Оконный контакт

Открытие окна человеком может быть сделано намеренно или по недоразумению. В любом случае происходит автоматическая реакция системы. Контроллер, получив сигнал об открытии окна от оконного контакта, даёт команду на переход из комфортного режима в защитный. При этом происходит автоматическое прикрытие регулирующего клапана и снижение температурной уставки до уровня ниже комфортного, но выше опасного, чтобы не допустить переохлаждение помещения. Это предотвращает энергопотери и привлекает внимание пользователей к разумному энергопотреблению.



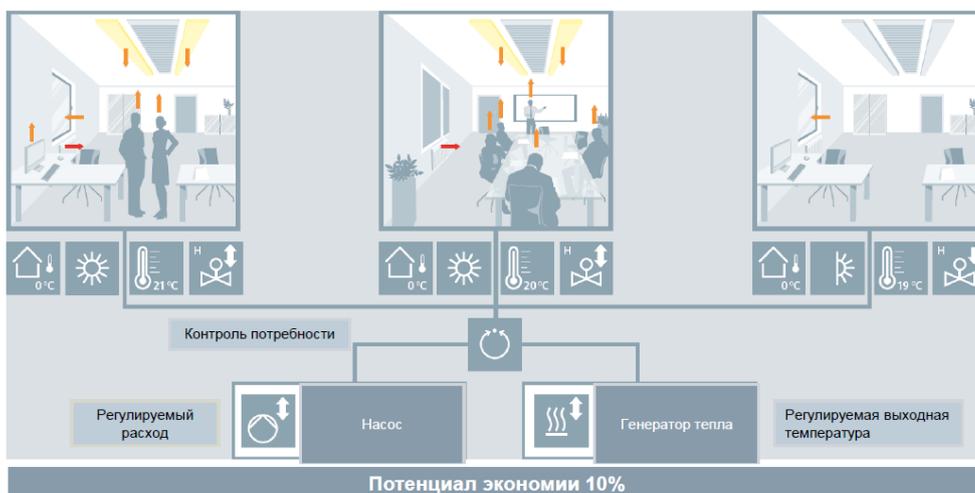
Спрос и предложение энергии на обогрев или охлаждение



Комнаты (потребители) являются объектами спроса в обогреве или охлаждении. Генератор (источник выработки тепла или холода) и насос (средство подачи и распределения тепла или холода) должны обеспечивать комфортные условия в помещениях по параметрам температуры, в соответствии с реальной потребностью. Сигналы о совокупной потребности от всех потребителей передаются к генератору для соответствующего регулирования температуры подачи (качественное регулирование) или к узлу подачи и распределения для регулирования количества подачи (количественное регулирование), что, в свою очередь, минимизирует потери при производстве и распределении энергии.

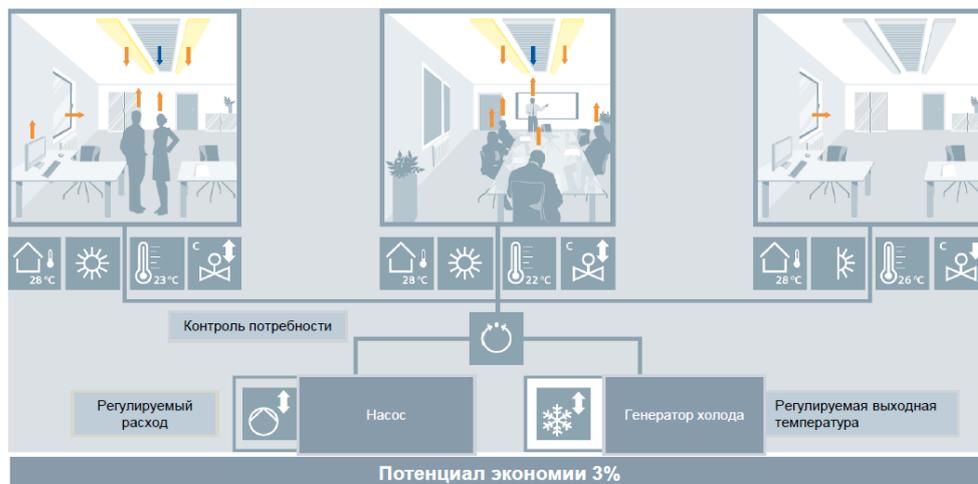
Спрос и предложение на обогрев

Сигналы о потребности в энергии на обогрев суммируются и оцениваются контроллером. Информация о потребности передается контроллеру генератора тепла, где выходная температура регулируется в соответствии с реальной потребностью, или контроллеру узла распределения, где расход адаптируется к реальной потребности.

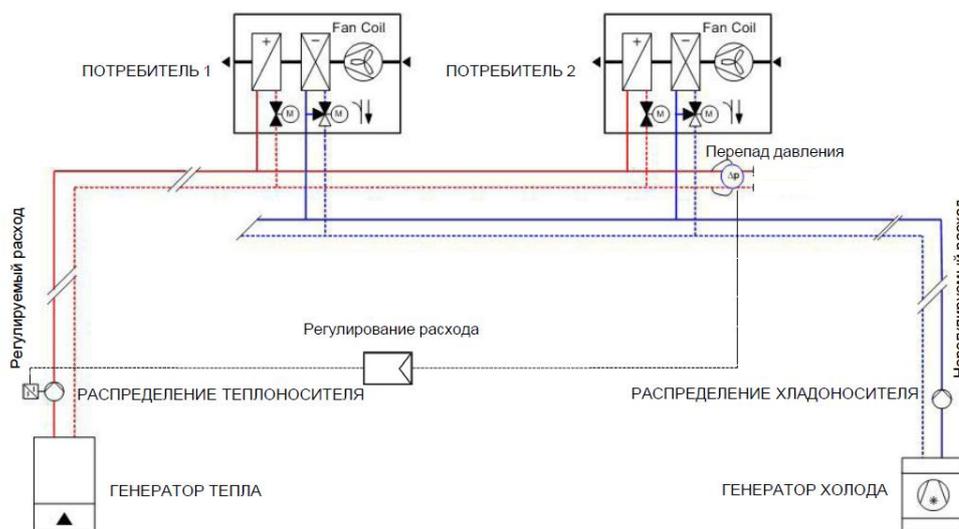


Спрос и предложение на охлаждение

Сигналы о потребности в энергии на охлаждение суммируются и оцениваются контроллером. Информация о потребности передаётся контроллеру генератора холода, где выходная температура регулируется в соответствии с реальной потребностью, или контроллеру узла распределения, где расход адаптируется к реальной потребности.



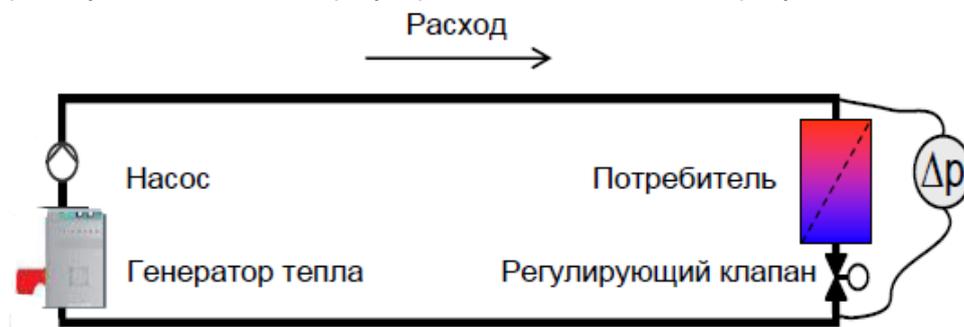
Регулирование расхода теплоносителя по перепаду давления



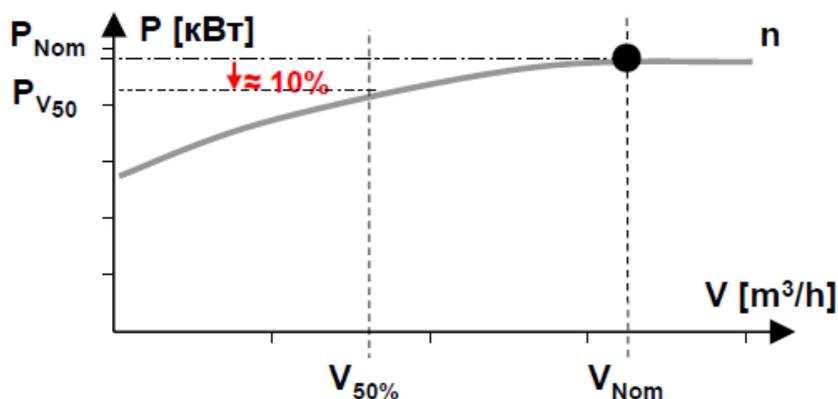
В режиме обогрева контроллер фанкойла реагирует на повышение температуры воздуха в помещении прикрытием регулирующего двухходового клапана теплоносителя. Расход через клапан снижается, а перепад давления на клапане увеличивается. Совокупное снижение расхода теплоносителя на теплообменниках фанкойлов влечёт за собой нежелательное увеличение напора насоса. Контроллер регулирования расхода поддерживает постоянный перепад давления на насосе изменением частоты вращения. Перепад давления измеряется в конечной точке трубопровода.

Устойчивое давление в системах отопления, вентиляции и кондиционирования – важнейший показатель её надёжности. При повышенном давлении возникает угроза выхода системы из строя, а недостаточное давление не позволит поддерживать температуру на требуемом уровне.

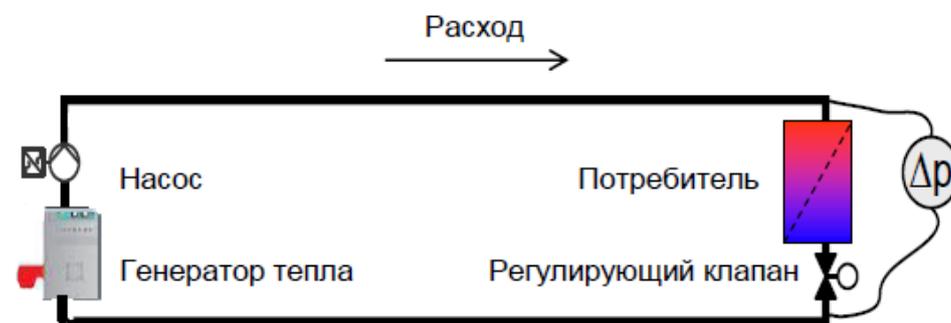
При отсутствии частотного регулирования, как показано на рисунке,



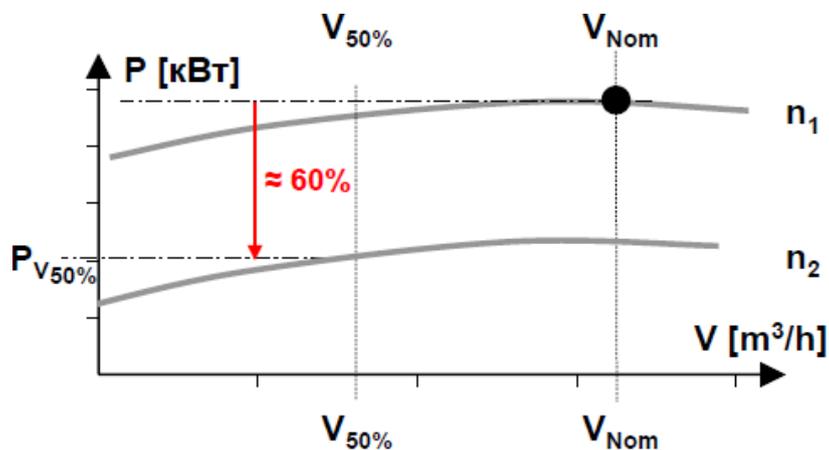
снижение расхода теплоносителя V , к примеру, на 50% приводит к снижению энергопотребления насоса P всего на 10%.



А при наличии частотного регулирования, как показано на рисунке,



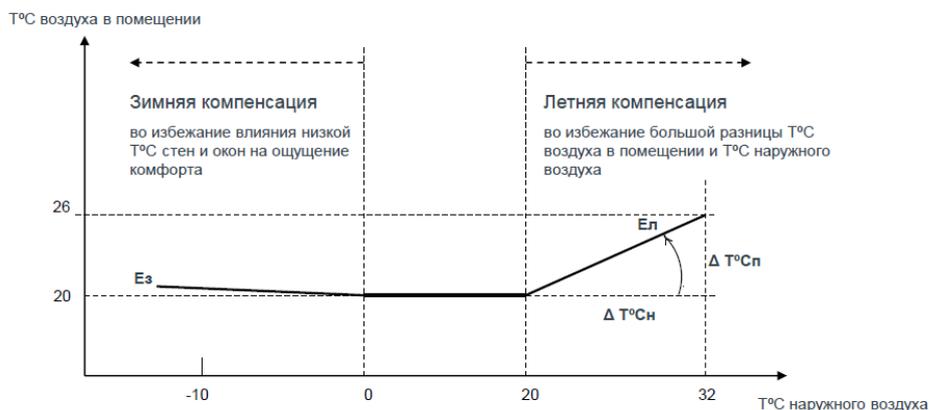
снижение расхода теплоносителя V на те же 50% приводит к снижению энергопотребления насоса P уже на 60% за счёт изменения числа оборотов насоса ($n_1 \rightarrow n_2$).



Компенсация по наружной температуре

Когда величина температуры наружного воздуха находится в пределах от 0°C до 20°C, температура воздуха в помещении поддерживается системой обогрева на нижней границе комфортной зоны, то есть 20°C.

Зимняя и летняя компенсация



Если величина температуры наружного воздуха превышает 20°C, включается режим летней компенсации, во избежание большой разницы между T°С воздуха в помещении и T°С наружного воздуха, которая может привести к ощущению температурного дискомфорта при выходе из помещения на улицу или наоборот. В странах Евросоюза существуют специальные нормы, предписывающие необходимость повышения комнатной температуры на 1°C при повышении температуры наружного воздуха на каждые 2°C:

T°С наружного воздуха 20 22 24 26 28 30 32

T°С воздуха в помещении 20 21 22 23 24 25 26

В России такие нормы отсутствуют, но в некоторых случаях в проекты могут быть заложены требования аналогичной компенсации с этими или другими параметрами. Наклонную линию диаграммы можно, при необходимости, перемещать вправо-влево, вверх-вниз, а также менять угол наклона. Этот угол наклона обозначается Eл и определяется частным от деления приращения температуры в помещении ΔT°Сп на приращение температуры наружного воздуха ΔT°Сн, выраженным в процентах:

$Eл = \Delta T^{\circ}Cп / \Delta T^{\circ}Cн \times 100\%$. В данном случае Eл = 50%

Если величина температуры наружного воздуха ниже 0°C, включается режим зимней компенсации, во избежание влияния низкой T°С стен и окон на ощущение комфорта. Условием зимней компенсации может являться требование:

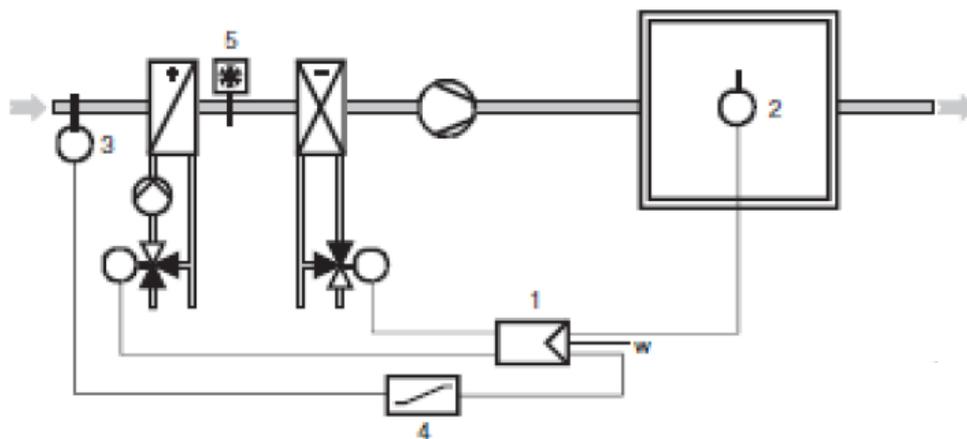
T°С воздуха в помещении + T°С внутренней поверхности стены = 38°C

Данное требование в основном распространяется на жилые помещения и помещения для работы без интенсивной двигательной активности.

Угол наклона обозначается Eз и определяется экспериментальным путём в процессе наладки в зимнем режиме или в процессе эксплуатации. Начальная уставка:

Eз = - 5%

Поддержание зимнего и летнего режимов обеспечивают контроллеры с PI/PID - регулированием.



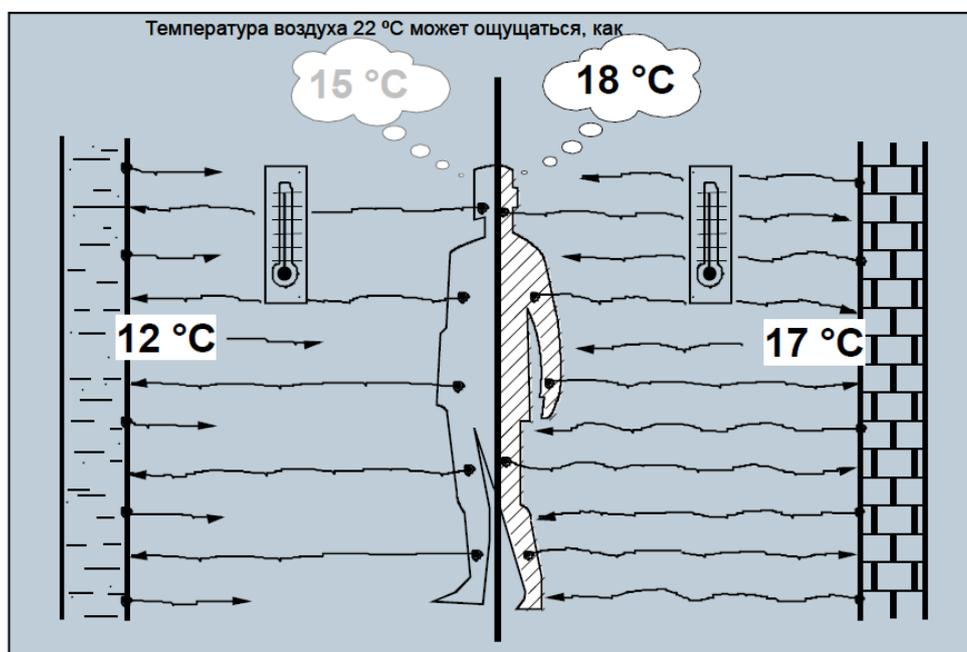
Летнее смещение уставки: 50%

Зимнее смещение уставки: - 5%

1. Контроллер комнатной T°
2. Датчик комнатной T°
3. Датчик наружной T°
4. Смещение уставки
5. Защита от замораживания

Влияние температуры стены на ощущение комфорта в “рабочей” зоне

Деятельность человека обычно связана с определённой частью помещения, называемой рабочей зоной. Ощущаемая температура в рабочей зоне является основным показателем температурного комфорта.

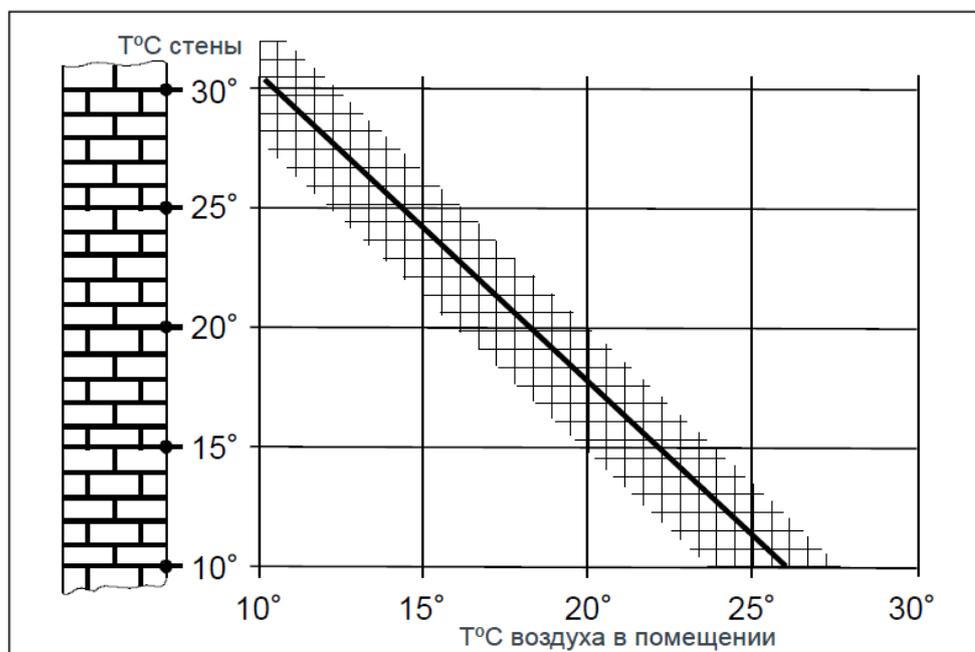


Если зимой температура внутренней поверхности стены равна 17°C, то фактическая температура воздуха в рабочей зоне, равная 22°C, может ощущаться, как 18°C. Если же температура внутренней поверхности стены равна всего 12°C, то фактическая температура воздуха в рабочей зоне,

равная 22°C, может ощущаться, как 15°C. Низкая температура стены ухудшает ощущение комфорта. Разница T° воздуха и T° стены не должна превышать 10°C, иначе не удастся достигнуть ни температурного комфорта, ни энергосбережения.

График комнатной температуры для компенсации температуры стены

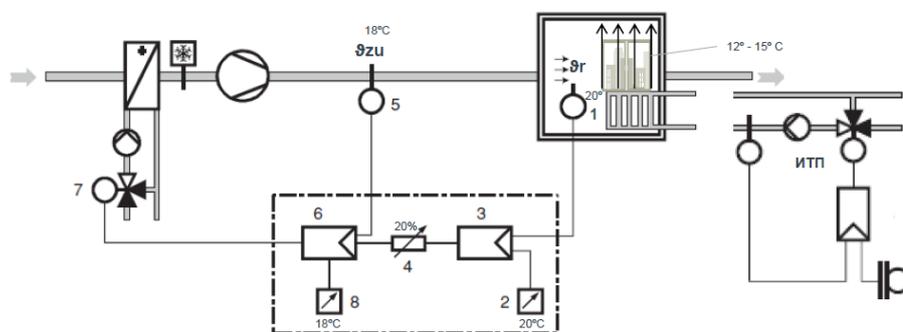
График определяет температуру воздуха в помещении, предназначенном для отдыха или работы без интенсивной двигательной нагрузки, которую необходимо поддерживать, чтобы обеспечить температурный комфорт, в зависимости от температуры внутренней поверхности стены.



Принцип “тёплые стены, прохладный воздух” предпочтителен.

Совместный обогрев приточным воздухом и системой отопления

Если помещение обогревается совместно системой приточной вентиляции и системой отопления, необходимо с одной стороны не допустить перегрев помещения, а с другой стороны не допустить ухудшение температурного комфорта.

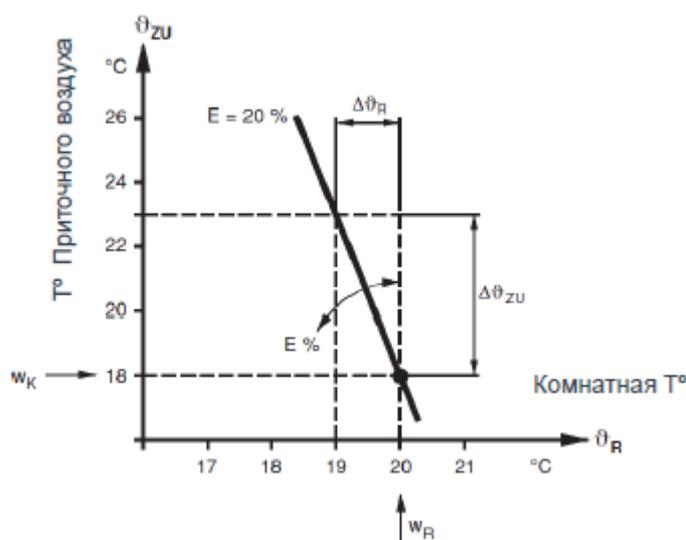


- | | |
|---|---|
| 1. Датчик комнатной T° (ϑ_r) | 5. Датчик T° приточного воздуха (ϑ_{zu}) |
| 2. Уставка комнатной T° (ϑ_r) | 6. Контроллер T° приточного воздуха |
| 3. Контроллер комнатной T° | 7. Регулирующий клапан |
| 4. Смещение уставки (ϑ_{zu}) | 8. Уставка T° приточного воздуха (ϑ_{zu}) |

Допустим, в помещении надо поддерживать температуру 20°C (датчик 1). Из двух систем обогрева одна является основной, а другая дополнительной.

За основную принимается система отопления от ИТП. Она контролирует температуру в помещении косвенным образом, поддерживая определённую температуру теплоносителя, подаваемого на радиатор, в соответствии с наружной температурой. При определении температурного режима необходимо учитывать, что система отопления должна обеспечивать столько тепла, сколько хватило бы для поддержания температуры воздуха, создающего воздушную завесу вдоль окна, равной 12°C - 15°C.

Дополнительной является система приточно-вытяжной вентиляции. Она доводит температуру воздуха в помещении до комфортной величины 20°C и поддерживает её с необходимой точностью. Для этого температура воздуха, подаваемого по воздуховоду в помещение, должна быть 18°C (датчик 5).

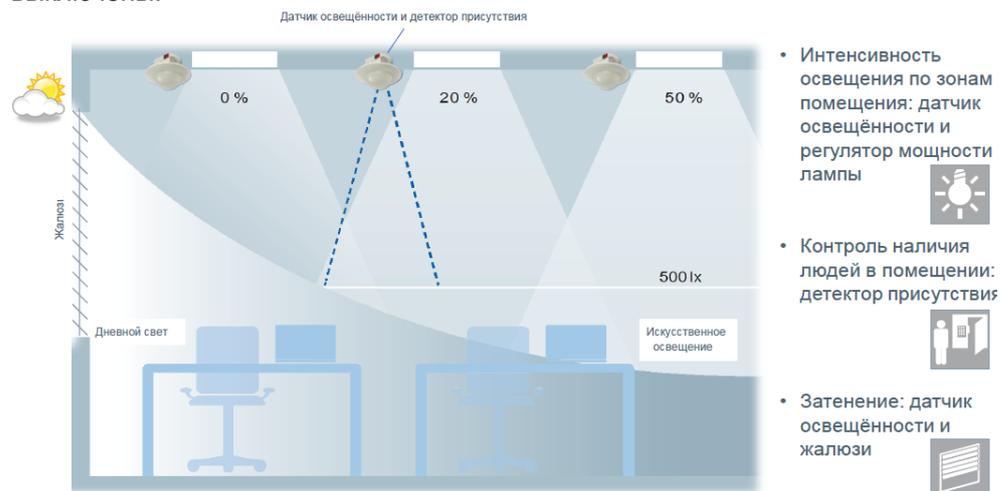


Если комнатная температура воздуха выходит за пределы комфортной зоны и понижается на 1°C, то есть до 19°C, то, в соответствии с графиком, контроллер повышает температуру приточного воздуха в воздуховоде, но уже не на 1°C, а на 5°C, то есть до 23°C. Температура воздуха в помещении возвращается к заданной величине. При определении температурного режима необходимо учитывать, что воздух, поступающий в помещение, имеет определённую скорость (несколько м/сек.) и может не успеть снизить её на подходе к рабочей зоне, что вызовет ощущение сквозняка. Поэтому нежелательно поддержание температуры в воздуховоде ниже 18°C.

5.3 Регулирование освещения и охлаждения

Экономия энергии в системах освещения заключается в максимальном использовании дневного света. Свет, проникая через оконное стекло, распределяется в помещении неравномерно. Следовательно, так же неравномерно должны работать приборы искусственного освещения — чем дальше от окна, тем ярче свет светильника. За этим следят датчик освещённости и регулятор мощности ламп — диммер (электронный потенциометр). Они поддерживают освещённость в помещении равномерно в соответствии с санитарными нормами, разработанными для разных типов помещений, в зависимости от деятельности человека, или в соответствии с индивидуальным ощущением светового комфорта. Каждый датчик освещённости смонтирован в общем корпусе с детектором присутствия. Если люди отсутствуют в зоне освещения, то соответствующий светильник

выключен. Если люди отсутствуют в помещении, то все светильники выключены.



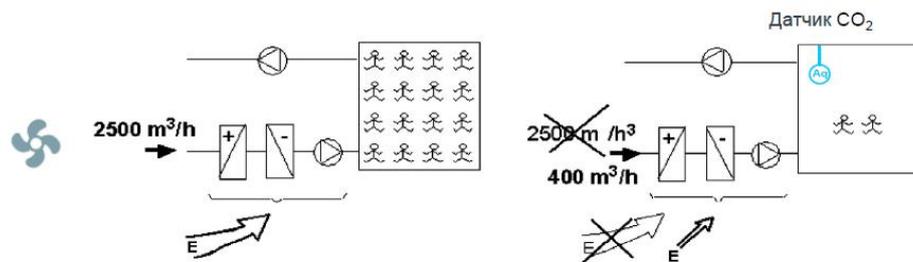
В жаркие летние дни, когда солнечные лучи не только освещают помещение, но и нагревают его, заставляя систему охлаждения работать с повышенной нагрузкой, контроллер перестраивает работу, расставляя приоритеты и исходя из того, что затраты энергии на охлаждение выше затрат энергии на освещение. Он начинает прикрывать жалюзи, жертвуя освещением, но выигрывая на охлаждении, до тех пор, пока суммарное энергопотребление на охлаждение и освещение не достигнет минимальной величины. Контроллер будет поддерживать такое состояние на протяжении всего светового дня.

Общий потенциал энергосбережения на освещение и охлаждение – 44%.

5.4 Регулирование качества воздуха

Регулируемый воздухообмен в помещениях с постоянно меняющимся количеством людей

Оптимальная подача наружного воздуха в помещение регламентируется по действующим санитарным нормам: на одного человека 20-60 куб.м в час. А, например, в спортивных залах: 80 куб.м в час на спортсмена и 20 куб.м в час на зрителя. При расчетах обычно исходят из того, что в помещении будет находиться максимальное количество людей. Но количество людей, на самом деле, может постоянно меняться в течение дня. Да и в разные дни оно бывает разным. Это относится к спортзалам, кинотеатрам, торговым центрам, аудиториям и другим общественным местам. Практически зал может быть заполнен наполовину, треть или четверть. И двигательная активность людей тоже не остаётся постоянной. Поэтому максимальная подача свежего воздуха, без учёта реальной потребности неразумна. Было бы куда разумней регулировать величину воздухообмена в помещении, в зависимости от фактической необходимости в конкретное время для оптимального поддержания комфортных условий. Наиболее эффективным решением является установка в обслуживаемом помещении датчика CO₂ наряду с уже имеющимся датчиком температуры, а также датчиком относительной влажности, если он предусмотрен. Датчик CO₂ является отличным индикатором наличия людей в помещении и интенсивности их занятий.



В период времени, соответствующий максимальному количеству людей, вентиляционная система должна работать с максимальной нагрузкой. По мере же уменьшения количества людей, уменьшается концентрация в воздухе выдыхаемого углекислого газа, потребность в воздухообмене снижается, и датчик CO₂ сообщает системе о необходимости снижения подачи воздуха, вплоть до полной остановки вентсистемы, если другие показатели комфортных условий соответствуют норме. Контроллер с помощью датчика CO₂ регулируют количество подаваемого свежего воздуха, два других датчика контролируют температуру и относительную влажность и следят за тем, чтобы с уменьшением воздухообмена эти два показателя не вышли за пределы комфортной зоны. Если это начинает происходить, контроллер немедленно реагирует и даёт команду на увеличение воздухообмена.

Потенциал экономии составляет 20 – 70%

Датчики CO₂ выпускаются различных модификаций: комнатного и канального исполнения, с дисплеем и без него. Метод измерения основан на инфракрасной абсорбции. Один такой датчик может быть смонтирован в общем корпусе с датчиком летучих органических соединений или с датчиком температуры и датчиком относительной влажности.



На рисунке изображён датчик CO₂ типа QPA... комнатный с жидкокристаллическим дисплеем. Диапазон измерения: 0...2000 ppm.

В соответствии с ГОСТ 30494-2011, существует следующая классификация качества воздуха:

Класс	Качество воздуха в помещении		Содержание CO ₂ см ³ /м ³
	☺	☹	
1	Высокое	-	400 и менее
2	Среднее	-	400-600
3	-	Допустимое	600-1000
4	-	Низкое	1000 и более
Жилые и общественные здания			

Управление воздухообменом в разных помещениях с общей вентсистемой

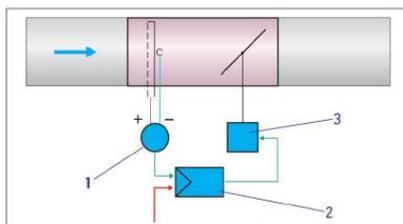
Если одна приточно-вытяжная установка обеспечивает воздухообмен в двух и более помещениях, то на притоке и вытяжке каждого из этих помещений устанавливаются блоки регулирования расхода воздуха, так называемые, VAV-box.



Они включают в себя следующие элементы управления:

1. датчик перепада давления, служащий фактически для измерения расхода;
2. контроллер расхода воздуха;
3. привод воздушной заслонки.

Контроллер и привод объединены в одном общем корпусе.

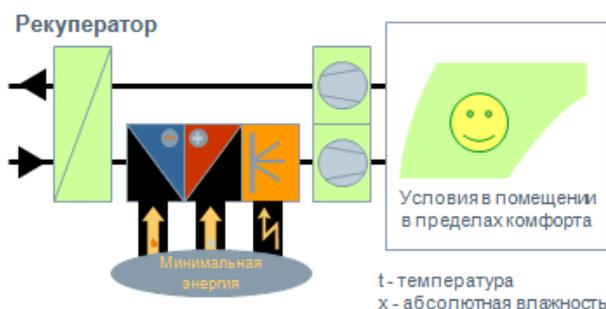


В библиотеке стандартных приложений имеется программный модуль AirOptiControl с индексом {AQualCtl}. Он выполняет регулирование строго дозированной подачи воздуха в каждое помещение, в соответствии с реальной потребностью в каждый момент времени, с высокой точностью и скоростью регулирования. Независимость расхода воздуха от давления в подающем воздуховоде, которое может меняться из-за работы других блоков регулирования, обеспечивается частотным регулированием приточного и вытяжного вентиляторов.



5.5 Регулирование тепловлажностного режима

В системах кондиционирования воздуха с рекуперацией можно достичь 40% энергосбережения за счёт поддержания экономичного тепловлажностного режима. В библиотеке стандартных приложений имеется программный модуль Economizer tx2 под индексом {Ahu33}. Он реализует функцию энергосбережения, которая обеспечивает оптимальный комфорт при минимальном энергопотреблении и эксплуатационных расходах, путём регулирования температуры и влажности в помещении с учётом фактической потребности, а также оптимизации энергопотребления посредством рекуперации с учётом потребности.



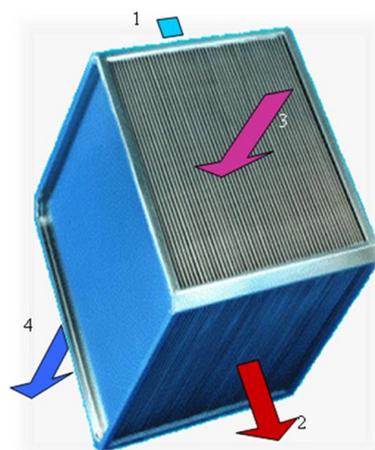
На диаграмме наружный воздух перед подачей в помещение либо нагревается, либо охлаждается, в зависимости от наружной температуры, после чего он увлажняется и подаётся в помещение для поддержания комфортных условий по температуре и влажности. Затем отработанный воздух удаляется из помещения вытяжным вентилятором. Но прежде, чем попасть наружу, он передаёт часть своей термальной энергии (тепла или прохлады) приточному воздуху посредством рекуператора. Это позволяет затем сэкономить энергию в процессе подготовки приточного воздуха. Функция Economizer tx2 обеспечивает процесс воздухоподготовки с

минимально возможными затратами энергии на обогрев, охлаждение и увлажнение.

Рекуператоры подразделяются на три различных класса, в зависимости от устройства и принципа действия. Каждый из них обладает как своими преимуществами, так и недостатками. В зависимости от характеристик систем и условий использования, может применяться тот или иной тип рекуператора:

- пластинчатый рекуператор;
- жидкостной рекуператор;
- роторный рекуператор.

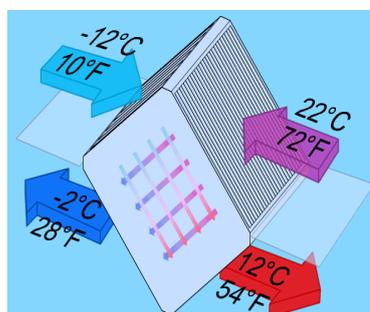
Пластинчатый рекуператор



- 1 – наружный воздух (OA)
- 2 – приточный воздух (SU)
- 3 – вытяжной воздух (EX)
- 4 – удаляемый воздух

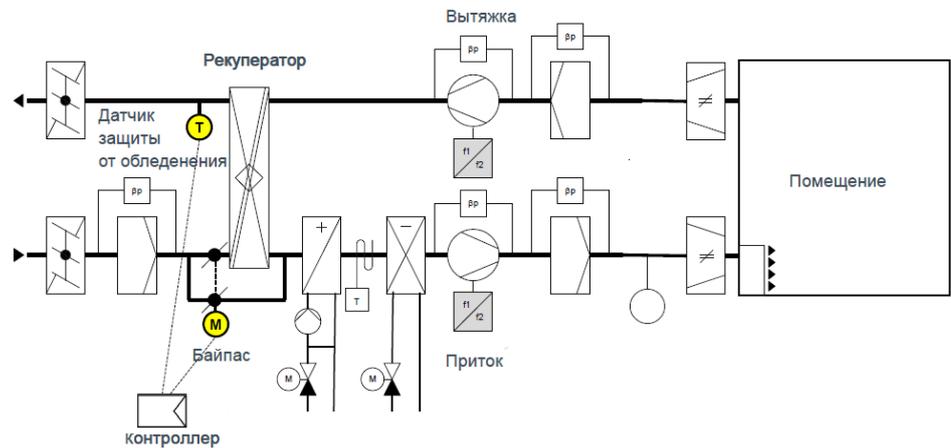
Пластинчатый рекуператор представляет собой блок теплообменника, оснащенный множеством тонких листов-перегородок, через которые обеспечивается процесс передачи тепла от удаляемого воздуха к приточному. Потoki удаляемого и приточного воздуха проходят между перегородками по разные стороны под прямым углом друг к другу, не пересекаясь и не смешиваясь. Эффективность рекуперации тепла выражается коэффициентом возврата Φ_{su} и колеблется в пределах: 45...70 %.

$$\Phi_{su} = \frac{t_{su} - t_{oa}}{t_{ex} - t_{oa}}$$



Потеря давления воздуха составляет 150...300 Па.

Зимой потоки вытяжного воздуха, охлаждаясь до точки росы, оставляют влагу между перегородками рекуператора, что может привести к обледенению. Это снижает эффективность рекуперации и увеличивает потерю давления, что вызывает увеличение энергопотребления вентиляторами. Для защиты от обледенения используется регулируемый воздушный байпас.



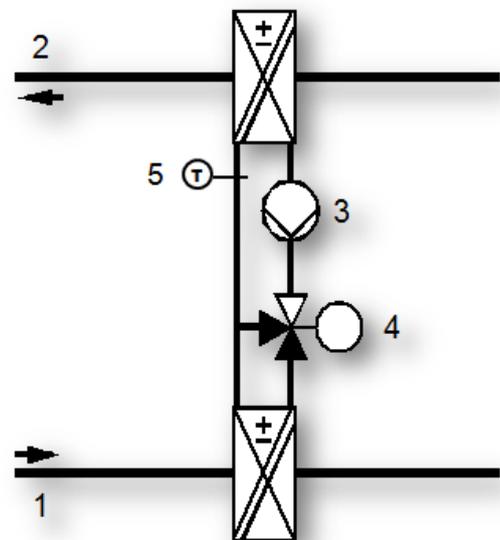
Контроллер получает от датчика защиты от обледенения информацию о понижении температуры воздуха до определённого порога, отделяющего от точки росы, и открывает воздушную заслонку на байпасе для прогрева вытяжного воздуха.

Жидкостной рекуператор

- 1 – наружный воздух
- 2 – удаляемый воздух
- 3 – насос
- 4 – регулирующий клапан
- 5 – датчик температуры (защита от обледенения)

Эффективность рекуперации:
40...70 %

Потеря давления воздуха:
100...200 Па



Рекуператор этого типа применяется, когда приточный и вытяжной воздуховоды разведены по разным этажам, и нет возможности свести их в общем рекуператоре. Тогда на каждом из этих воздуховодов устанавливается по калориферу, и между калориферами циркулирует теплоноситель вода-гликоль.

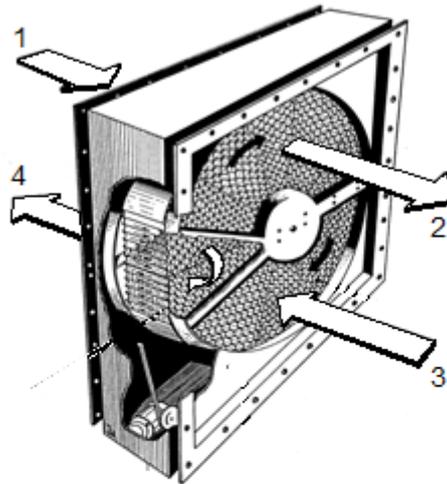
Роторный рекуператор

Рекуператор этого типа представляет собой вращающийся барабан со множеством мелких вентиляционных каналов ячеистой структуры, "сотканых" из тонкой алюминиевой ленты. Барабан вращается, подставляя воздушные каналы попеременно под струи приточного и вытяжного воздуха.

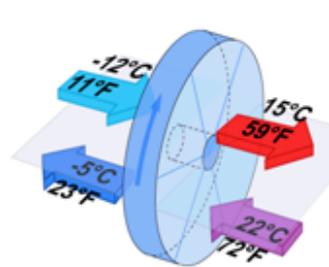
Преимущества роторных рекуператоров, по сравнению с пластинчатыми и жидкостными, следующие:

- эффективность рекуперации достигает 85%;
- потеря давления воздуха: 50...100 Па;
- регулируя скорость вращения ротора можно регулировать степень рекуперации, а также защищать от обледенения воздушных каналов;

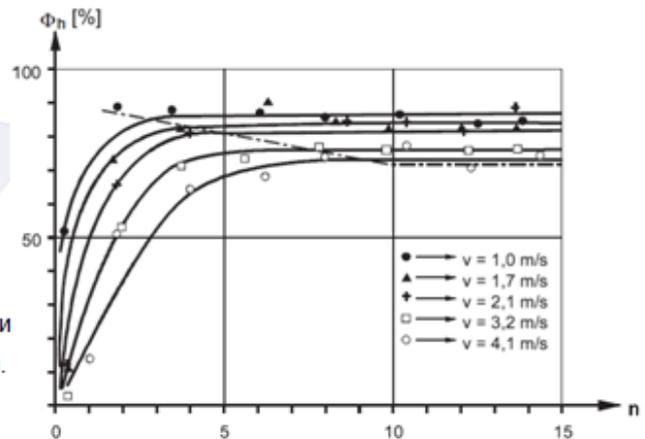
- роторный теплообменник позволяет утилизировать не только тепло, но и влагу.



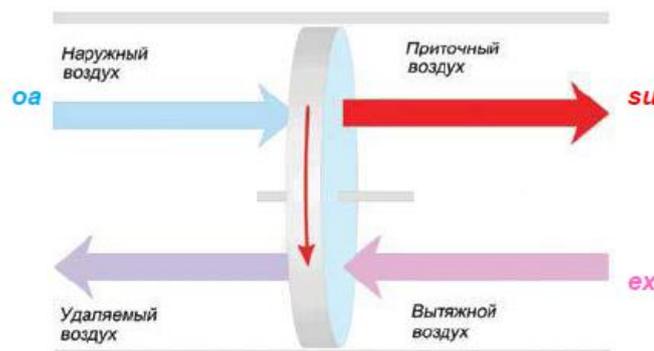
- 1 – наружный воздух
- 2 – приточный воздух
- 3 – вытяжной воздух
- 4 – удаляемый воздух

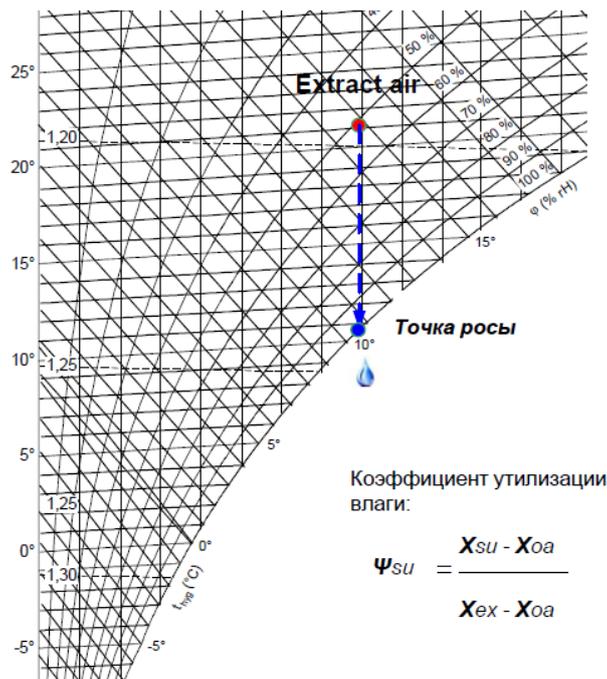


Φ_n – степень рекуперации
 n – число оборотов в мин.
 v – скорость воздуха



Степень рекуперации зависит от числа оборотов вращения барабана ротора и от скорости движения воздуха в воздуховоде. Максимальная скорость вращения подбирается равной 10 оборотам в минуту. Утилизация влаги происходит зимой, когда температура отработанного воздуха опускается в рекуператоре до точки росы.



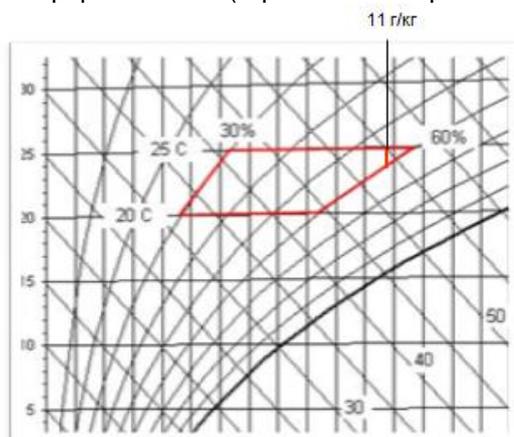


Вытяжной воздух (Extract air) охлаждается в ячейках ротора до точки росы и водяные пары конденсируются на холодной поверхности ячеек ротора. После поворота ротора потоки наружного воздуха забирают влагу из его ячеек и возвращают в помещение с потоком приточного воздуха, увлажняя его. Такой ротор называется “конденсационный”.

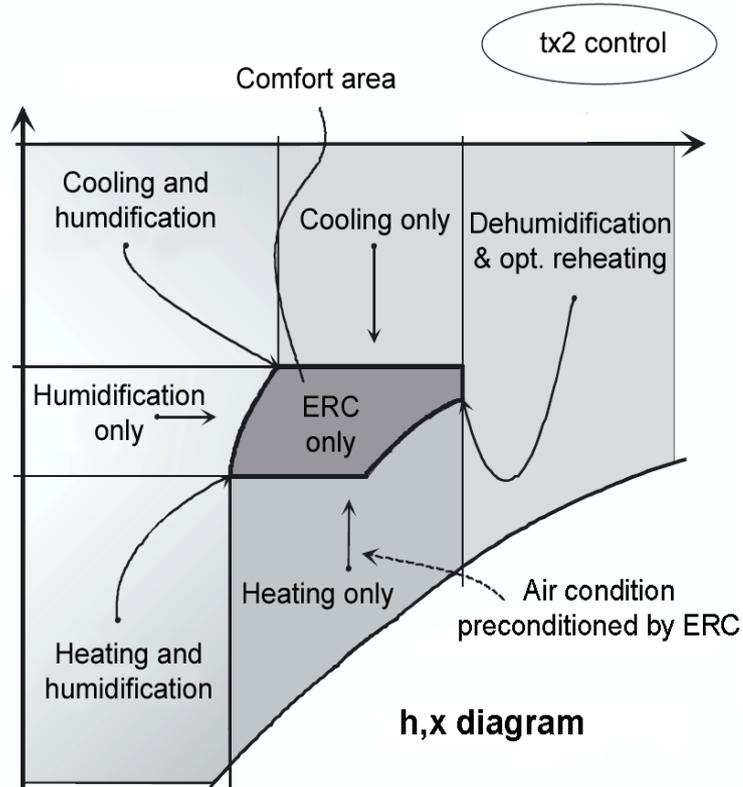
Существует другой тип ротора – “энтальпийный”. Утилизация влаги в нём не зависит от температуры. В этом роторе фольга имеет гигроскопичное покрытие, поглощающее водяные пары из воздуха, что позволяет утилизировать влагу. Зимой влага из вытяжного воздуха поглощается гигроскопичным покрытием и переносится в сухой приточный воздух, увлажняя его. Осушение вытяжного воздуха предотвращает выпадение конденсата в роторной секции, что снижает риск обледенения воздушных каналов. А летом влага из приточного воздуха поглощается гигроскопичным покрытием и переносится в сухой вытяжной воздух, что осушает тёплый и влажный приточный воздух и снижает энергозатраты на его охлаждение.

Алгоритм экономайзера tx2

Для поддержания в помещении комфортной температуры 20°C - 25°C и комфортной влажности 30 - 60% алгоритм автоматически определяет экономичные уставки температурно-влажностного режима внутри комфортной зоны (ограниченной красными линиями) .



При этом правый верхний угол обычно срезается, так как при абсолютной влажности 11 граммов влаги на килограмм воздуха и выше возникает лёгкое ощущение удушья. Показатели воздуха после рекуператора оцениваются, и выявляется необходимость (или отсутствие таковой) в дополнительном нагреве или охлаждении, а также в дополнительном увлажнении или осушке.



При обоюдной потребности в изменении температуры и влажности воздуха, расставляются приоритеты, исходя из стоимости затрат энергии, в зависимости от разных тарифов. Программа определяет оптимальную степень рекуперации, исходя из стоимости энергии на обогрев, охлаждение, увлажнение и осушку, и координирует её с работой узлов регулирования для минимального суммарного энергопотребления. Без экономайзера все узлы регулирования и рекуператор невязимосвязаны. Ecomotizer tx2 координирует работу разных узлов регулирования: обогрева, охлаждения и влажности, а также рекуператора, и определяет самое экономичное значение уставки внутри комфортной зоны. Наибольшая энергоэффективность достигается, если уставка температурно-влажностного режима перемещается вдоль границ комфортной зоны.



5 Заключение

Системы автоматизации департамента “Автоматизация и безопасность зданий” имеют не один десяток специальных программных функций, позволяющих анализировать и оптимизировать расход энергии в системах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, освещения и затенения, с помощью которых можно достичь энергоэффективности класса “А”. Именно в таких системах заложены максимальные возможности экономии энергии. Они осуществляют взаимодействие между различными установками с помощью согласованной работы датчиков, исполнительных органов и программного обеспечения, что позволяет экономить большое количество тепловой и электрической энергии. И тогда все системы могут управляться таким образом, чтобы добиться максимальной энергоэффективности без ущерба для комфорта пользователей. Этот целостный подход к автоматизации инженерных систем зданий является основополагающим. Представленные в данной брошюре популярные и инновационные методы энергосбережения помогут осуществить энергоэффективное управление инженерными системами зданий посредством их автоматизации.

ООО Сименс, Автоматизация и
безопасность зданий (BT)
Москва 115184
Ул. Большая Татарская, д. 9
Tel. +7 495 737 16 66
Fax +7 495 737 18 20

ООО Сименс, Автоматизация и
безопасность зданий (BT)
Санкт-Петербург 191186
Наб. реки Мойки, 36
Tel. +7 812 324 8341, 8326
Fax +7 812 324 8341

ООО "Сименс Технологии"
Республика Беларусь,
Минск, 220004
Ул. Немига 40, пом. 43
Tel. +375 17 217 3487

Информация, изложенная в данной брошюре, предоставлена в основном штаб-квартирой департамента Building Technologies компании Siemens и содержит общее описание возможностей энергосбережения в инженерных системах и поддержания комфортного микроклимата в зданиях. В каждом отдельном случае необходимо обследование и индивидуальный подход.

© 2017 ООО "Сименс", департамент "Автоматизация и безопасность зданий". Москва, Россия.

