



РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В КРЫТЫХ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ. НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ISBN 978-5-98267-078-6

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
«Инженеры по отоплению, вентиляции,
кондиционированию воздуха, теплоснабжению
и строительной теплофизике» (НП «АВОК»)
www.abok.ru



Содержание

Введение.....	IV
1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Общие положения.....	1
3.1 Температура воды.....	1
3.2 Температура воздуха в помещениях плавательного бассейна.....	1
3.3 Влажность воздуха в помещениях плавательного бассейна.....	2
3.4 Температура поверхностей.....	2
3.5 Влияние влажности на ограждающие конструкции и системы кондиционирования воздуха и вентиляции.....	2
4 Системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в залах с ваннами бассейна.....	2
5 Расчет нормативного воздухообмена для зала с ваннами бассейна.....	7
5.1 Расчет влаговыделений в зале с ваннами бассейна.....	7
5.1.1 Площадь испарения и расчетные коэффициенты.....	7
5.1.2 Влаговыделения с зеркала воды.....	7
5.1.3 Влаговыделения с обходных дорожек.....	8
5.1.4 Влаговыделения при работе водных аттракционов.....	8
5.1.4.1 Коэффициент интенсивности влаговыделений (для рабочего времени).....	8
5.1.4.2 Влаговыделения в зале с ваннами бассейна (для рабочего времени).....	9
5.1.4.3 Влаговыделения для открытых водяных горок.....	9
5.2 Расчет расхода наружного воздуха.....	9
5.3 Расчет термического сопротивления наружных ограждающих конструкций бассейна.....	15
Библиография.....	16

Тип бассейна	Температура воздуха, °С
Олимпийский	28–30
Спортивный	28–30
Детский	28–30
Лечебный	36
Джакузи	28–30
Бассейн в бане:	
— холодный	20
— горячий	25

3.2 Температура воздуха в помещениях плавательного бассейна

Для обеспечения требуемых параметров микроклимата температура воздуха в зале с ваннами бассейна должна быть на 1–2 °С выше температуры в бассейне, но не более 25 °С. Рекомендуемые значения температуры для помещений, входящих в зал плавательного бассейна, приведены в таблице 1.

Предисловие Введение

Основной задачей систем кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в помещениях крытых плавательных бассейнов является обеспечение санитарно-гигиенических требований. Наибольшую проблему в данных условиях представляет повышенная влажность внутреннего воздуха. Отсутствие должного регулирования влажности может приводить к дискомфорту, проблемам, связанным с коррозией, разрушением элементов ограждающих конструкций, появлением плесени и др. Для предотвращения нежелательной конденсации водяного пара и для обеспечения требуемых параметров микроклимата требуется поддерживать относительно высокие температуры воды и воздуха в помещениях. В этой связи спортивные и общественные плавательные бассейны характеризуются высоким энергопотреблением, что приводит к значительным расходам на их содержание. Федеральный закон [1] инициирует процессы, такие как нормирование удельного расхода энергии, энергоаудит, стимулирование энергосбережения, аналогичные происходящим за рубежом в сфере рационального использования энергоресурсов.

Современные комплексные методы обеспечения требуемых параметров микроклимата в помещениях с высокими влаговыведениями позволяют выбрать оптимальную компоновку вентиляционных агрегатов в целях снижения затрат энергии. Комплексные решения для систем кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в помещениях подразумевают применение специализированных агрегатов, которые обеспечивают круглосуточное управление внутренним микроклиматом в любое время года, а также организацию эффективного воздухообмена в помещениях плавательного бассейна. При этом рекомендуется поддерживать малую подвижность воздуха в обслуживаемой зоне и не допускать повышенную стратификацию температуры воздуха по высоте помещения, благодаря чему сокращаются потери теплоты через верхнюю зону здания, предотвращаются выпадение конденсата и коррозия несущих элементов кровли.

РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В КРЫТЫХ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАСЕЙНАХ. НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ENERGY AND HVAC ENVIRONMENTAL GUIDELINES FOR THE DESIGN OF INDOOR SWIMMING POOLS

Дата введения – 2012-04-09

1 Область применения

1.1 Настоящие рекомендации предназначены для проектирования систем кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха помещений спортивных, рекреационных и частных крытых плавательных бассейнов, аквапарков и других подобных помещений с открытым зеркалом воды. Методика расчета, изложенная в рекомендациях, предназначена для определения воздухообмена в залах с ваннами бассейна. В основе методики лежит зависимость интенсивности поступления влаги в помещение от параметров воздуха над зеркалом воды ванн бассейна и температуры воды.

1.2 Системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха помещений плавательного бассейна должны решать следующие задачи:

- обеспечение нормативных параметров воздуха в помещении;
- обеспечение параметров воздуха вблизи элементов ограждающих конструкций, необходимых для предотвращения конденсации с целью сохранения их несущей способности и внешнего вида;
- оптимизацию потребления энергоресурсов в зависимости от изменения параметров микроклимата.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СанПиН 2.1.2.1188–2003 Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества

СНиП 23-01–99* Строительная климатология

СНиП 31-06–2009 Общественные здания и сооружения

СНиП 41-01–2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование

СП 31-113–2004 Бассейны для плавания

DIN 19643-1–1997 Treatment of the water of swimming-pools and baths. P. 1. General requirements (Очистка воды для плавательных бассейнов и ванн. Ч. 1. Общие требования)

3 Общие положения

3.1 Температура воды

Для обеспечения требуемых параметров микроклимата температуру воды в бассейнах рекомендуется принимать согласно таблице 1.

Таблица 1 – Температура воды в бассейнах

Тип бассейна	Температура воды t_w , °C
Спортивный	24–28
Рекреационный	28–30
Детский	29–32
Лечебный	36
Джакузи	35–39
Бассейн в бане:	
– холодный	15
– горячий	35

3.2 Температура воздуха в помещениях плавательного бассейна

Для обеспечения требуемых параметров микроклимата температура воздуха в зале с ваннами бассейна должна быть на 1–2 °C выше температуры воды в бассейне, но не более 35 °C. Рекомендуемые значения температуры для помещений, входящих в состав плавательного бассейна, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Температура воздуха в помещениях плавательного бассейна

Тип помещения	Температура воздуха t_{R} , °С	
	мини-мальная	макси-мальная
Вспомогательное	20	–
Лестничный марш	18	–
Раздевалка	22	28
Санузел и техническое помещение	22	26
Душевая и совмещенный с ней санузел	26	34
Зал с ваннами бассейна	30	35

3.3 Влажность воздуха в помещениях плавательного бассейна

3.3.1 Влажность воздуха в помещениях плавательного бассейна не должна превышать 14 г/кг.

3.3.2 Для предотвращения повышенного испарения и нежелательной конденсации, а также для снижения негативного воздействия влаги на металлические и деревянные конструкции необходимо поддерживать относительную влажность воздуха φ в пределах 40–65 %. Кратковременное отклонение параметров от рекомендуемых значений не приводит к ухудшению состояния ограждающих конструкций.

3.3.3 В случае использования в помещениях плавательного бассейна клеевых деревянных конструкций необходимо согласовать с изготовителями этих конструкций параметры воздуха в зоне их расположения.

3.4 Температура поверхностей

Температура нагретых поверхностей, которые могут быть доступны посетителям, не должна превышать значений, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 – Температура поверхностей

Тип поверхности	Температура поверхностей, °С
Для сидения	30–39
Пол в зонах, где находятся люди без обуви	22–30
Нагретая поверхность в зоне, где находятся люди без одежды (при отсутствии защиты от касания)	< 50

3.5 Влияние влажности на ограждающие конструкции и системы кондиционирования воздуха и вентиляции

3.5.1 Наличие в помещениях плавательного бассейна поверхностей с температурой ниже, чем температура точки росы, приводит к выпадению конденсата на таких поверхностях, как:

- воздухо- и водопроводы;
- светопрозрачные конструкции с термическим сопротивлением менее $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$;

Примечание – Появление влаги на данных поверхностях может быть интенсивным и способствовать образованию грибков и плесени в местах сопряжения со стеной.

– элементы кровли и других ограждений.

3.5.2 Особенность микроклимата плавательных бассейнов заключается также в том, что влажность воздуха в залах с ваннами бассейна неравномерно распределяется по высоте, поскольку влажный воздух, будучи легче сухого, перемещается в верхнюю зону помещения.

В помещениях с высотой потолков менее 4 м распределение воздушных масс обычно более однородное, но опасность представляют повышенная подвижность воздуха в рабочей зоне и контакты воздуха с холодными (чаще всего наружными) ограждениями.

3.5.3 При наличии подвесных потолков в залах с ваннами бассейна необходимо обеспечивать естественную или механическую вентиляцию полостей за подвесными потолками и иными элементами внутреннего оформления в целях исключения выпадения конденсата на элементах строительных конструкций, расположенных внутри указанных полостей.

3.5.4 Воздух в плавательных бассейнах содержит следы химически активных веществ (свободный хлор и хлорамины), поэтому он является агрессивной средой по отношению к металлам, бетону и т. п. Вентиляционное оборудование должно обладать повышенной антикоррозионной стойкостью. Антикоррозионные покрытия должны использоваться не только для внутренних панелей вентиляционных установок, но и для соединительных узлов, элементов рамы, крепежа и других деталей. Поскольку у оцинкованных изделий уязвимыми местами являются места резов и гибки, желательна проводить горячее цинкование деталей только после вырубных и гибочных операций. Для наиболее ответственных деталей, кроме того, рекомендуется использовать специальное эмалевое покрытие внутренних поверхностей, которые контактируют с влажным воздухом.

3.5.5 Защита от коррозии также достигается за счет конструктивного исполнения. С целью предотвращения накопления влаги и растворенного в ней хлора в щелях корпуса вентиляционной установки рекомендуется стыковать панели заподлицо путем использования соединений типа «ласточкин хвост» и сбойных планок. На воздуховодах, транспортирующих влажный воздух, следует предусматривать отвод в дренаж сконденсированной влаги.

4 Системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в залах с ваннами бассейна

4.1 Раздача приточного воздуха в помещениях плавательных бассейнов и аквапарков выполняется

с учетом размещения посетителей, а также конструктивных особенностей здания, светопрозрачных конструкций, перекрытий и пр. Приоритетной задачей является обеспечение требуемых параметров микроклимата.

4.2 В залах с ваннами бассейна во избежание сквозняков рекомендуется организация приточных струй с подвижностью воздуха менее 0,15 м/с. Для этого целесообразно применять воздухораспределительные устройства с автоматической настройкой дальности струи при помощи регулируемого направляющего аппарата.

4.3 В помещениях общественных плавательных бассейнов потолки, как правило, имеют высоту более 4 м. Если располагать низкоскоростные приточные диффузоры под потолком, то возможны сложности с организацией подачи воздуха вниз. Чтобы избежать сложной наладки, подачу воздуха осуществляют на уровне пола, так чтобы воздух омывал наиболее холодные поверхности. Данное решение рекомендуется при совмещении вентиляции и воздушного отопления в условиях холодного климата (рисунок 1).

4.4 Вытяжные решетки не рекомендуется располагать на уровне раздачи приточного воздуха, т. к. сухой наружный воздух пойдет напрямую на вытяжку, не смешиваясь с воздухом кондиционируемого помещения. При наличии джакузи или ванны детского плавательного бассейна вытяжные решетки рекомендуется размещать рядом с этими источниками повышенных влаговывделений. При необходимости для локализации более влажного воздуха в таких зонах следует использовать дополнительный вытяжной вентилятор.

4.5 Для предотвращения поступления более влажного воздуха и запахов химически активных веществ из зала с ваннами бассейна в смежные помещения необходимо поддерживать отрицательный дисбаланс (разрежение) по отношению к прилегающим помещениям. Превышение вытяжки над притоком не должно быть более 10–15 %, иначе возможно получить другие источники дискомфорта: сквозняки через недостаточно герметичные двери, запахи из раздевалок и пр.

4.6 В случае отдельно стоящего здания крытого плавательного бассейна рекомендуется поддерживать положительный дисбаланс (подпор), обеспечивая превышение притока над вытяжкой для предотвращения инфильтрации наружного воздуха. Величина создаваемого подпора воздуха должна быть не выше 20 Па, что не препятствует открыванию и закрыванию входных дверей.

4.7 Внутренние поверхности ограждающих конструкций залов с ваннами бассейна должны иметь температуру выше температуры точки росы удаляемого воздуха (обычно 16 °С). Рекомендуется, чтобы самая холодная поверхность имела температуру на 3 °С выше температуры точки росы. Особое внимание необходимо уделять светопрозрачным конструкциям. Для исключения конденсации на указанных

поверхностях необходимо повысить их температуру либо снизить влажность воздуха, контактирующего с холодными стеклами и смежными поверхностями.

Наиболее простым решением является локальный нагрев воздуха в зоне окон, например, с помощью традиционных радиаторов отопления, который, однако, применим только при небольшой площади остекления (менее 20 %). Альтернативный вариант – организация раздачи подогретого приточного воздуха настилающимися компактными или плоскими струями, особенно в зданиях с большой площадью остекления (более 20 %). Возможные варианты подачи подогретого воздуха: из подпольного канала снизу вверх вдоль остекленных поверхностей; раздача воздуха сопловыми насадками в зонах выше уровня рабочих зон (более 2 м по высоте помещения). При этом необходимо организовывать системы сбора и отвода конденсата от окон и других светопрозрачных ограждений.

В зоне холодных потолков возможна раздача воздуха направленными струями вдоль потолков с охватом максимальной площади (рисунок 2). При этом допускается использование струй рециркуляционного воздуха постоянного или периодического действия.

4.8 На трибунах раздачу воздуха предпочтительно организовывать из-под сидений низкоскоростными воздухораспределителями либо с помощью приточных диффузоров непосредственно перед зрительскими рядами. Вытяжные воздуховоды при этом следует размещать сзади трибун. Такое решение обеспечивает локализацию более холодного воздуха в зоне зрительских трибун и изоляцию его от основной части зала с ваннами бассейна.

4.9 Для защиты элементов ограждающих конструкций от переувлажнения и преждевременного разрушения рекомендуется организация контроля температур поверхностей и воздуха у потолков. При возникновении условий для конденсации необходимо включать самостоятельную систему обдува

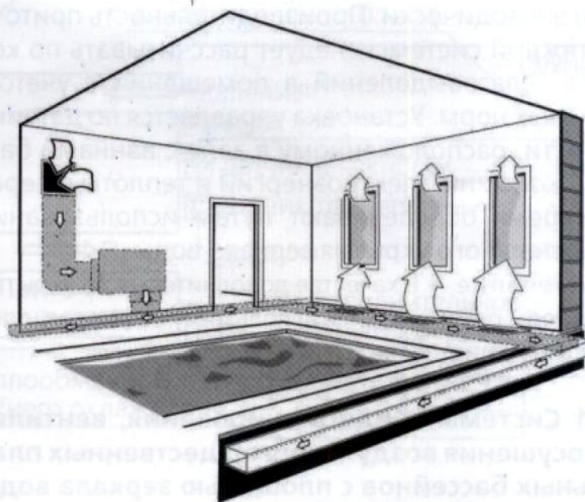


Рисунок 1 – Совмещенная система вентиляции и воздушного отопления

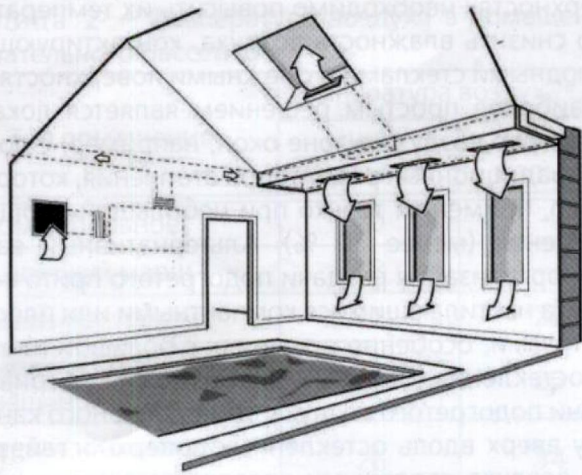


Рисунок 2 – Верхняя раздача подогретого воздуха

потолков либо производить их обдув теплым воздухом с помощью воздухораспределителей с изменяемой формой струи. Такой обдув потолков рекомендуется проводить также для их защиты в нерабочее время при наличии влаговывделений с зеркала воды бассейна.

4.10 Системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха для частных плавательных бассейнов с площадью зеркала воды менее 20 м²

Схемное решение, изображенное на рисунке 3, предназначено для частных домов, коттеджей и пр.

Для обеспечения нормативного воздухообмена и ассимиляции влаговывделений используют приточно-вытяжную установку. Нормативная температура воздуха в помещении обеспечивается с помощью системы отопления. Скрытая и явная теплота удаляемого воздуха не утилизируется. Достоинством этого решения является простота системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в условиях, когда плавательный бассейн используется (наполняется) эпизодически. Производительность приточно-вытяжной системы следует рассчитывать по количеству влаговывделений в помещении с учетом санитарных норм. Установка управляется по датчику влажности, расположенному в зале с ваннами бассейна. Экономия электроэнергии и теплоты в нерабочее время обеспечивают путем использования дополнительного укрытия зеркала воды.

Примечание – В качестве дополнительного укрытия зеркала воды рекомендуется использование шторок, плотиков, плавающих шаров и т. п.

4.11 Системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха для общественных плавательных бассейнов с площадью зеркала воды менее 40 м²

Схемное решение, изображенное на рисунке 4, рекомендовано для коттеджей, школ, детских учреждений, домов отдыха и пр.

Производительность приточно-вытяжной установки определяют по санитарной норме расхода воздуха – 80 м³/ч на человека. Установка включается только на период пользования плавательным бассейном и выключается при отсутствии людей. Влажность воздуха в помещениях плавательного бассейна обеспечивается за счет применения рециркуляционного осушителя конденсационного типа, который управляется по датчику влажности в зале с ваннами бассейна. Расчет осушителя производится по сумме влаговывделений в рабочий период с учетом ассимиляции части влаги наружным воздухом. Температура воздуха в помещении обеспечивается системой отопления при участии регенерации скрытой теплоты в конденсационном осушителе. Экономия электроэнергии и теплоты в нерабочее время обеспечивают путем применения дополнительного укрытия зеркала воды.

Примечание – В качестве дополнительного укрытия зеркала воды рекомендуется использование шторок, плотиков, плавающих шаров и т. п.

4.12 Системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха для общественных плавательных бассейнов с площадью зеркала воды более 40 м²

Схемное решение, изображенное на рисунке 5, рекомендовано для спортивных и общественных плавательных бассейнов, аквапарков и пр. с целью возможности выбора экономных и эффективных режимов работы.

Компонентами вентиляционной осушительной установки являются:

- сблокированная приточно-вытяжная установка;
- перекрестноточный пластинчатый рекуператор теплоты удаляемого воздуха;
- тепловой насос в качестве осушителя воздуха и рекуператора теплоты;
- встроенная система автоматики.

Достоинствами данной системы являются:

- компактная установка для широкого диапазона расхода воздуха;
- возможность реализации различных режимов обработки воздуха (нагрев, охлаждение и осушение) при обеспечении необходимых требований к параметрам внутреннего воздуха и нормам подачи приточного воздуха;
- наличие устройств пассивной и активной рекуперации теплоты, что позволяет достичь экономии энергии до 80 %;
- совмещение системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха помещений плавательного бассейна с воздушным отоплением.

Основные режимы работы установки по схеме (рисунок 5):

- Дневной режим в теплый период года. Этот режим работы установки определяет максимальный воздухообмен исходя из требований ассимиляции суммарных тепло- и влаговывделений

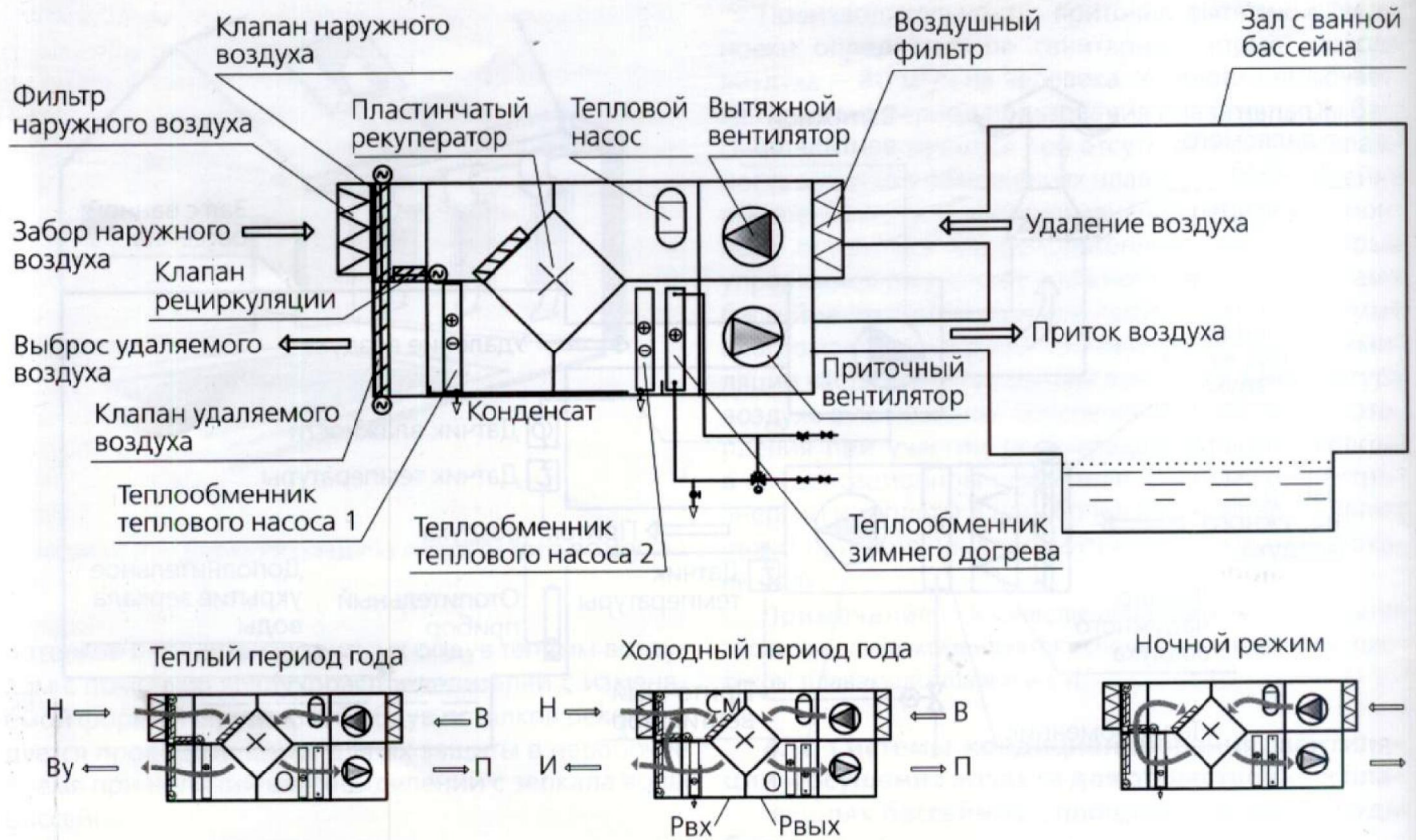


Рисунок 5 – Система кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха для большого плавательного бассейна

в рабочее время, который должен соответствовать нормативным требованиям в части количества подаваемого приточного воздуха. При наличии теплоизбытков от инсоляции тепловой насос используют для охлаждения приточного воздуха.

- Дневной режим в холодный период года. В этом режиме наружный воздух с малым влагосодержанием смешивается с рециркуляционным воздухом. Соотношение смеси наружного и рециркуляционного воздуха управляется датчиком влажности воздуха, размещенным в зале с ваннами бассейна или в вытяжном воздуховоде. После смесительной камеры приточный воздух нагревается в пластинчатом рекуперативном теплообменнике, а затем на конденсаторе теплового насоса, который работает на нагрев приточного воздуха. Через испарительный теплообменник теплового насоса проходит удаляемый воздух, и при этом утилизируется явная и скрытая теплота. Совместная работа пластинчатого теплообменника и теплового насоса позволяет осуществлять нагрев приточного воздуха без потребления внешней тепловой энергии при температуре наружного воздуха выше минус 15 °С. При температуре наружного воздуха ниже минус 15 °С дополнительный нагрев приточного воздуха производится в водяном калорифере.

- Ночной режим. Данный режим рассчитывают исходя из условия отсутствия посетителей. Испарение влаги с зеркала воды продолжается, хотя и в меньшем количестве. Вентиляционная установка переключается в режим осушения при полной рециркуляции – без подачи наружного воздуха. Влага удаляется из воздуха при его прохождении через испарительный теплообменник теплового насоса. Воздух на конденсаторе теплового насоса подогревается как за счет теплоты, утилизированной тепловым насосом, так и теплоты, рассеиваемой при работе привода компрессора теплового насоса. Тепловой насос в данном случае возвращает теплоту с коэффициентом 4,5 за счет максимального использования скрытой теплоты. Это значит, что на каждый затраченный 1 кВт·ч для привода компрессора конденсатор отдает более 4 кВт·ч теплоты. Рециркуляционный воздух поступает обратно в помещение и имеет температуру на 2–3 °С выше, чем температура удаляемого воздуха. Этого достаточно для компенсации теплотерь в помещениях плавательного бассейна в нерабочий период. В ночном режиме благодаря отказу от подачи приточного воздуха обеспечивается значительная экономия теплоты, расходуемой на нагрев приточного воздуха.

5 Расчет нормативного воздухообмена для зала с ваннами бассейна

5.1 Расчет влаговыделений в зале с ваннами бассейна

Интенсивность испарения определяется скоростью прохождения водяного пара через тонкий пограничный слой воздуха, непосредственно прилегающий к зеркалу воды. Количество испаряемой влаги зависит от разницы парциальных давлений водяного пара в пограничном слое и воздухе помещения, а также зависит линейным образом от площади зеркала воды. Влагопоступления в помещение значительно возрастают при увеличении количества посетителей и степени использования аттракционов вследствие повышенного волнообразования.

5.1.1 Площадь испарения и расчетные коэффициенты

При расчете влаговыделений в залах с ваннами бассейна в качестве площади зеркала воды A_B , м² (см. 5.1.2), принимают используемую площадь зеркала воды ванны за вычетом частичного его укрытия.

При расчете влаговыделений следует учитывать:

- влаговыделения с переливных желобов;
- влаговыделения с обходных дорожек.

Значения интенсивности влаговыделений (скорости испарения) с зеркала воды приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Интенсивность влаговыделений

Тип плавательного бассейна	Интенсивность влаговыделений, м/ч	
	в нерабочее время β_u	в рабочее время β_b
С дополнительным укрытием зеркала воды в нерабочее время	0,7	–
Частный	7	21
Общественный:		
– глубина менее 1,35 м	7	28
– глубина более 1,35 м	7	40
– с установками волнообразования	7	50
– водяные горки и площадки под водяными горками	7	50

При проектировании систем кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в плавательных бассейнах рекреационного типа с водными аттракционами необходимо учитывать дополнительные влаговыделения с учетом количества и степени использования этих аттракционов (пункт 5.1.4).

5.1.2 Влаговыделения с зеркала воды

Влаговыделения с зеркала воды в рабочее (нерабочее) время $M_{D.B.b(u)}$, кг/ч, рассчитывают в предположении стационарности процесса испарения по формуле

ложении стационарности процесса испарения по формуле

$$M_{D.B.b(u)} = \frac{\beta_{b(u)}}{R_D T} (p_{D.W} - p_{D.L}) A_B, \quad (1)$$

где $\beta_{b(u)}$ – интенсивность влаговыделений (скорость испарения) в рабочее (нерабочее) время, м/ч; определяют по таблице 4;

R_D – газовая постоянная, Дж/(кг·К); для водяного пара принимают $R_D = 461,52$ Дж/(кг·К);

T – среднее арифметическое температур воды t_w и воздуха t_r , К;

$p_{D.W}$ – давление водяных паров насыщенного воздуха при температуре воздуха, равной заданной температуре воды, Па; принимают по таблице 5;

$p_{D.L}$ – парциальное давление водяных паров при заданных температуре и относительной влажности воздуха в зале с ваннами бассейна, Па; определяют по формуле

$$p_{D.L} = \frac{\varphi p_{D.W}}{100 \%}, \quad (2)$$

где φ – относительная влажность воздуха, %;

A_B – площадь зеркала воды, м².

Таблица 5 – Давление водяных паров насыщенного воздуха

t_w , °C	$p_{D.W}$, Па	t_w , °C	$p_{D.W}$, Па	t_w , °C	$p_{D.W}$, Па
15	1 705	21	2 488	27	3 567
16	1 817	22	2 644	28	3 782
17	1 937	23	2 809	29	4 005
18	2 064	24	2 984	30	4 246
19	2 197	25	3 168	31	4 492
20	2 338	26	3 363	32	4 755

Для проверки полученного значения используют эмпирическую формулу Бязина – Крумме. Для рабочего времени плавательного бассейна влаговыделения с зеркала воды $M_{D.B.b}$, кг/ч, вычисляют по формуле

$$M_{D.B.b} = \left(0,118 + 0,01995a \frac{p_{D.W} - p_{D.L}}{133,3} \right) A_B, \quad (3)$$

где a – коэффициент занятости плавательного бассейна людьми; принимают $a = 0,3$ – для небольших частных плавательных бассейнов; $a = 0,4$ – для небольших общественных плавательных бассейнов; $a = 0,5$ – для больших общественных плавательных бассейнов;

$p_{D.W}$, $p_{D.L}$, A_B – то же, что в формуле (1).

Для нерабочего времени плавательного бассейна влаговыделения с зеркала воды $M_{D.B.u}$, кг/ч, вычисляют по формуле

$$M_{D.B.U} = \left(-0,059 + 0,0105 \frac{P_{D.W} - P_{D.L}}{133,3} \right) A_B, \quad (4)$$

где $P_{D.W}$, $P_{D.L}$, A_B – то же, что в формуле (1).

5.1.3 Влаговыделения с обходных дорожек

Площадь смоченной части составляет от 20 % до 40 % от всей площади обходных дорожек. Если данные о площади пола вокруг ванны бассейна отсутствуют, то принимают, что пол увлажняется по периметру ванны на расстоянии 1,5–2,0 м от ее края. Влаговыделения с обходных дорожек $M_{D.p}$, кг/ч, рассчитывают по формуле

$$M_{D.p} = 0,006(t_R - t_{WB})A_p, \quad (5)$$

где t_R – температура воздуха в помещении по сухому термометру, °С;

t_{WB} – температура воздуха в помещении по мокрому термометру, °С; определяют по *i-d*-диаграмме;

A_p – площадь влажной поверхности вокруг ванны бассейна, м².

5.1.4 Влаговыделения при работе водных аттракционов

5.1.4.1 Коэффициент интенсивности влаговыделений (для рабочего времени)

В плавательных бассейнах с аттракционами волны от посетителей накладываются на волны от аттракционов. Это наложение ведет к значительному усилению интенсивности влаговыделений β_b (таблица 4) на $\Delta\beta_A$. Увеличение интенсивности влаговыделений $\Delta\beta_A$ определяют по графику, изображенному на рисунке б, в зависимости от коэффициента усиления волн (таблица 6) путем сложения коэффициен-

тов усиления волн от всех водных аттракционов, работающих одновременно.

Для плавательных бассейнов с неодновременным использованием аттракционов за основной принимают аттракцион (или группу аттракционов) с максимальным значением $\Delta\beta_{A,max}$, которое используют для дальнейших расчетов.

Таблица 6 – Коэффициент усиления волн

Аттракцион	Коэффициент усиления волн, условные единицы
Водяная горка-труба	30
Устройство противотока	20
Массажер для шеи	6
Подводные струи	4
Фонтан	3
Гейзер	3
Детская горка*	3

* При длине до 10 м.

Суммарное значение интенсивности влаговыделений от ванны бассейна с аттракционами $\beta_{b,ges}$, м/ч, определяют по формуле

$$\beta_{b,ges} = \beta_b + \Delta\beta_{A,max}, \quad (6)$$

где β_b – то же, что в формуле (1);

$\Delta\beta_{A,max}$ – максимальное увеличение интенсивности влаговыделений от основного аттракциона или группы аттракционов, м/ч; определяют по рисунку б.

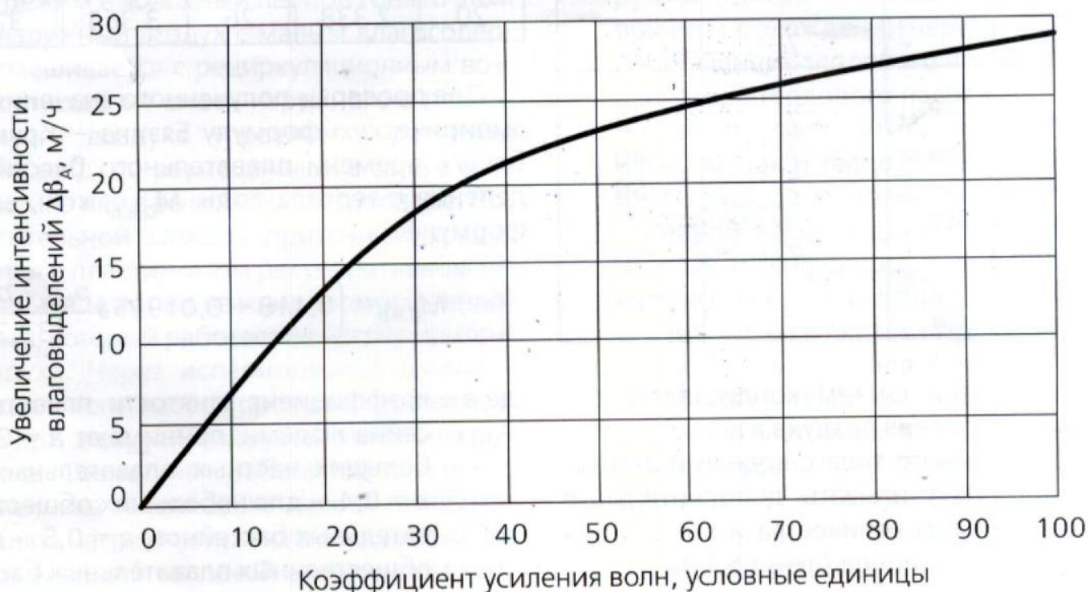


Рисунок б – Влияние воздействия водных аттракционов на увеличение интенсивности влаговыделений

5.1.4.2 Влаговыведения в зале с ваннами бассейна (для рабочего времени)

Суммарные влаговыведения в зале с ваннами бассейна с аттракционами и водяной горкой-трубой $M_{D,B+A,b}$, кг/ч, определяют по формуле

$$M_{D,B+A,b} = \frac{\beta_{b,ges}}{R_D T} (p_{D,W} - p_{D,L}) A_B, \quad (7)$$

где $\beta_{b,ges}$ – то же, что в формуле (6);
 R_D , T , $p_{D,W}$, $p_{D,L}$, A_B – то же, что в формуле (1).

5.1.4.3 Влаговыведения для открытых водяных горок

Влаговыведения для открытых водяных горок $M_{D,A}$, кг/ч, определяют по формуле

$$M_{D,A} = \frac{\beta_b}{R_D T} (p_{D,W} - p_{D,L}) L_A B_A, \quad (8)$$

где β_b , R_D , T , $p_{D,W}$, $p_{D,L}$ – то же, что в формуле (1);
 L_A – длина водного потока, м;
 B_A – ширина водного потока, м.

5.2 Расчет расхода наружного воздуха

Массовый расход наружного воздуха, необходимый для ассимиляции влаги, выделяющейся в зале с ваннами бассейна, $M_{A,S}$, кг/ч, определяют по формуле

$$M_{A,S} = \frac{M_{D,B+A,b} + M_{D,A}}{x_{D,L} - x_{D,A}} \cdot 10^3, \quad (9)$$

где $M_{D,B+A,b}$ – то же, что в формуле (7);
 $M_{D,A}$ – то же, что в формуле (8);
 $x_{D,L}$ – влажосодержание в зале с ваннами бассейна, г/кг;

$x_{D,A}$ – влажосодержание наружного воздуха, г/кг; находят с помощью закона Дальтона через парциальное давление водяного пара по формуле

$$x_{D,A} = 0,622 \frac{p_{D,A}}{p_B - p_{D,A}} \cdot 10^3, \quad (10)$$

где $p_{D,A}$ – парциальное давление водяного пара в наружном воздухе, Па; данные о среднемесячном парциальном давлении водяного пара для климатических зон субъектов РФ принимают согласно СНиП 23-01-99* (таблица 5а);

p_B – барометрическое давление, Па.

Расход наружного воздуха не может быть меньше санитарной нормы в соответствии со СНиП 41-01-2003 (приложение Л). Согласно СП 31-113-2004 удельный расход приточного воздуха должен быть не менее 80 м³/ч на пловца и 20 м³/ч на зрителя.

Пример 5.1 – Расчет системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха частного плавательного бассейна

Исходные данные

Рассматривается система кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха частного плавательного бассейна со спа-зоной, расположенного в Москве (рисунок 7).

Размеры ванн $A_{B1} = 10 \times 20 \text{ м} = 200 \text{ м}^2$ и $A_{B2} = 2,5 \times 4 \text{ м} = 10 \text{ м}^2$. В соответствии со СНиП 23-01-99* (таблицы 2 и 3) среднесуточные параметры наружного воздуха в теплый период года принимаем

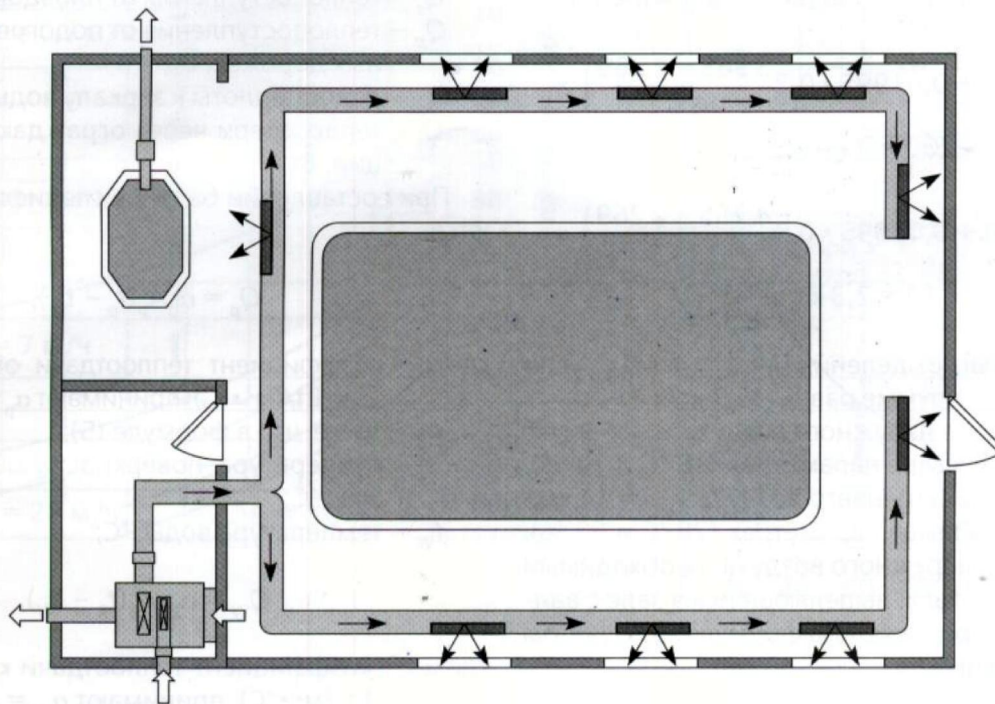


Рисунок 7 – Система кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха частного плавательного бассейна

18 °С и 70 %, температура воды в большой ванне бассейна $t_{w1} = 26$ °С и в малой $t_{w2} = 32$ °С. Необходимо поддерживать температуру воздуха в помещении $t_R = 28$ °С и относительную влажность $\varphi = 60$ %. Санитарная норма приточного воздуха для 10 посетителей составляет 800 м³/ч.

Порядок расчета

В частном плавательном бассейне увлажнение обходных дорожек если и происходит, то редко, поэтому влаговыделениями с поверхности пола в данном случае можно пренебречь. После расчета количества наружного воздуха для поддержания требуемого уровня влажности полученное значение сравнивают с расходом воздуха по санитарным нормам и выбирают большее значение.

В соответствии с таблицей 4 принимают значение $\beta_b = 21$ м/ч. Пользуясь *i-d*-диаграммой при заданных исходных параметрах, определяют давление водяных паров насыщенного воздуха $p_{D,W} = 3\,363$ Па. Парциальное давление водяных паров при заданных параметрах воздуха в зале с ваннами бассейна $p_{D,L} = 2\,269$ Па.

Влаговыделения с зеркала воды большой $M_{D.B.b.1}$ и малой $M_{D.B.b.2}$ ванн бассейна определяют по формуле (1):

$$M_{D.B.b.1} = \frac{21}{461,52 \cdot 300} (3\,363 - 2\,269) \cdot 200 = 33,2 \text{ кг/ч};$$

$$M_{D.B.b.2} = \frac{21}{461,52 \cdot 303} (4\,755 - 2\,269) \cdot 10 = 3,7 \text{ кг/ч}.$$

Суммарные влаговыделения с поверхности воды ($M_{D.B.b.1} + M_{D.B.b.2}$) составляют 36,9 кг/ч.

Проверочный расчет проводят по формуле (3):

$$M_{D.B.b.1} = \left(0,118 + 0,01995 \cdot 0,3 \frac{3\,363 - 2\,269}{133,3} \right) \times 200 = 33,4 \text{ кг/ч};$$

$$M_{D.B.b.2} = \left(0,118 + 0,01995 \cdot 0,3 \frac{4\,755 - 2\,269}{133,3} \right) \times 10 = 2,3 \text{ кг/ч}.$$

Суммарные влаговыделения ($M_{D.B.b.1} + M_{D.B.b.2}$) по формуле Бязина – Крумме равны 35,7 кг/ч.

Влагосодержание наружного воздуха $x_{D,A} = 9$ г/кг при обозначенных выше параметрах (18 °С и 70 %). Влагосодержание внутреннего воздуха $x_{D,L} = 14$ г/кг при обозначенных выше параметрах (28 °С и 60 %). Массовый расход наружного воздуха, необходимый для ассимиляции влаги, выделяющейся в зале с ваннами бассейна, определяют по формуле (9) с учетом отсутствия аттракционов:

$$M_{A,S} = \frac{36,9}{14 - 9} \cdot 10^3 = 7\,380 \text{ кг/ч}.$$

С учетом плотности воздуха 1,19 кг/м³ объемный расход составит $7\,380/1,19 = 6\,200$ м³/ч. Для быстрой оценки объема влаговыделений и необходимого расхода воздуха можно воспользоваться номограммой на рисунке 8. Пунктирная линия соответствует большой ванне бассейна с температурой воды 26 °С (рисунок 8а). Интенсивность влаговыделений для частных плавательных бассейнов $\beta_b = 21$ м/ч (рисунок 8в). По графику рисунка 8г определяют расход наружного воздуха 28 м³/ч на м². Штрихпунктирная линия соответствует малой ванне бассейна с температурой воды 32 °С. По графику рисунка 8г определяют расход наружного воздуха 60 м³/ч на м². Суммарный расход приточного воздуха, необходимый для ассимиляции влаги, в соответствии с построением на номограмме составит

$$L = 28 \cdot 200 + 60 \cdot 10 = 6\,200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Рассмотренная система кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха будет обеспечивать санитарные нормы и требуемый уровень влажности при расходе наружного воздуха 6 200 м³/ч.

Для построения диаграммы необходимо составить тепловой баланс в помещении. Принимают, что при температуре наружного воздуха 18 °С поступления явной теплоты компенсируются равным количеством потерь теплоты:

$$\sum Q = Q_1 + Q_i + Q_s + Q_p - Q_w - Q_t = 0, \quad (11)$$

где Q_1 – тепlopоступления от освещения, Вт;
 Q_i – тепlopоступления от солнечной радиации, Вт;
 Q_s – тепlopоступления от пловцов, Вт;
 Q_p – тепlopоступления от подогреваемых обходных дорожек, Вт;
 Q_w – отвод теплоты к зеркалу воды, Вт;
 Q_t – тепlopотери через ограждающие конструкции, Вт.

При составлении баланса специфическими являются

$$Q_p = \alpha_p A_p (t_p - t_w), \quad (12)$$

где α_p – коэффициент теплоотдачи обходных дорожек, Вт/(м²·°С); принимают $\alpha_p = 10$ Вт/(м²·°С);
 A_p – то же, что в формуле (5);
 t_p – температура поверхности обходных дорожек, °С;
 t_w – температура воды, °С;

$$Q_w = \alpha_w A_B (t_R - t_w), \quad (13)$$

где α_w – коэффициент теплоотдачи к зеркалу воды, Вт/(м²·°С); принимают $\alpha_w = 4$ Вт/(м²·°С);
 A_B – то же, что в формуле (1);
 t_R – то же, что в формуле (5);
 t_w – то же, что в формуле (12).

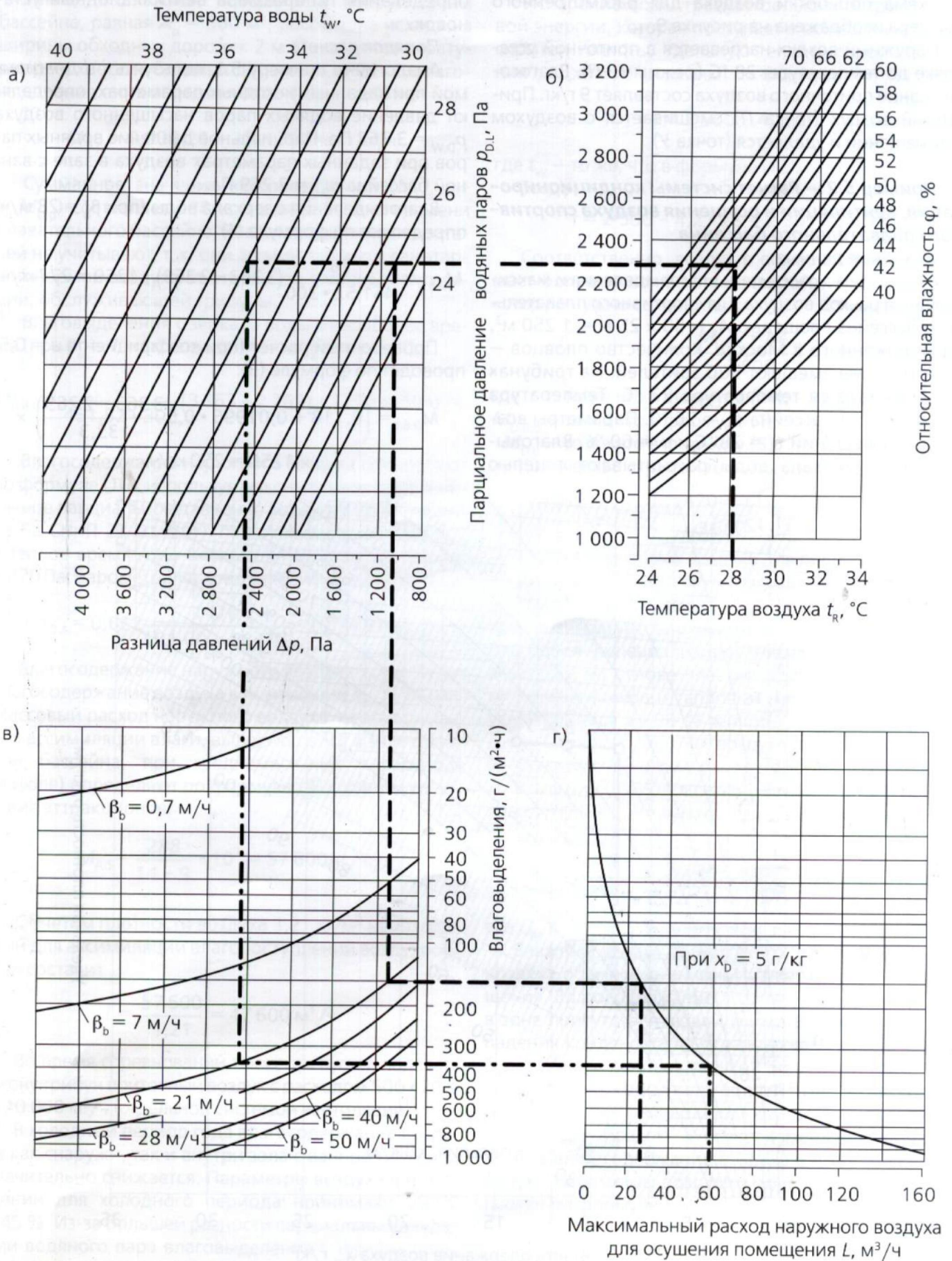


Рисунок 8 – Определение расхода наружного воздуха для осушения помещения при $x_D = 5$ г/кг

Схема обработки воздуха для рассмотренного примера изображена на рисунке 9.

Наружный воздух нагревается в приточной установке до температуры 28 °С (режим Н–П). Влажность приточного воздуха составляет 9 г/кг. Приточный воздух (точка П) смешивается с воздухом в помещении и удаляется (точка У).

Пример 5.2 – Расчет системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха спортивного плавательного бассейна

Исходные данные

Необходимо рассчитать влаговыведения и максимальный расход воздуха для спортивного плавательного бассейна площадью $A_B = 50 \times 25 \text{ м} = 1\,250 \text{ м}^2$, расположенного в Москве. Количество пловцов – 150. Трибуны вмещают 500 зрителей. На трибунах поддерживается температура 22 °С. Температура воды в ванне бассейна $t_W = 26 \text{ °С}$. Параметры воздуха в помещении $t_R = 28 \text{ °С}$ и $\phi = 60 \%$. Влаговыведения с зеркала воды рассчитывают с целью

определения типоразмера вентиляционных установок.

Порядок расчета

Аналогично примеру 5.1, пользуясь *i-d*-диаграммой при заданных исходных параметрах, определяют давление водяных паров насыщенного воздуха $p_{D,W} = 3\,363 \text{ Па}$. Парциальное давление водяных паров при заданных параметрах воздуха в зале с ванной бассейна $p_{D,L} = 2\,269 \text{ Па}$.

Влаговыведения с зеркала воды (при $\beta_b = 28 \text{ м/ч}$) определяют по формуле (1):

$$M_{D.B.b} = \frac{28}{461,52 \cdot 300} (3\,363 - 2\,269) \cdot 1250 = 277 \text{ кг/ч.}$$

Проверочный расчет (при коэффициенте $a = 0,5$) проводят по формуле (3):

$$M_{D.B.b} = \left(0,118 + 0,01995 \cdot 0,5 \frac{3\,363 - 2\,269}{133,3} \right) \times 1250 = 250 \text{ кг/ч.}$$

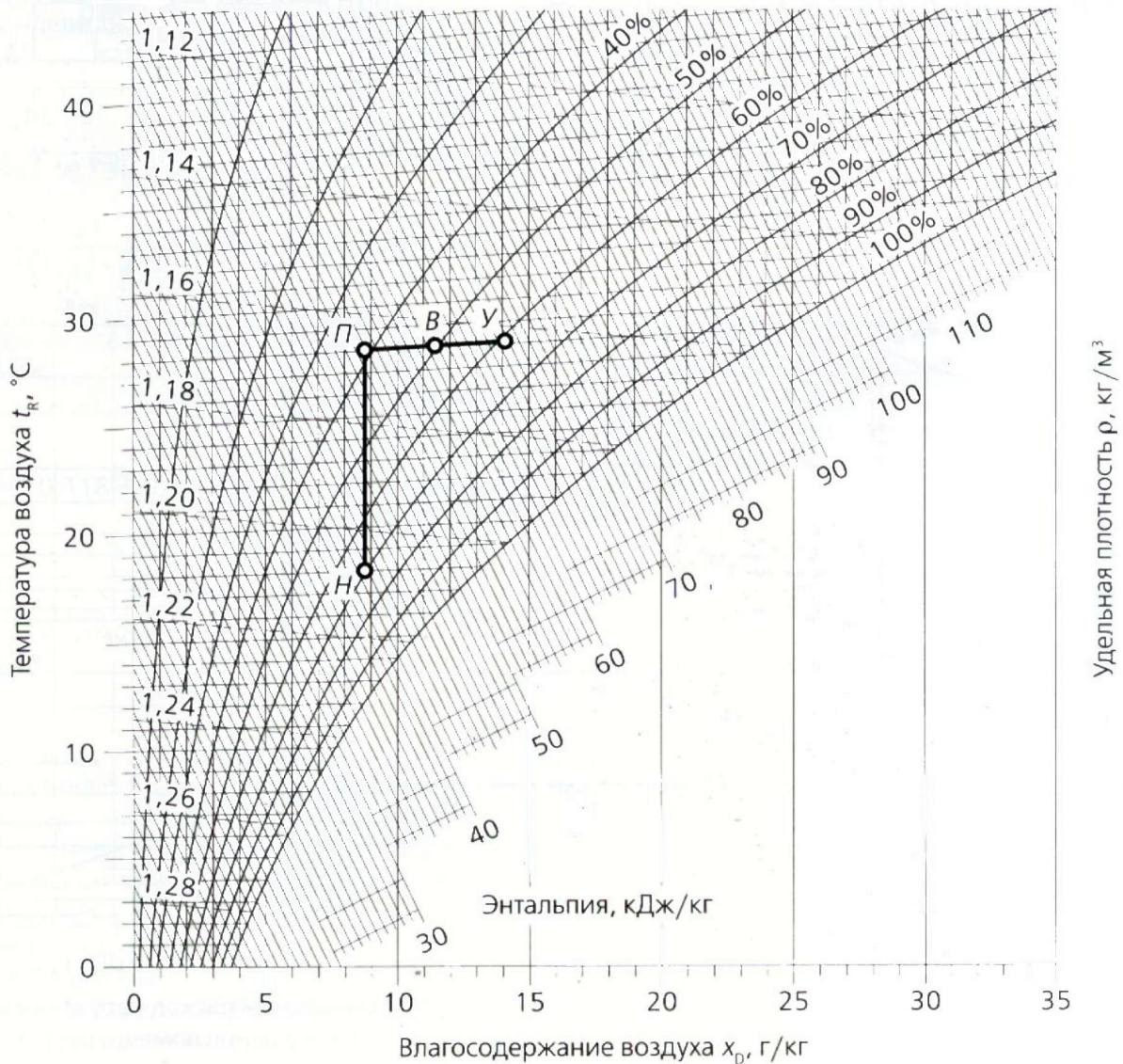


Рисунок 9 – Режимы работы вентиляционной установки в теплый период года: Н–П – нагрев приточного воздуха; П–В – поглощение влаги приточным воздухом в зоне ванны; В–У – увлажнение и удаление воздуха

Площадь влажной поверхности вокруг ванны бассейна, равная $A_p = 300 \text{ м}^2$, рассчитана исходя из ширины обходных дорожек 2 м. Полагая температуру поверхности обходных дорожек $t_p = 22 \text{ °С}$, влаговыделения с них определяют по формуле (5):

$$M_{D,p} = 0,006(28 - 22) \cdot 300 = 11 \text{ кг/ч.}$$

Суммарное значение влаговыделений ($M_{D,B,b} + M_{D,p}$) составляет 288 кг/ч для рабочего времени плавательного бассейна. Влагопоступления от зрителей не учитывают, т. к. они ассимилируются санитарной нормой воздуха от отдельной системы вентиляции, обслуживающей трибуны.

Влаговыделения с зеркала воды в нерабочее время (при $\beta_u = 7 \text{ м/ч}$) определяют по формуле (1):

$$M_{D,B,u} = \frac{7}{461,52 \cdot 300} (3363 - 2269) \cdot 1250 = 69 \text{ кг/ч.}$$

Влагосодержание наружного воздуха определяют по формуле (10), используя максимальное среднемесячное парциальное давление водяного пара (таблица 5а СНиП 23-01-99*): парциальное давление $p_{D,A}$ в теплое время года (июль) для Москвы составляет 1470 Па; барометрическое давление $p_b = 101\,000 \text{ Па}$:

$$x_{D,A} = 0,622 \frac{1470}{101\,000 - 1470} \cdot 10^3 = 9 \text{ г/кг.}$$

Влагосодержание наружного воздуха $x_{D,A} = 9 \text{ г/кг}$, влагосодержание воздуха в помещении $x_{D,L} = 14 \text{ г/кг}$. Массовый расход наружного воздуха, необходимый для ассимиляции влаги, выделяющейся в зале с ванной бассейна, при среднемесячных параметрах (в июле) определяют по формуле (9) с учетом отсутствия аттракционов:

$$M_{A,S} = \frac{288}{14 - 9} \cdot 10^3 = 57\,600 \text{ кг/ч.}$$

С учетом плотности воздуха $1,21 \text{ кг/м}^3$ необходимый для ассимиляции влагопоступлений воздухообмен составит

$$L = \frac{57\,600}{1,21} = 47\,600 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Во время соревнований также требуется подавать в зону трибун приточный воздух с расходом $500 \cdot 20 = 10\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (отдельной системой вентиляции).

В холодный период года влагосодержание воздуха как снаружи, так и внутри зала с ванной бассейна значительно снижается. Параметры воздуха в помещении для холодного периода принимают 28 °С и 45 %. Из-за большей разности парциальных давлений водяного пара влаговыделения с зеркала воды увеличиваются (формула (1)):

$$M_{D,B,b} = \frac{28}{461,52 \cdot 300} (3363 - 1700) \cdot 1250 = 420 \text{ кг/ч.}$$

Испарение воды требует больших затрат тепловой энергии, которая поступает в помещение в виде скрытой теплоты. Удельную теплоту парообразования r , кДж/кг, определяют по формуле

$$r = 2\,500 - 4,2t_w, \quad (14)$$

где t_w – то же, что в формуле (12).

Тогда

$$r = 2\,500 - 4,2 \cdot 26 = 2\,391 \text{ кДж/кг.}$$

Соответственно, воздух в помещении воспринимает большое количество скрытой теплоты Q_L , кВт, которую нужно сохранить:

$$Q_L = r \frac{M_{D,B,b} + M_{D,p}}{3\,600}, \quad (15)$$

где r – то же что в формуле (14);

$M_{D,B,b}$ – то же что в формуле (1);

$M_{D,p}$ – то же что в формуле (5).

Количество скрытой теплоты составит

$$Q_L = 2\,391 \frac{420 + 11}{3\,600} = 286 \text{ кВт.}$$

Санитарная норма воздуха для пловцов составляет $150 \cdot 80 = 12\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Нагрев такого количества воздуха требует подвода 200 кВт тепловой энергии при температуре наружного воздуха минус 28 °С . Благодаря специализированным осушительным агрегатам на основе пластинчатых рекуперативных теплообменников и тепловых насосов (рисунок 10) утилизируется до 80 % теплоты из удаляемого воздуха. Схема обработки воздуха в зимний период изображена на $i-d$ -диаграмме (рисунок 11).

В зимний период в баланс явной теплоты добавляется теплота, поступающая от системы отопления, Q_h , Вт:

$$\sum Q = Q_h + Q_l + Q_i + Q_s + Q_p - Q_w - Q_t = 0, \quad (16)$$

где Q_l , Q_i , Q_s , Q_p , Q_w , Q_t – то же, что в формуле (11).

Влажный воздух легче сухого, поэтому удаление воздуха обычно организуют из верхней зоны помещения. Влагосодержание в точке У будет выше, чем в зоне присутствия людей (точка В). Отсутствие выпадения конденсата на ограждающих конструкциях будет обеспечиваться только при условии, что температура точки росы под кровлей будет на несколько градусов ниже температуры внутренних поверхностей. Таким образом, зимой рекомендуется поддерживать влагосодержание воздуха в точке У не выше 13 г/кг. Параметры воздуха в зоне вытяжки рассчитывают по формуле

$$x_y = x_B + k(x_B - x_{\Pi}), \quad (17)$$

где x_y , x_B , x_{Π} – влагосодержание в точках У, П, В, г/кг;
 k – коэффициент эффективности воздухообмена.

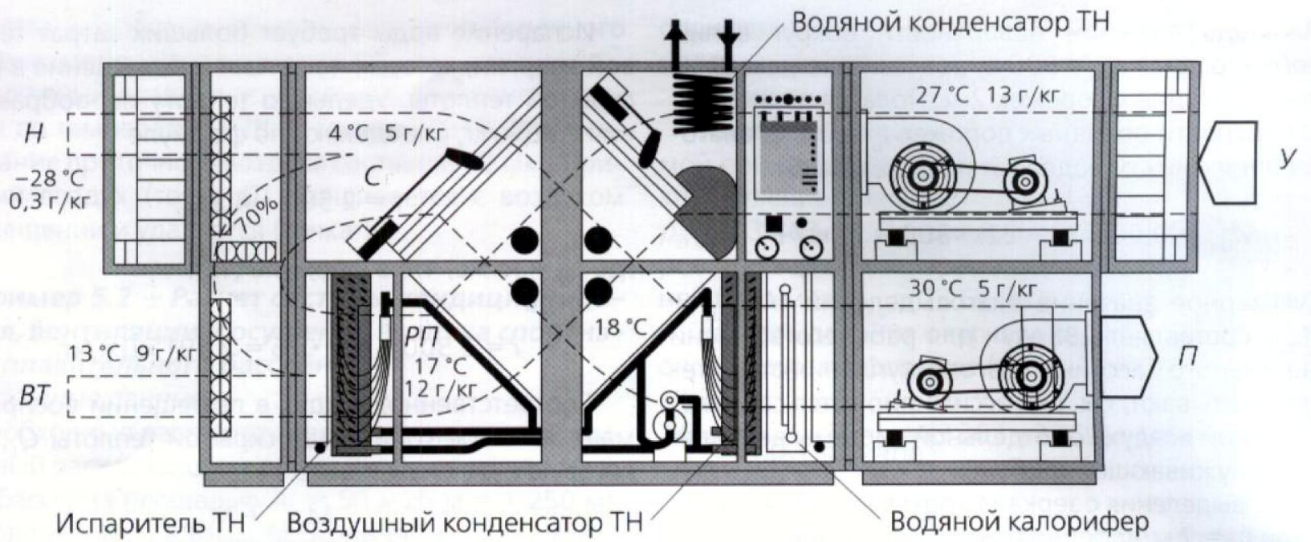


Рисунок 10 – Принцип работы вентиляционной установки на основе теплового насоса (ТН) в рабочее время

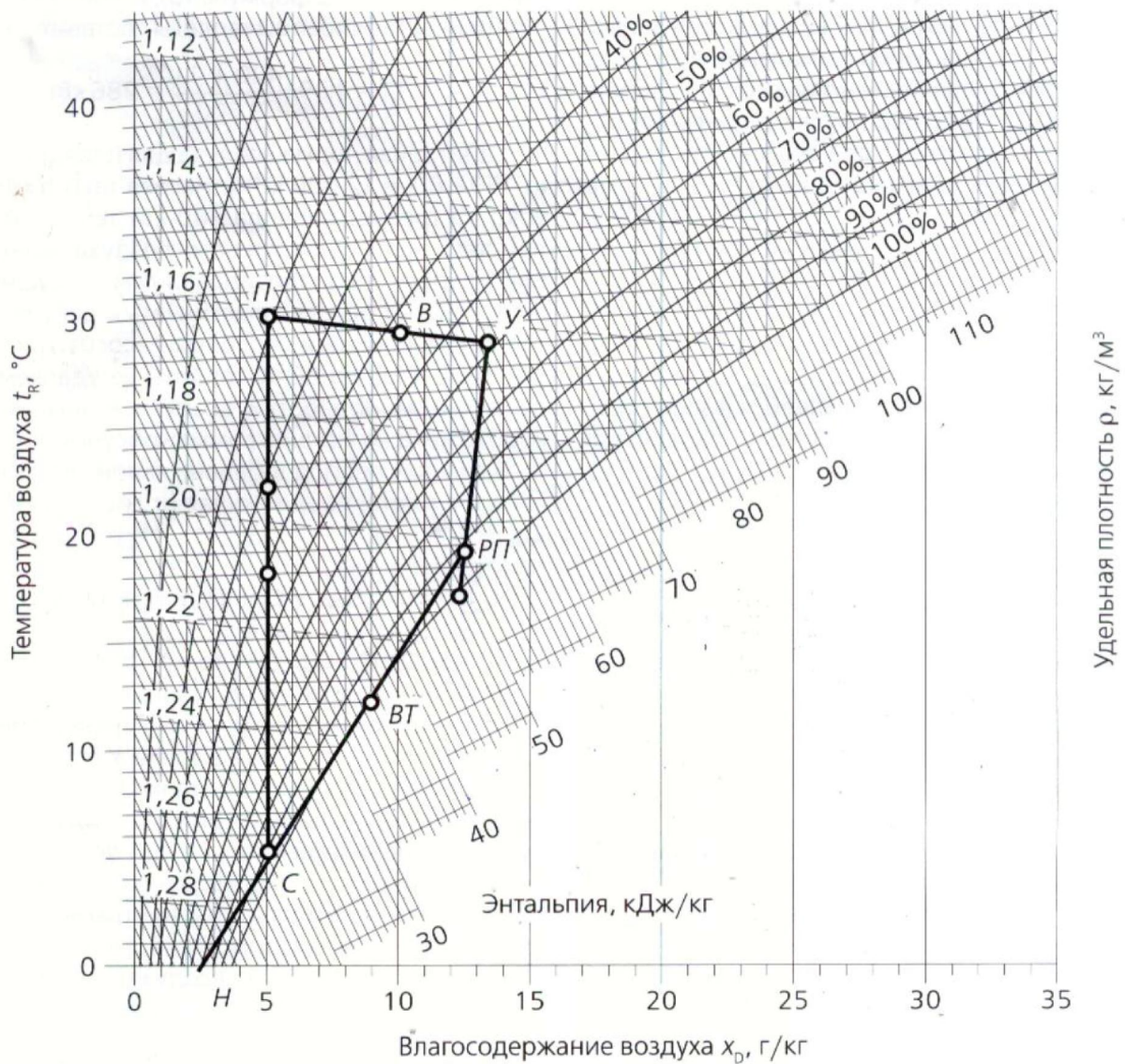


Рисунок 11 – Режимы работы вентиляционной установки на основе теплового насоса в рабочее время: С–П – нагрев приточного воздуха; П–В–У – поглощение влаговывделений приточным воздухом по высоте помещения; У–РП – утилизация теплоты в пластинчатом рекуператоре; РП–ВТ – рекуперация теплоты вытяжного воздуха

Для схемы системы кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха, в которой приточный воздух подается сверху сосредоточенными струями и удаляется под потолком, $k = 0,5$:

$$x_y = 10 + 0,5(10 - 5) = 12,5 \text{ г/кг.}$$

5.3 Расчет термического сопротивления наружных ограждающих конструкций бассейна

Расчет термического сопротивления наружных ограждающих конструкций бассейна выполняют с отдельным учетом лучистого и конвективного теплообмена, поскольку температура воды в бассейне существенно отличается от температуры внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций.

Термическое сопротивление наружных ограждающих конструкций бассейна R , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяют по формуле

$$R = \frac{t_R^* - t_{\text{ext}}}{\alpha_{\text{int}}^* \Delta t}, \quad (18)$$

где t_R^* – условная температура внутреннего воздуха, °C ; рассчитывают по формуле

$$t_R^* = \frac{\alpha_c t_R - \alpha_r t_c}{\alpha_c + \alpha_r}, \quad (19)$$

где α_c – коэффициент конвективного теплообмена между внутренней поверхностью наружной ограждающей конструкции и воздухом в помещении, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; при отсутствии струйных течений принимают $\alpha_c = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

t_R – то же, что в формуле (5);

α_r – коэффициент лучистого теплообмена между внутренней поверхностью наружной ограждающей конструкции и окружающими поверхностями, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; при отсутствии данных принимают $\alpha_r = 4,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

t_c – температура поверхностей, окружающих наружную поверхность, в том числе воды, °C ; рассчитывают по формуле

$$t_c = \frac{\sum t_i F_i}{\sum F_i}, \quad (20)$$

где t_i , F_i – соответственно температура, °C , и площадь, м^2 , поверхностей, окружающих наружную поверхность, в том числе температура и площадь зеркала воды;

t_{ext}^* – расчетная температура наружного воздуха, °C ;
 α_{int}^* – условный коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; определяют по формуле

$$\alpha_{\text{int}}^* = \alpha_c + \alpha_r, \quad (21)$$

где α_c , α_r – то же, что в формуле (19);

Δt – перепад между условной температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C ; рассчитывают по формуле

$$\Delta t = t_R^* - t_{\text{int}}, \quad (22)$$

где t_R^* – то же, что в формуле (19);

t_{int} – температура внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C ; определяют по формуле

$$t_{\text{int}} = t_R - \Delta t^n, \quad (23)$$

где t_R – то же, что в формуле (5);

Δt^n – нормируемый перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C .

Библиография

[1] Федеральный закон РФ от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ

[2] Verein Deutscher Ingenieure VDI 2089-1-2005
[3] Verein Deutscher Ingenieure VDI 2089-2-2005

Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации
Building services in swimming baths. P. 1. Indoor pools
Building services in swimming baths. P. 2. Efficient use of energy and water