

Особенности расчета воздухообменов в общественных зданиях и сооружениях

Е.В. Куц, А.А. Андреев, Д.Р. Шарипов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Обустройство защитных сооружений гражданской обороны является в настоящее время жизненно необходимым особенно для населенных пунктов, находящихся вблизи зоны проведения боевых действий. Актуальным вопросом проектирования убежищ является корректное определение объемов воздухообменов, необходимых для обеспечения пребывания укрываемых в течение нормативных сроков. Проведен анализ изменения параметров климата и микроклимата за прошедшие годы и методов расчета воздухообменов в защитных сооружениях. Построена классическая модель процесса изменения температуры и влажности воздуха с изменяемым коэффициентом наклона луча такого процесса. Показана избыточность воздухообменов, вычисленных по данным и методикам последнего нормативного документа, приводящая к увеличению капитальных затрат на обустройство убежища.

Ключевые слова: воздухообмены, убежища гражданской обороны, климатические параметры, микроклимат в помещениях, графо-математическая модель воздухообмена.

В настоящее время особое место в градостроительной отрасли занимают вопросы, касающиеся повышения инженерной защиты населения от воздействия поражающих факторов конвенционального оружия. В этой связи необходимо не только провести обследование существующих защитных сооружений гражданской обороны (ЗСГО), с последующим приведением их в надлежащее состояние, но и выпустить проектную документацию на дооборудование и приспособление существующих подвалов и технических подполий к функциям ЗСГО. В качестве перспективных защитных сооружений следует считать и подземные автостоянки. При этом необходимо оценить возможность обеспечения укрываемых системами жизнеобеспечения, в частности системами воздушноснабжения, т. е. вентиляции.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха в общественных зданиях приходится учитывать, как его нагревание

вследствие тепловыделений людей и оборудования, так и увлажнение из-за поступления водяного пара от тех же источников. Задача ассимиляции теплоты и влагоизбытков решается подачей и удалением из конкретных помещений воздуха в количестве, определяемом путем построения на известной $i-d$ диаграмме графика модельного процесса. Алгоритм построения такой: нанесение точки начального состояния воздуха (t, φ) поступающего в помещение на $i-d$ диаграмму; вычисление углового коэффициента $\varepsilon = Q_{\text{изб}}/G_{\text{п}} \cdot 10^{-3}$, определяющего наклон линии процесса изменения состояния воздуха в помещении; проведение той линии от начальной точки до пересечения с максимальным нормативным значением температуры воздуха в помещении, т. е. параметром удаляемого воздуха. Количество воздуха потребного для ассимиляции тепла и влаги определяется величиной теплоизбытков (влагоизбытков) деленной на разницу энтальпий (влажностей) приточного и уходящего воздуха [1 – 3].

Система вентиляции убежища имеет свои особенности. Она проектируется в основном в двух режимах: первый режим – это режим «чистой вентиляции», при котором в наружном воздухе отсутствуют отравляющие вещества, аэрозоли, бактериальные средства поражения и происходит только очистка в ячейковых фильтрах типа ФЯР от пыли. Второй режим «фильтровентиляции» должен уже обеспечить дополнительную очистку от вышеуказанных вредностей. Такие режимы обеспечиваются упрощенным фильтровентиляционным оборудованием (фильтры ФЯР, предфильтры типа ПФП, фильтры-поглотители ФПУ). Третий режим «полной изоляции» предполагает дополнительное рафинирование наружного воздуха от такого опасного продукта сгорания как окись углерода. Также имеется система регенерации углекислого газа и обогащения кислородом внутреннего воздуха. Этот режим, как правило, рассматривается только в зонах возможных сильных пожаров в совокупности с химическим

заражением, например, на нефтеперерабатывающих предприятиях. В дальнейшем в статье рассматриваются только первые два режима, срок пребывания в которых составляет соответственно двое суток и 12 часов.

Мощность вентиляционных систем определяется тем количеством наружного воздуха, которое необходимо для купирования таких вредностей, выделяющихся в замкнутом пространстве, заполненном большим количеством людей ($0,5 \div 1,0$ чел/м²), как тепло- и влаговыделения в совокупности с экскрецией углекислого газа. Производительность вентиляционного оборудования также зависит от предельных значений параметров микроклимата помещений для укрываемых. В нашем случае это температура внутреннего воздуха и концентрация CO_2 , при которых не наблюдалось бы ощутимых отрицательных последствий для здоровья людей.

С другой стороны, наружный воздух, подаваемый в помещение не проходит никакой тепловлажностной обработки и имеет годовую метеорологию в широком диапазоне. Если в зимний и переходный периоды он обладает значительным потенциалом компенсирования теплоизбытков от укрываемых, то в самые жаркие месяцы этот потенциал существенно сокращается. В связи с вышеизложенным становится актуальным вопрос об определении требуемых воздухообменов в ЗСГО по 1-ому и 2-ому режимам пребывания при предельных параметрах внутреннего и наружного воздуха.

Методологической основой исследования является графоматематическое моделирование процесса изменения параметров внутреннего воздуха в замкнутом пространстве при значительном количестве укрываемых в ЗСГО. Задачей, решаемой этой работой является разработка метода уточненного расчета воздухообмена в убежищах системы гражданской обороны.

Нормативы воздухообменов в бомбоубежищах были определены еще в военные годы (ГОСТ 2338-43 «Убежища 2-й категории. Нормы и

технические условия»). Так при воздушной тревоге и нормативной вместимости в 150 человек подача воздуха на одного человека принималась равной 5 м³/ч (при использовании вентиляторов с электроприводом). При «химической» тревоге норма уменьшалась до 1 м³/ч (при ручном приводе вентоборудования) и 2 м³/ч при электроприводе вентиляторов.

В учебном пособии 1947 года [4] эти нормативные значения приводятся без изменений. Работы иностранных авторов [5-7] содержат не только рекомендации по устройству подземных сооружений, но и минимальные значения расходов воздуха на одного человека (1,2 м³/ч).

В начале 70-х годов в строительных нормах СН 405-70 «Указания по проектированию убежищ гражданской обороны» появляется градация климатических зон по параметрам «А» наружного воздуха. Для каждой зоны приводится количество подаваемого в убежище воздуха по 1-ому режиму (табл.1). По 2-ому режиму для 1 и 2 зон – 2 м³/ч·чел. Для 3 и 4 зон эта величина равна 5 м³/ч·чел.

Таблица №1

Удельный расход воздуха (1-й режим)

Номер зоны	Параметры «А» наружного воздуха		Количество подаваемого воздуха, м ³ /ч·чел
	Температура, °С	Теплосодержание, ккал/кг	
1	до 20	до 10,5	7
2	20-25	10,5-12,5	10
3	25-30	12,5-14	14
4	более 30	более 14	20

Там же приводятся расчетные количества выделяемого людьми тепла – 100 ккал/ч, влаги 80 г/ч·чел. За расчетную внутреннюю температуру воздуха следует принимать 28÷30°С (для 3-4 зон).

Приведённые в таблице №1 параметры «А» относятся к показателям наружного воздуха, применяемых для проектирования систем вентиляции и

кондиционирования воздуха, так, например, для г. Санкт-Петербурга они составляли по СНиП 2.04.05-86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» $t_{н}=20,6^{\circ}\text{C}$; $i_{н}=48,1$ кДж/кг; для г. Сочи $t_{н}=25,9^{\circ}\text{C}$; $i_{н}=66,2$ кДж/кг. Эти города примем в качестве моделей-представителей климатических зон. Более жесткие значения «Б» определены для г. Санкт-Петербурга: $t_{н}=24,8^{\circ}\text{C}$; $i_{н}=51,5$ кДж/кг. Для г. Сочи соответственно $30,2^{\circ}\text{C}$ и $69,5$ кДж/кг. Таким образом, г. Санкт-Петербург попадал во 2-ю зону, а г. Сочи в 4-ю зону.

По современному нормативному документу СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» г. Санкт-Петербург характеризуется районом с $i=43,6-48,4$ кДж/кг, а г. Сочи: $i=61,0-65,0$ кДж/кг.

Среднемесячная температура самого теплого месяца в г. Ленинграде по СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» $17,8^{\circ}\text{C}$; в г. Сочи $23,2^{\circ}\text{C}$.

Средняя месячная относительная влажность в 13 часов наиболее жаркого месяца в г. Ленинграде 59%, в г. Сочи 70%.

По СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» соответствующие значения влажности 72% (60%) и 77% (68%). Средние температуры самого теплого месяца $17,8^{\circ}\text{C}$ и $23,1^{\circ}\text{C}$.

По Своду Правил СП 131.13330.2020 средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца и средняя месячная относительная влажность такого месяца для г. Санкт-Петербурга приводятся соответственно $t_{н}=23,2^{\circ}\text{C}$ и $\varphi=58\%$. Для г. Сочи эти показатели будут равны $t_{н}=28,2^{\circ}\text{C}$ и $\varphi=69\%$. Среднемесячные температуры самого теплого месяца для г. Санкт-Петербурга $t_{н}=18,6^{\circ}\text{C}$, для г. Сочи $t_{н}=23,6^{\circ}\text{C}$. Вышеприведенные данные о параметрах наружного воздуха сведены в таблицу.

Взамен строительных норм СН 405-70 был выпущен СНиП II-11-77 «Защитные сооружения гражданской обороны», в котором таблица 1

повторяется в части климатических параметров, но с измененным количеством подаваемого на одного человека воздуха: для 1-й зоны – 8 м³/ч·чел; 2 зона - 10 м³/ч·чел; 3 зона - 11 м³/ч·чел; 4 зона - 13 м³/ч·чел. Одновременно вводилась необходимость аналитического расчета количества подаваемого воздуха для компенсации тепло- и влагоизбытков образующихся в помещениях ЗСГО.

Таблица №2

Метеорологические параметры наружного воздуха

№№ п/п	Источник информации Показатель	СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика»	СНиП 25.01.99 «Строительная климатология»	СП 181.13330-2020 «Строительная климатология»	СНиП 2-33-75 (СНиП 2.04.05-86) «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»
1	Среднемесячная температура самого жаркого месяца, °С	$\frac{17,8}{23,2}$	$\frac{17,8}{23,1}$	$\frac{18,6}{23,6}$	-
2	Относительная влажность (днем) наиболее жаркого месяца, %	$\frac{59}{70}$	$\frac{60}{68}$	$\frac{58}{69}$	-
3	Средняя максимальная температура самого теплого месяца, °С	$\frac{22,1}{27,1}$	$\frac{22,0}{26,6}$	$\frac{23,2}{28,2}$	-
4	Средняя амплитуда температур (разница между суточным максимумом и минимумом) самого теплого месяца	$\frac{8,7}{7,9}$	-	$\frac{8,1}{7,8}$	-
5	Расчетные параметры «А» температуры, °С				$\frac{20,6}{25,9}$
6	Расчетные параметры «А» энтальпии, кДж/кг			$\frac{43,6-48,4}{61,0-65,0}$	$\frac{48,1}{66,2}$

Примечание: в числителе указаны данные для г. Санкт-Петербурга (2-я зона), в знаменателе – для г. Сочи (4-я зона).

В процессе перехода к новой форме нормативных документов сводам правил (СП) СНиП II-11-77 был заменен на СП 88.13330.2014 «Защитные сооружения гражданской обороны», который действует по настоящее время периодически подвергаясь редактированию. В настоящее время актуальна редакция 2023 года.

Произведем анализ существующей методики определения требуемых воздухообменов в ЗСГО, исходя из положений действующих нормативов, на примере городов Санкт-Петербург (2 зона) и Сочи (4 климатическая зона).

Для режима чистой вентиляции количество подаваемого воздуха для компенсаций теплоизбытков вычисляется в соответствии с СНиП II-11-77 по формуле:

$$L = \frac{Q}{1,2(I_b - I_n)}, \quad (1)$$

где Q – количество выделяющегося в убежище тепла (от людей, электроосвещения, электросилового оборудования), ккал/ч (кДж/ч); I_n – теплосодержание наружного воздуха, соответствующее среднемесячной температуре и влажности самого жаркого месяца (ккал/кг, кДж/кг); I_b – теплосодержание внутреннего воздуха, соответствующее допустимым сочетаниям температуры и влажности воздуха (ккал/кг, кДж/кг), которые определяются по значениям I_n и влагосодержание d_n по приложению СП 131.13330.2020, которое сохраняется в нормативе и в настоящее время.

К сведению: в качестве осветительных приборов в настоящее время используются светодиодные лампы, вклад которых в теплоизбытки незначителен. Вентиляционное оборудование типа ЭРВ имеет мощность порядка 0,5 кВт на установочную единицу и размещено в венткамере.

Количество вредностей по СП 88.13330.2014 в виде тепла и влаги принимаются равными соответственно при $t_b=20^\circ\text{C}$: 100 ккал/ч·чел

(116 Вт/чел) и 95 г/ч·чел (при $t_b=28^\circ\text{C}$) и 110 г/ч·чел (при $t_b=30^\circ\text{C}$). Следует заметить, что при повышении температуры воздуха свыше 20°C полные тепловыделения (взрослых мужчин) стабилизируются в количестве 80 ккал/ч·чел, а влаговыделения увеличиваются вследствие активного потоотделения при температурах более 28°C . Так, при $t_b=25^\circ\text{C}$: $G=50$ г/ч·чел, при $t_b=30^\circ\text{C}$: $G=75$ г/ч·чел, а при $t_b=35^\circ\text{C}$ уже $G=115$ г/ч·чел. Взрослые женщины выделяют 25%, а дети 75% от вышеприведенного количества тепла и влаги [8].

Температура воздуха внутри помещения для укрываемых равная 30°C считается допустимой, а $t_b=34^\circ\text{C}$ опасной для дальнейшего пребывания в нем людей [9].

Это определяется тем, что когда температура воздуха сравнивается с температурой поверхности тела (одежды) явный теплообмен прекращается. Высокий уровень влажности (85-100%) в свою очередь не дает испаряться поту, выступающему по всей поверхности тела человека, но не охлаждающему его. Баланс теплопродукции и теплоотдачи нарушается и происходит перегрев укрываемых.

В общем случае процесс тепловыделения от людей определяется не только температурой воздуха в t_b и его относительной влажностью φ , но и подвижностью воздуха, а также радиационным фактором. Последний оценивается температурой окружающих поверхностей, конкретно величиной так называемой радиационной температуры определенным значением температур по всем плоскостям в помещении [10]. Вопросы, касающиеся лучистого теплообмена в данной работе, не рассматриваются.

Сочетание t_b и φ оценивается с помощью специального показателя – эффективной температуры (ЭТ). При дополнительном учете скорости воздушного потока такая температура носит название эквивалентной эффективной температуры (ЭЭТ). Для определения значений ЭТ и ЭЭТ

существуют номограммы, приведенные, например, в [2, 3]. Предельные сочетания значений t_b и φ (по данным различных исследований) приведены в [11], например, 32°C – 96%; 33°C – 80%; 34°C – 70%; 32,5°C – 100%. Автор [12] использовал понятия эквивалентной (эффективной) температуры для определения величины теплосодержания внутреннего воздуха в помещениях ЗСГО, что нашло отражение в вышеупомянутых нормативных документах. В частности, для первой и второй климатических зон допустимыми параметрами определялась 28°ЭТ, а для третьей и четвертой зон 29°ЭТ, линии которых нанесены на $i-d$ диаграмму. Такие значения соответствуют предельной температуре 34°C и влажностям 40% (1-2 зоны) и 60% (3-4 зоны) при скорости воздуха до 0,5 м/с, т.е. речь уже идет об эквивалентной эффективной температуре. Автор предлагает рассчитывать энтальпию внутреннего воздуха по графикам приложения Д СП88.13330.2014, на которые нанесены допустимые сочетания температуры и влажности 28°ЭТ (1-2 зоны) и 29°ЭТ (3-4 зоны).

Эти графики, служащие для определения теплосодержания уходящего воздуха, порождают вопросы. Так, в качестве примера на них показана точка, характеризующая параметры наружного воздуха $i_n=48$ кДж/кг и $d_n=8$ г/кг. Легко проверить по $i-d$ диаграмме температуру и влажность наружного воздуха, предлагаемую как расчетную для проектирования системы вентиляции (для 1 и 2 зон): $t_n=26$ °C, $\varphi_n=35$ %; при $d_n=6$ г/кг температура возрастает до $t_n=30$ °C. При значении $i_n=52$ кДж/кг и $d_n=8$ г/кг: $t_n=31$ °C, $\varphi_n=30$ %. Но значение температуры больше $t_n=25$ °C уже относится к 3-4 зонам по данным этого же нормативного документа.

Поэтому предлагается принимать за энтальпию уходящего воздуха точку пересечения углового коэффициента процесса «ε» со значением изотермы $t_n=34$ °C как предельной температуры удаляемого воздуха. Следует заметить, что такая температура уже не влияет на самочувствие людей, т.к.

по условиям тепловой стратификации характеризует слой воздуха под потолком сооружения на уровне вытяжных решеток (диффузоров) системы вентиляции.

Построим процесс изменения состояния внутреннего воздуха в помещениях ЗСГО, расположенных в города-представителях с учетом того, что, как было отмечено ранее, луч тепловлажностного процесса изменяет свой наклон.

Как видно из расшифровки технических понятий, входящих в формулу (1) используются параметры среднемесячной температуры самого жаркого месяца, варьирующиеся для Санкт-Петербурга от $17,8^{\circ}\text{C}$ до $18,6^{\circ}\text{C}$ по мере выпуска каждого нового СНиПа (СП). Они предполагают поступление более прохладного воздуха в убежище гражданской обороны, чем параметры «А». Это вполне приемлемо, т.к. разница между суточными максимумами и минимумами по температуре составляет $8-9^{\circ}\text{C}$. На рис.1 эти температуры для г. Санкт-Петербурга и г. Сочи обозначены $V_{\text{п}}$ и $V_{\text{с}}$ (десятые доли отброшены).

Вычислим коэффициент ε , определяющий направление процесса изменения характеристик внутреннего воздуха (t , ϕ , i) по мере выделения укрываемыми тепло- и влагоизбытков. Вопросы, связанные с воздействием на организм людей углекислоты, в данной работе не рассматриваются. Произведем расчет по поступающим в помещение вредностям от 1 человека. Принимаем $Q_{\text{изб}}=100$ ккал/ч·чел, а влаговыделения при $t_{\text{н}}^{\text{сп}}=20^{\circ}\text{C}$: $G=40$ г/ч·чел. Тогда $\varepsilon_{20}=100 \cdot 4,19/10^{-3} \cdot 40=10475$ кДж/кг. При достижении температуры воздуха $t_{\text{в}}^{\text{сп}}=25^{\circ}\text{C}$, влаговыделения станут равны 50 г/ч·чел. Тогда $\varepsilon_{25}=80 \cdot 4,19/10^{-3} \cdot 50=6740$ кДж/кг. При $t_{\text{в}}^{\text{сп}}=30^{\circ}\text{C}$, $G=75$ г/ч·чел: $\varepsilon_{30}=80 \cdot 4,19/10^{-3} \cdot 75=4469$ кДж/кг. При $t_{\text{в}}=34^{\circ}\text{C}$, опасной для дальнейшего пребывания людей в замкнутом пространстве укрытия, луч процесса будет равен $\varepsilon_{34}=80 \cdot 4,19/10^{-3} \cdot 115=2914$ кДж/кг.

Покажем на $i-d$ диаграмме (рис.1) процессы изменения состояния воздуха, согласно вычисленным коэффициентам, начав со значений B_n ($t_n=18^\circ\text{C}$; $\varphi_n=60\%$; $i_n=38$ кДж/кг) и B_c ($t_n=23^\circ\text{C}$; $\varphi_n=70\%$; $i_n=55$ кДж/кг), проведя ломаную линию до пересечения с изотермой $t_b=34^\circ\text{C}$ как предельно допустимой в точках B'_n ($t_b=34^\circ\text{C}$; $\varphi_b=66\%$) и B'_c ($t_b=34^\circ\text{C}$; $\varphi_b=76,5\%$). Согласно формуле (1) получаем требуемый воздухообмен для убежища в г. Санкт-Петербурге: $L_n = \frac{100 \cdot 4,19}{1,2 \cdot (66 - 38)} = 12,5 \text{ М}^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$, в г. Сочи: $L_n = \frac{100 \cdot 4,19}{1,2 \cdot (76,5 - 55)} = 16,2 \text{ М}^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$. Эти цифры сопоставимы с количеством подаваемого воздуха на одного укрываемого, приведенных для использования типовых проектов в нормативных документах СН 405-70, СНиП II-11-77, СП 88.13330.2014 для второй и четвертой зоны.

Проверим полученный результат по методике, приведенной в этих источниках с использованием модифицированных $i-d$ диаграмм, представленных в приложениях Д СП 88.13330.2014 для 1, 2 зон и 3, 4 зон, и которые определяют допустимые, т.е. безопасные, сочетания температуры и влажности внутреннего воздуха в помещении ЗСГО (показаны на $i-d$ диаграмме зеленым).

Используя значения B_n ($d_n=8$ г/кг и $i_n=38$ кДж/кг) и B_c ($d_n=12,5$ г/кг и $i_n=55$ кДж/кг), получаем значения для B'_n : $i_b=79,5$ кДж/кг, а для B'_c : $i=86$ кДж/кг. Получены ожидаемые точки B''_n и B''_c . При этом температура внутреннего воздуха приближается к 37°C , а для г. Сочи параметры влажности ($d=19,3$ г/кг) выходят за зону допуска. Выход параметров за разумные пределы приводит и к искусственному уменьшению объемов воздухообмена.

Руководствуясь конечными значениями энтальпий внутреннего воздуха получаем объемы воздухообмена для г. Санкт-Петербурга: $L_n = \frac{100 \cdot 4,19}{1,2 \cdot (79 - 38)} = 8,4 \text{ М}^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$, для г. Сочи: $L_n = \frac{100 \cdot 4,19}{1,2 \cdot (86 - 55)} = 11,3 \text{ М}^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$.

Такие воздухообмены меньше табличных и соответствуют требованиям СНиП 2.01.01-82 быть в пределах табличных значений.

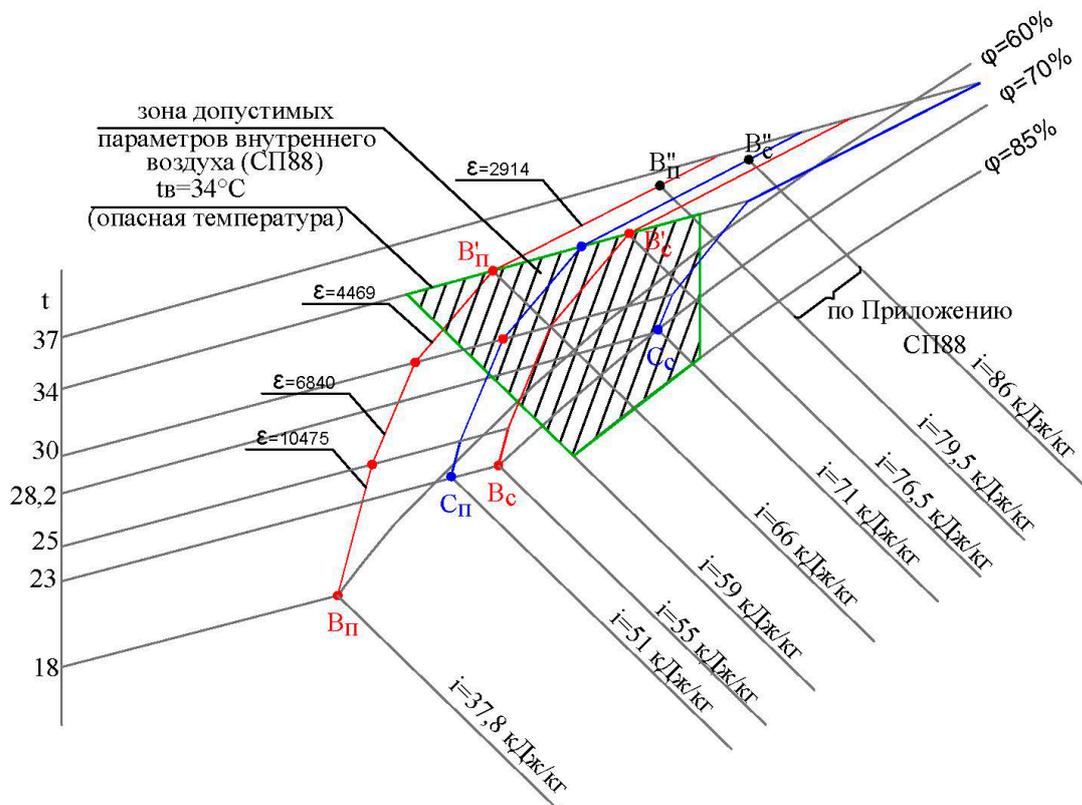


Рис. 1. – Процессы изменения состояния воздуха в ЗСГО для г. Санкт-Петербург и г. Сочи

В своде правил СП 88.13330.2014 в редакции 2017 года понятие «среднемесячной температуры самого жаркого месяца» заменено на «среднюю максимальную температуру наиболее теплого месяца». Последняя является результатом деления значений ежедневной максимальной температуры на суммарное значение дней за период наблюдения с начала прошлого века. Очевидно, что такой параметр выше среднемесячных данных (табл.2). Соответствующие точки «С» показаны на рис.1. Перенося графики процессов изменения параметров внутреннего воздуха во вновь нормативно полученные начальные точки $C_{П}$ и $C_{С}$ получаем следующие воздухообмены: $L_{П}=419/1,2(71-51)= 17,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $L_{С}=419/1,2(83,5-71)=30 \text{ м}^3/\text{ч}$. Полученные

значения сопоставимы с количеством свежего воздуха для гражданских сооружений, функционирующих в мирное время (предприятие общественного питания, офисы и т.п.). Это приводит к необоснованному удорожанию ЗСГО в части увеличения объема подземных венткамер, устройству дополнительного энергоснабжения для вентиляционного оборудования и системы кондиционирования воздуха, включая подземные емкости для запаса охлаждающей воды.

Значения i_v , полученные по графикам приложений «Д» соответственно равны 79,5 кДж/кг и 88,0 кДж/кг, а конечные параметры внутреннего воздуха выходят за пределы допустимых по влажности и достигает температуры в 35°C.

Выводы

1. Изменение параметров наружного воздуха на более жаркие не учитывают кратковременность стояния таких энтальпий в сумме не более 17 часов (для г.Сочи) в теплое время года.

2. Изменение исходных данных для проектирования вентиляции в более жесткую для проектировщиков сторону вызывает повышенный воздухообмен в ЗСГО, что требует установки более производительного вентиляционного оборудования, увеличения площадей под вентиляционные камеры, гарантированного электроснабжения для всех типов ЗСГО, увеличения сечений воздуховодов и т.д.

3. Увеличение производительности вентсистем ЗСГО влечет за собой и увеличение стоимости их возведения, и затрат на их эксплуатацию.

4. Предлагается рассчитывать воздухообмены в ЗСГО по предложенной методике с учетом плавающего углового коэффициента процесса изменения параметров внутреннего воздуха в помещениях.

Литература

1. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. Учеб. Пособие. Изд.3. М.: «Высшая школа», 1971. 460 с.
2. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. 2е изд. СПб. «АВОК Северо-Запад», 2005. 400 с.
3. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция. Учеб.пособие. – М., Изд-во АСВ 200. 624 с.
4. Спышнов П.А. Санитарная техника. Учеб.пособие. М.: Изд. Академии Архитектуры СССР. 1947. 318 с.
5. Рубинэ М. Кондиционирование воздуха в подземных сооружениях. Перевод с фр. А. В. Буркова ; Под ред. канд. техн. наук В. С. Гусева. - Москва: Госстройиздат, 1963. 216 с.
6. Geist, Edward. "Was there a real “mineshaft gap”? Bomb shelters in the USSR, 1945–1962." *Journal of Cold War Studies* 14.2 (2012): 3-28.
7. Berger Ziauddin, Silvia. "(De) territorializing the home. The nuclear bomb shelter as a malleable site of passage." *Environment and planning D: Society and space* 35.4 (2017): 674-693.
8. Бариалов Б.В., Каринс Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М.: Стройиздат. 1971. 270 с.
9. Шульгин В.Н., Хоконов А.С., Захаров Л.Н., Литвинов А.И. Защитные сооружения гражданской обороны. 2-е изд. М.: Издательство Н.Бочкаревой. 2007. 646 с.
10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Из.3-е. СПб. «АВОК Северо-Запад», 2006, 400 с.

11. Гусев В.С. Методы теплотехнических расчетов по обеспечению микроклимата в сооружениях гражданской обороны. М., Стройиздат, 1975. 157 с.

12. Октябрьский Р.Д. Управление риском в системах жизнеобеспечения города и технологические аспекты инженерной защиты населения от чрезвычайных ситуаций. М., Изд-во ГАСИС, 2005. 271 с.

References

1. Nesterenko A.V. Osnovy termodinamicheskikh raschetov ventiljicii i kondicionirovanija vozduha. Ucheb. Posobie. Izd.3. [Fundamentals of thermodynamic calculations for ventilation and air conditioning]. М.: «Vysshaja shkola», 1971. 460 p.

2. Stefanov E.V. Ventiljacija i kondicionirovanie vozduha. 2e izd. [Ventilation and air conditioning]. SPb. «AVOK Severo-Zapad», 2005. 400 p.

3. Kamenev P.N., Tertichnik E.I. Ventiljacija. Ucheb.posobie. [Ventilation]. М., Изд-во ASV 200. 624 p.

4. Spyshnov P.A. Sanitarnaja tehnika. Ucheb.posobie. [Sanitary engineering]. М.: Изд. Akademii Arhitektury SSSP. 1947. 318 p.

5. Rubinje M. Kondicionirovanie vozduha v podzemnyh sooruzhenijah [Air conditioning in underground structures] Perevod s fr. A. V. Burkova; Pod red. kand. tehn. nauk V. S. Guseva. - Moskva: Gosstrojizdat, 1963. 216 p.

6. Geist, Edward. Journal of Cold War Studies 14.2 (2012): pp. 3-28.

7. Berger Ziauddin, Silvia. Environment and planning D: Society and space 35.4 (2017): pp. 674-693.

8. Barialov B.V., Karins E.E. Kondicionirovanie vozduha v promyshlennyh, obshhestvennyh i zhilyh zdaniyah [Air conditioning in industrial, public and residential buildings]. М.: Strojizdat. 1971. 270 p.



9. Shul'gin V.N., Hokonov A.S., Zaharov L.N., Litvinov A.I. Zashhitnye sooruzhenija grazhdanskoj oborony. 2-e izd. [Civil defense protective structures]. M.: Izdatel'stvo N.Bochkarevoj. 2007. 646 p.

10. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha). Iz.3-e. [Building thermal physics (thermophysical principles of heating, ventilation and air conditioning)]. SPb. «AVOK Severo-Zapad», 2006, 400 p.

11. Gusev V.S. Metody teplotehnicheskikh raschetov po obespečeniju mikroklimata v sooruzhenijah grazhdanskoj oborony [Methods of thermal engineering calculations for ensuring microclimate in civil defense structures] M., Strojizdat, 1975. 157 p.

12. Oktjabr'skij R.D. Upravlenie riskom v sistemah zhizneobespečenija goroda i tehnologicheskie aspekty inzhenernoj zashhity naselenija ot chrezvychajnyh situacij [Risk management in city life support systems and technological aspects of engineering protection of the population from emergency situations] M., Izd-vo GASIS, 2005. 271 p.

Дата поступления: 1.08.2025

Дата публикации: 25.09.2025