

ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ МУЗЕЕВ С ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ГРУНТА НА ПРИМЕРЕ ЗАЛА АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО РАСКОПА МУЗЕЯ «БЕРЕСТЬЕ»

П. Ф. Янчилин¹, Д. В. Федорович²

¹Старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, БрГТУ, Брест, Беларусь, tgv_bstu@tut.by

²Инженер-конструктор, ЗАО «Оптималсервис», Брест, Беларусь, daryai-vanuk340@gmail.com

Аннотация

В данной статье представлены результаты обследования системы воздушного отопления, совмещенного с приточной вентиляцией зала археологического раскопа музея «Берестье». А также представлены результаты расчета и проектирования системы кондиционирования в зале археологического раскопа.

Ключевые слова: теплопоступления, расчетный воздухообмен, схема обработки воздуха, воздухораспределение, аэродинамический расчет, центральный кондиционер.

ASSESSMENT OF EXISTING AND DESIGN FEATURES OF MICROCLIMATE SYSTEMS FOR MUSEUMS WITH AN OPEN GROUND SURFACE ON THE EXAMPLE OF THE HALL OF THE ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION OF THE MUSEUM «BERESTYE»

P. Yanchilin, D. Fedorovich

Abstract

This article presents the results of an examination of the air heating system combined with the supply ventilation of the hall of the archaeological excavation of the Berestyie Museum. The results of calculation and design of the air conditioning system in the archaeological excavation hall are also presented.

Keywords: heat gain, calculated air exchange, air treatment scheme, air distribution, aerodynamic calculation, central air conditioning.

Введение. Музей — учреждение, занимающееся сбором, изучением, хранением и экспонированием предметов — памятников естественной истории, материальной и духовной культуры, а также просветительской и популяризаторской деятельностью. Основной задачей таких зданий является сохранение памятников естественной истории, материальной и духовной культуры. Комфортное пребывание людей ставится на второе место. Но даже при таком подходе благоприятное самочувствие людей должно быть обеспечено в полной мере, иначе посещаемость музея будет небольшой.

Долговечная сохранность экспонатов зависит, в основном, от следующих условий:

- поддержание необходимого микроклимата для различных материалов органического и неорганического происхождения;
- поддержание светового режима, исключающего облучение экспонатов инфракрасными и ультрафиолетовыми волнами;
- максимального сокращения агрессивных газов и пыли, поступающих с приточным воздухом;
- понижение подвижности воздуха у поверхностей экспонатов.

Создание требуемых параметров микроклимата в зданиях культовой архитектуры – задача сложная. Самым надежным способом обеспечения долговечности экспонатов является оборудование музеев установками для кондиционирования воздуха – круглосуточное и круглогодичное, создающее оптимальный температурно-влажностный режим.

Необходимые для человека условия внутренней среды в общественных зданиях обеспечиваются с помощью систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Материалы и методы. Методологическая основа исследования состояла из сбора данных, комплексного анализа информации. Исследование проводилось посредством статистической обработки данных, аналитических расчетов, моделирования.

Результаты и обсуждение. В зале археологического раскопа музея «Берестье» проводилось обследование системы воздушного отопления, совмещенного с приточной вентиляцией. Данное обследование состояло из визуального осмотра системы, замеров параметров воздуха по периметру раскопа, выявления дефектов и повреждений.

Согласно проектной документации, разработанной Брестским государственным проектным институтом в 1976 году, система отопления и вентиляции для постоянного павильона над законсервированными остатками деревянных построек древнерусского города Берестье представляла собой:

– в зимнее время приток воздуха осуществляется приточной установкой П1. В системе предусмотрены: два центробежных вентилятора (в зимнее время работает один, второй – резервный), электрокалориферы, пластинчатый шумоглушитель, фильтры ячейковые. Раздача воздуха в зале археологического раскопа осуществляется двумя воздуховодами равномерной раздачи. Удаляемый воздух используется для рециркуляции;

– в летнее время приток воздуха частично осуществляется системой П1. В рабочем положении находятся оба вентилятора. Недостающий воздух подается через открытые фрамуги, которые устроены в торцевом остеклении (нижний пояс). Воздухораздача осуществляется четырьмя воздуховодами равномерной раздачи. Удаление воздуха обеспечивается через торцевое остекление (верхний пояс).

В ходе обследования системы было выявлено, что запроектированная система отопления и вентиляции смонтирована не полностью и, следовательно, находится в нерабочем состоянии. Воздухозаборные и распределительные камеры расположены в подвале здания. Каждая камера представляет собой отдельно огражденное строительными конструкциями помещение. В системе присутствуют: камера нагрева воздуха, где установлены калориферы (частично отсутствуют, а оставшиеся находятся в нерабочем состоянии), камера фильтрации, блок шумоглушения с пластинчатым шумоглушителем, вентиляторный блок с установкой двух центробежных вентиляторов (оба находятся в нерабочем состоянии, отсутствует соединительный рукав), три воздухозаборные камеры, а также рециркуляция воздуха. Воздух поступает по камерам с помощью заслонок. Металлические воздуховоды прямоугольного сечения размером 750 x 500 и 950 x 500, последние вмонтированы в строительные конструкции. Два воздуховода не подключены к распределительной камере. Предусмотренный проектом воздухозаборный канал не достроен, о чем свидетельствует акт обследования 1980 года. Воздухораспределительные решетки (находятся в загрязненном состоянии) расположены по трем сторонам раскопа. Проектом предусмотрено, что по всем трем сторонам через решетки будет осуществляться подача воздуха к раскопу. По факту часть из них работает на забор воздуха из помещения [1].

Общее состояние системы П1 на момент обследования характеризуют рисунки 1–4.



Рисунок 1 – Вентиляторы системы



Рисунок 2 – Камера нагрева воздуха



Рисунок 3 – Заслонка с ручным приводом



Рисунок 4 – Воздуховоды и воздухораспределительные решетки

Замеры параметров микроклимата по периметру раскопа представлены в таблице 1 (температура наружного воздуха составляла + 4°C).

Таблица 1 – Параметры воздуха в музее «Берестье»

№ п/п	Температура t_n , °C	Относительная влажность ϕ_v , %
1	2	3
Зал раскопа: т.1	4,8	66,7
т.2	4,5	73,3
Периметр раскопа: т.1	3,9	74,1
т.2	4,0	76,6
т.3	4,0	75,5
т.4	4,0	79,0
т.5	4,4	78,1
т.6	4,6	75,4

Сравнение с допустимыми параметрами микроклимата произвели по периметру раскопа, где временно пребывают посетители и находится персонал. Показатели не соответствуют нормативным требованиям. В зале раскопа сравнение произвести не представляется возможным из-за отсутствия нормативных параметров микроклимата.

Техническое состояние обследуемой системы характеризуется IV категорией – неработоспособное состояние.

Для достижения требуемых параметров микроклимата в зале археологического раскопа рекомендуется произвести корректировку расчета существующей системы, произвести демонтаж вышедшего из строя оборудования и предусмотреть проектирование новой системы вентиляции с частичным демонтажом существующей.

При проектировании новой системы необходимо учитывать требования, предъявляемые к вентиляции музеев, а также определить требуемые параметры мик-

роклимата музейных помещений, которые зависят от места размещения экспонатов, материала, из которого они изготовлены, условий их хранения. Прежде всего, необходимо учитывать, что такая система является скорее технологичной, чем гражданской. На первом месте стоит забота об экспонатах, их сохранность, а на втором – создание комфортных условий для посетителей и персонала.

В крупных музеях целесообразно устройство центральных или комбинированных систем, если здание располагает необходимыми возможностями для размещения кондиционеров, трассировки транзитных и местных воздуховодов и других элементов данных систем.

Круглогодично и круглосуточно работающие СКВ, как правило, следует совмещать с системами воздушного отопления. В этом случае агрегаты должны резервироваться.

Схему воздухообмена следует организовывать с учетом эффективного использования ассимиляционной способности циркулирующего воздуха и минимальных скоростей воздушных потоков вблизи экспонатов;

Для обеспечения нормируемого уровня звукового давления для музейных помещений и исключения передачи вибрации на строительные конструкции здания вентиляционные системы должны быть оборудованы звукоглушителями, виброоснованиями и другими устройствами. Также в зависимости от вентиляционных систем они должны быть оборудованы соответствующими средствами автоматического регулирования, управления и контроля. Охлаждение приточного воздуха следует осуществлять с помощью одно- либо двухступенчатого испарительного охлаждения воздуха или с помощью естественных источников. Очистку воздуха следует производить с помощью сухих тканевых или бумажных фильтров [2].

При хранении и экспонировании музейных коллекций в помещениях нормируются три климатических параметра: температура воздуха, относительная влажность воздуха и скорость движения воздушных потоков, а также допустимые амплитуды колебаний температуры и влажности воздуха. При этом значения температуры и относительной влажности воздуха взаимосвязаны и должны обеспечить стабильное влагосодержание.

Категорически запрещается делать перерывы в вентиляции и допускать резкие колебания температуры и влажности воздуха в музеях. Важным условием нормализации температурного режима в помещениях музея является плавное изменение температуры. Для более удовлетворительных условий хранения музейных ценностей значения температуры и относительной влажности должны находиться в оптимальном диапазоне значений.

Оптимальные стабильные условия в течение всего года могут быть обеспечены кондиционированием воздуха. Однако при реконструкции зданий музеев не всегда есть возможность обеспечения оптимальных параметров, так как необходимо учитывать состояние конструкций, исторический интерьер и экстерьер, архитектурно-планировочные особенности здания, соображения экономиче-

ского порядка. В таком случае необходимо стремиться к поддержанию допустимых параметров микроклимата. Такие параметры обеспечивает приточно-вытяжная вентиляция [3].

С силу сложности и разнообразия предметов и коллекций, составляющих культурное наследие, очень сложно дать абсолютное определение диапазонов предельно допустимых значений и оптимальных параметров для хранения произведений искусства и предметов, представляющих историческую ценность.

Для определения требуемых параметров микроклимата музейных помещений был произведен литературный поиск.

– Согласно СН 3.02.02-2019 «Общественные здания» (приложение Д, таблица Д.3) в фондохранилище музея расчетная температура воздуха в холодный период года – 16 °С, а кратность воздухообмена в 1 ч – 2 на вытяжку. В выставочном зале расчетная температура должна составлять 18 °С, а кратность воздухообмена – 3 : 3.

– Согласно п.209 [4] температура воздуха в музейных помещениях при комплексном хранении различных материалов должна быть в пределах 18 ± 1 °С. Оптимальные условия относительной влажности при комплексном хранении различных материалов 55 ± 5 %. Безопасные пределы относительной влажности для музеев, не оснащенных кондиционерами, – 50–65 %.

– Согласно п.12.1 [5] кондиционирование воздуха в экспозиционных залах и фондохранилищах должно быть круглосуточное и круглогодичное, обеспечивающее оптимальный температурно-влажностный режим 18–22 °С и относительную влажность 55 ± 5 %. Согласно п.12.4 [5] кратность обмена воздуха рекомендуется принимать: в экспозиционных залах 5–6; в хранилищах 1,5–2; в коллекционном зале 4–6; в лабораториях 10.

– Согласно таблице 1 [6] рекомендуемыми микроклиматическими параметрами для обеспечения оптимальных условий хранения дерева являются: относительная влажность 40–65 %; температура 19–24 °С. Согласно таблице 2 микроклиматическими условиями, предохраняющими материалы от микробиологического воздействия, являются: археологическое дерево – относительная влажность 50–60 %, температура 19–24 °С, максимальный диапазон дневного колебания относительной влажности 2 %, максимальный диапазон дневного колебания температуры 1,5 °С; мокрое дерево – температура 0–4 °С.

– В архивах, лабораториях холодного хранения должна поддерживаться температура воздуха 10–14 °С, относительная влажность воздуха – 30–50 %. Скорость воздуха в музейных помещениях должна находиться в пределах 0,1–0,3 м/с, скорость обдува открыто расположенных экспонатов потоком приточных струй не должна превышать 0,2 м/с. Допустимые значения амплитуды суточных и сезонных колебаний температуры и относительной влажности воздуха в помещении: амплитуда колебаний температуры – суточная ± 2 °С, сезонная $\pm 4,5$ °С; амплитуда колебаний относительной влажности воздуха – суточная ± 10 %, сезонная ± 10 % [7].

Следует отметить, что все требования к микроклимату для сохранности музейных коллекций должны распространяться только на зону размещения экспонатов.

Основой музея «Берестье» является археологический раскоп. Сложностью в проектировании системы кондиционирования является то, что деревянные постройки размещены непосредственно на почве (рисунок 5).



Рисунок 5 – Археологический музей «Берестье»

Так как зал раскопа не отделен никаким перекрытием, то воздух, подаваемый в раскоп, будет распределяться по всему зданию. Учитывая эту особенность, было принято запроектировать для археологического раскопа центральную систему кондиционирования воздуха.

Центральная СКВ должна обеспечивать требуемые параметры микроклимата в раскопе.

Для определения параметров микроклимата в зале археологического раскопа необходимо учитывать особенности свойства дерева, из которого изготовлена коллекция. Экспонаты из дерева очень чувствительны к изменениям температуры и влажности воздуха. При уменьшении влажности древесины происходит ее усушка, что приводит к механическим повреждениям и изменению форм. При увеличении влажности изменяются механические свойства древесины, она делается менее прочной и может наступить набухание и гниение дерева. Поэтому очень важно, чтобы температурно-влажностный режим зала раскопа был стабильным.

Проанализировав выше представленные литературные источники, можно сделать вывод, что для данного вида помещения и музейного экспоната нет нормативных параметров микроклимата. Определение требуемого температурно-влажностного режима необходимо выполнять в ходе эксплуатации объекта.

Вариант запроектированной системы кондиционирования для зала археологического раскопа представлен ниже [8].

Необходимо определить расчетные параметры микроклимата:

– расчетные параметры наружного воздуха приняты согласно СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» по приложению Г. Для теплого периода года температура наружного воздуха составила 27,2 °С, для холодного – минус 21,0 °С;

– расчетные параметры внутреннего воздуха приняты из проектной документации по этому объекту, разработанной в 1976 году. Температура внутреннего воздуха как для теплого периода года, так и для холодного составила 5 °С.

Для расчета системы кондиционирования произвели расчет теплопоступлений и тепловых потерь. Были учтены теплопоступления от людей, от солнечной радиации и через ограждающие конструкции. Источниками влаговывделений являются люди, а также грунт, на котором размещен главный экспонат музея «Берестье».

Все теплопоступления были рассчитаны в программе «Расчет теплопритоков и теплопоступлений», расчет тепловых потерь был произведен в программе RTI и представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Теплопоступления и теплотери музея

Наименование помещения	Объем помещения, м ³	Расчетный период года	Поступления в помещение явной теплоты, Вт			Теплопоступления в помещение, Вт			Избыточная теплота		
			От солнечной радиации	Через ограждающие конструкции	Тепловые потери	Суммарные			Явная		Полная
						Явные	Полные	Скрытые	Вт	Вт/м ³	
											Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Музей «Берестье»	29016	ТП	232856	26868	—	276374	278224	1850	276374	9,52	278224
		ХП	36360		117730	-62500	-61390	-1110	-62500	2,15	-61390

Таблица 3 – Сводная таблица вредных выделений

Наименование помещения	Объем помещения, м ³	Расчетный период года	Тепловые избытки		Влаговыделения, кг/ч	Газовые выделения, кг/ч	ε, кДж/кг
			Явные, кДж/ч	Полные, кДж/ч			
1	2	3	4	5	6	7	8
Музей «Берестье»	29016	ТП	276374	278224	2,7	4,63	103045
		ХП	-62500	-61390	2,7	4,63	-22737

При расчете воздухообмена необходимо иметь представление о схеме организации воздухообмена в помещении. Также необходимо знать распределение

параметров воздуха в объеме помещения и расход воздуха, подаваемого и удаляемого из отдельных частей помещения системами местной вентиляции [9].

Для определения требуемого воздухообмена воспользуемся способом определения обмена воздуха по кратности. Кратность воздухообмена рекомендуется принимать 1,5–2, согласно литературным данным о музеях.

Площадь раскопа равна 1131,84 м², высота от грунта до перекрытия 4 м.

Тогда требуемый воздухообмен для зала раскопа будет равен 6791 м³/ч.

Для рационального использования энергии, экономного использования холода, теплоты, электроэнергии, а также экономии строительной площадки необходимо проанализировать возможность применения схем с регенерацией теплоты удаляемого воздуха, использование первой и второй рециркуляции воздуха, использование схем с байпасом. Вопрос выбора принципиальной схемы обработки воздуха может быть решен в ходе построения на I-d-диаграмме процессов обработки воздуха в кондиционере.

Схемы процессов изменения состояния воздуха в помещении, а при кондиционировании – и при его обработке в приточной установке, должны быть представлены на I-d-диаграмме с учетом избытков полной теплоты и влаговыделений в помещении для всех расчетных периодов года [10].

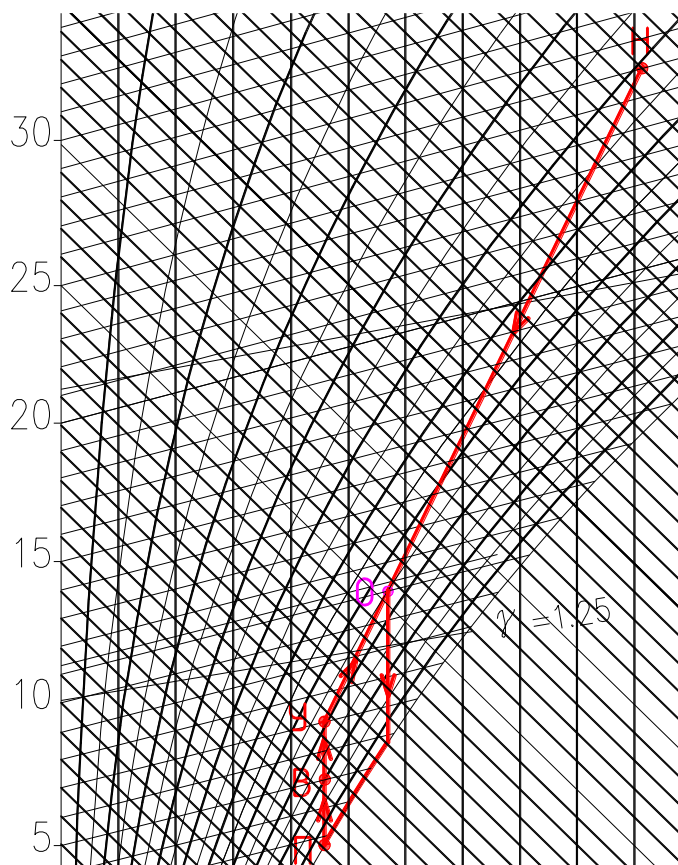


Рисунок 6 – Процесс обработки воздуха в теплый период с первой рециркуляцией и охлаждением

После рассмотрения и анализа нескольких вариантов построения процессов обработки воздуха в теплый и холодный период времени, были выбраны наиболее оптимальные.

Для теплого периода с наименьшими затратами тепла и воды является процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охлаждением. Для осуществления данного процесса требуется смешать 3019 кг/ч рециркуляционного и 3772 кг/ч наружного воздуха, а также необходим фреоновый охладитель с мощностью охлаждения 20,7 кВт (рисунок 6).

Для холодного периода года процессом с наименьшими затратами тепла и воды является процесс обработки воздуха с ротационным рекуператором, второй рециркуляцией, нагревом и пароувлажнением. Для осуществления данного процесса требуется смешать 3019 кг/ч рециркуляционного и 3772 кг/ч наружного воздуха, а также необходимы калорифер с мощностью нагрева 11,5 кВт и пароувлажнитель, который увлажняет воздух в количестве 2,72 кг/ч с расходом тепла 1,7 кВт (рисунок 7).

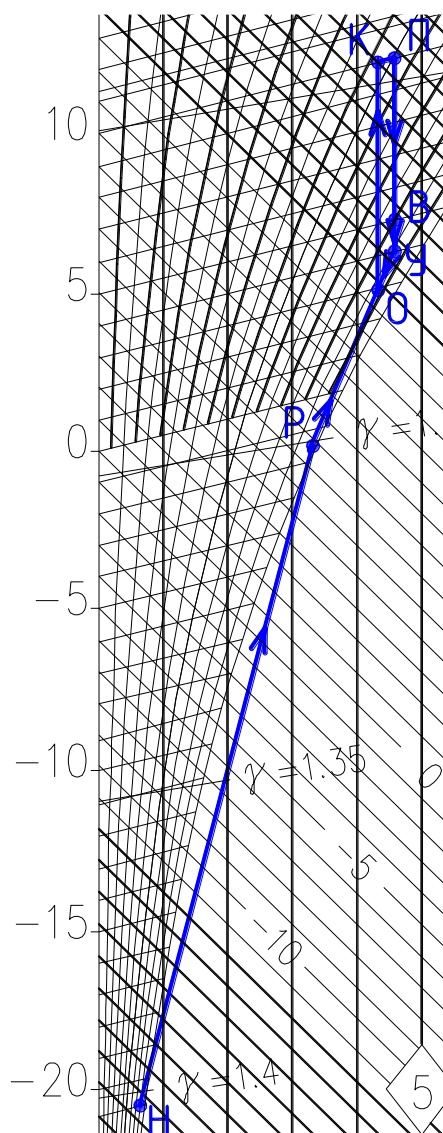


Рисунок 7 – Процесс обработки воздуха в теплый период с первой рециркуляцией и охлаждением

Исходя из выбранных процессов обработки воздуха произведен подбор центрального кондиционера. Кондиционер выбирается по полной его производительности, с учетом коэффициента запаса 1,1, и комплектуется из отдельных секций. Выбранный кондиционер представлен на рисунке 8.

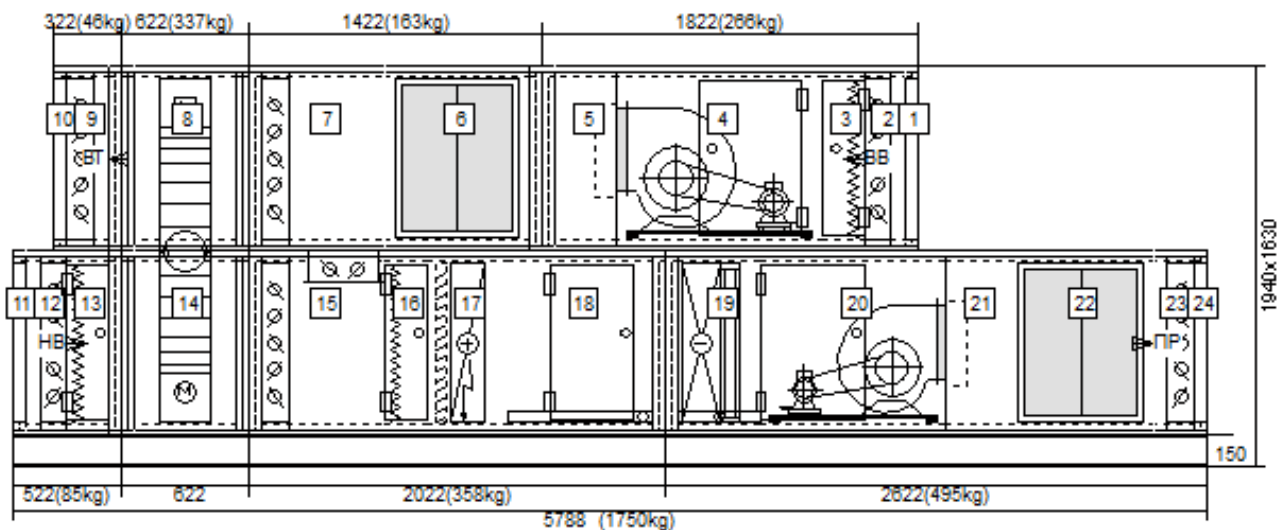


Рисунок 8 – Центральный кондиционер для обработки воздуха в раскопе

Расчет системы кондиционирования для археологического раскопа, в программе Revit была разработана 3D модель ранее рассматриваемой системы (рисунки 9, 10).

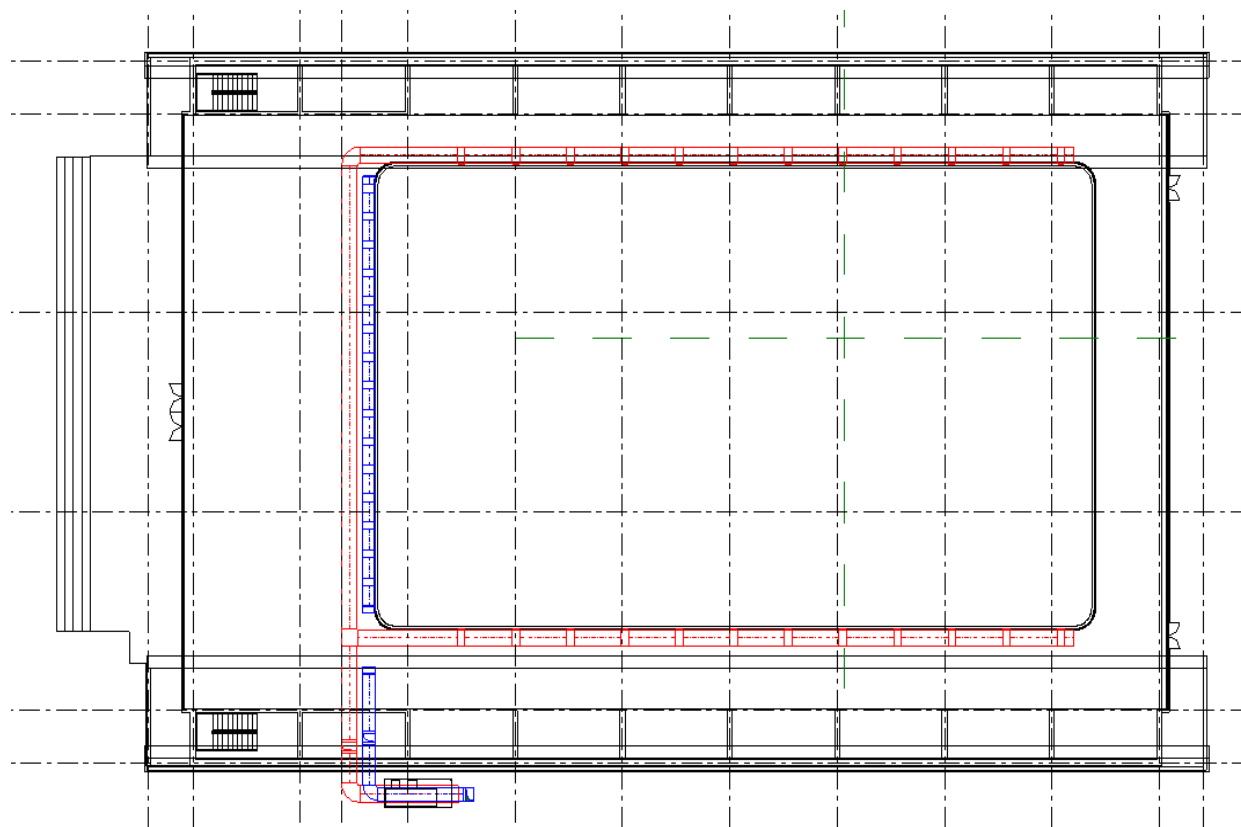


Рисунок 9 – Вид сверху запроектированной системы кондиционирования

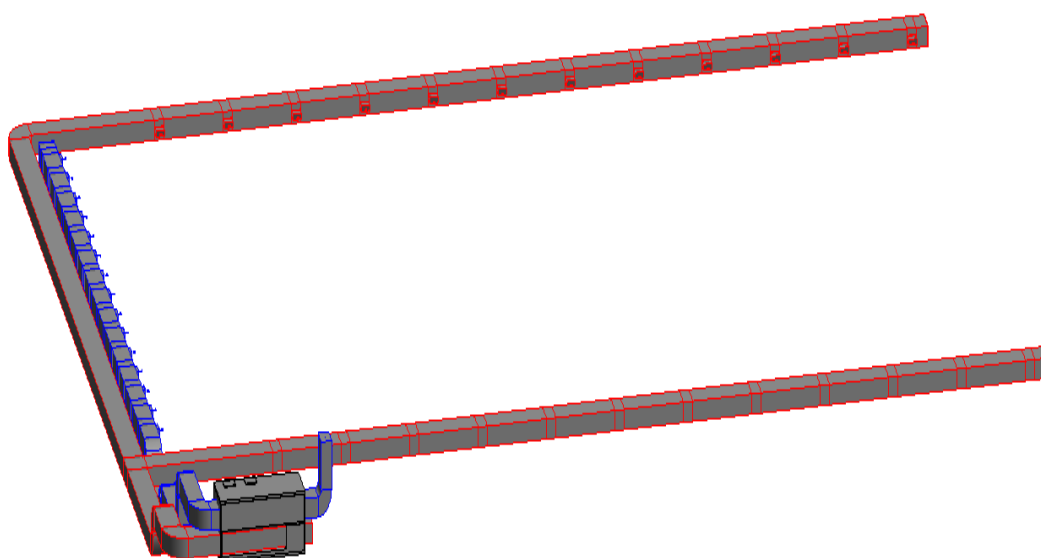


Рисунок 10 – 3D модель запроектированной системы кондиционирования

Заключение. Произведено обследование системы воздушного отопления, совмещенного с приточной вентиляцией. Выявлены дефекты системы: отсутствие некоторых элементов, загрязнение воздуховодов и решеток. Разработаны рекомендации по устранению выявленных дефектов, дана общая оценка существующей системе.

Изучена литература для определения требуемых параметров микроклимата музеев. Необходимый микроклимат для музеев в значительной степени отличается в зависимости от типа коллекций, хранящихся в музее. Требуемые параметры микроклимата для археологического раскопа в свободном доступе найти не удалось. Поиск по нормативным источникам показал, что необходимые параметры воздуха для сохранения такой экспозиции отсутствуют.

Выполнены расчеты теплопоступлений и теплопотерь в здании, расчет требуемого воздухообмена. Произведены расчеты, необходимые для построения на I-d диаграмме нескольких вариантов обработки воздуха для теплого и холодного периодов года. По полученным диаграммам были взяты данные тепловой нагрузки калориферов, фреоновых охладителей и количество влаги, необходимое для работы пароувлажнителя. Рассчитан и подобран центральный кондиционер.

Разработана и запроектирована система кондиционирования воздуха для археологического раскопа, которая обеспечит хранение остаткам деревянных построек древнерусского города Берестье.

Ввиду недостатка данных в нормативной базе по хранению остатков деревянных построек на открытом грунте, разработка систем вентиляции и кондиционирования подразумевает корректировку расчетов в ходе эксплуатации объекта. Для разработки систем, обеспечивающих сохранность экспозициям, был использован опыт ранее запроектированной системы с учетом более современных технологий. Подобранная система является энергосберегающей и энергоэффективной.

Список цитированных источников

1. Обследование систем микроклимата зала археологического раскопа музея «Берестье»/Янчилин П.Ф., Ключева Е.В., Федорович Д.В.//Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: Материалы научного семинара. Ч. I, 22 апреля 2022 г. – Брест: РУПЭ «Брестэнерго», 2022. – С. 119-123.
2. Музейное хранение художественных ценностей: Практ. пособие. М. : ГосНИИРеставрации, 1995.
3. Томсон Г. Музейный климат. СПб. : Скифия, 2005.
4. Инструкция по учету и хранению музейных ценностей, находящихся в государственных музеях ССР. – М. : Минкультуры СССР. 1985. – 80 с.
5. Рекомендации по проектированию музеев. – М. : Стройиздат. 1988.
6. АВОК №6 статья «Качество воздуха в музеях». – 2009. – 8 с.
7. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М. : Евроклимат. 2006. – 640 с.
8. Определение параметров микроклимата для музея с открытой поверхностью грунта/Федорович Д.В.//Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: Материалы научного семинара. Ч. II, 22 апреля 2022 г. – Брест: РУПЭ «Брестэнерго», 2022. – С. 5–7.
9. Хрусталева Б.М., Копко В.М., Пилюшенко В.П., и др. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск : Дизайн ПРО, 1997 г. п.
10. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учебное пособие / П. И.Дячек. – М. : Издательство АСВ, 2017. – 676 с.