

Тепловой и влажностный режимы объекта историко-архитектурного наследия в Санкт-Петербурге

И.В. Федорова

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Выполнено исследование работы системы водяного отопления Нарышкина бастиона Петропавловской крепости. Представлены результаты замеров температуры и относительной влажности внутреннего воздуха. По результатам исследований построена трехмерная модель помещения № 3 Нарышкина бастиона, использованная при проведении численного моделирования с помощью гидродинамического вычислительного комплекса STAR-CCM+. Даны рекомендации по улучшению тепло-влажностного режима, выявлены перспективы дальнейшего исследования объекта.

Ключевые слова: объект историко-архитектурного наследия, параметры микроклимата, система водяного отопления, тепловой режим, STAR-CCM+.

В процессе приспособления объектов историко-архитектурного наследия под нужды музеев необходим индивидуальный подход к проектированию систем климатизации, способных поддерживать требуемые параметры микроклимата для обеспечения сохранности объектов искусства [1].

Вопросы определения оптимальных значений температуры и относительной влажности внутреннего воздуха, а также допустимых колебаний параметров микроклимата музейных помещений являются предметом дискуссий в научной среде [2].

Согласно опыту итальянских исследователей, большинство экспонатов требует значений относительной влажности внутреннего воздуха ($\varphi_{в}$) 40–60 % и температуры внутреннего воздуха ($t_{в}$) – 19–24 °С. Отмечается, что, кроме абсолютных обязательных рамочных показателей, очень важно не допускать колебаний параметров внутри интервала. Так, максимальный диапазон дневного колебания температур должен составлять $\Delta t_{в} = 1,5$ °С, а относительной влажности – $\Delta \varphi_{в} = 2–6$ % [3]. Разнообразие предметов, входящих в музейные коллекции, усложняет точное определение диапазонов

предельно допустимых значений и оптимальных параметров. В США приняты следующие допустимые значения параметров воздуха: $t_{\text{в}} = 21\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi_{\text{в}} = 55\text{--}60\text{ }%$; в Германии, соответственно, $19\text{--}21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{--}55\text{ }%$; по данным ЮНЕСКО – $16\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $55\text{--}61\text{ }%$ [4].

В статье польских ученых [5] имеется ссылка на предлагаемые диапазоны температуры и влажности для польских музеев: $t_{\text{в}} = 14\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{\text{в}} = 50\text{--}65\text{ }%$ – для бумаги и гравюр; $t_{\text{в}} = 14\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{\text{в}} = 55 \pm 5\text{ }%$ – для дерева; $t_{\text{в}} = 16\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varphi_{\text{в}} = 55 \pm 5\text{ }%$ – для живописи [6].

В 2020 г. был разработан Стандарт АВОК 7.7–2020 «Музеи. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха», согласно которому оптимальными параметрами внутреннего воздуха экспозиционных залов являются следующие: $t_{\text{в}} = 19\text{--}21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{\text{в}} = 50\text{--}55\text{ }%$, подвижность воздуха – $0,15\text{--}0,20\text{ м/с}$.

В настоящей статье предлагается анализ теплового режима на уникальном фортификационном объекте – в Петропавловской крепости (ППК).

Предварительные замеры температуры внутреннего воздуха были проведены утром 05.02.2015 с помощью портативного термометра Testo 905-T2. Температура наружного воздуха на момент измерений составляла минус $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность – $94\text{ }%$. В помещениях наблюдалась разница температур. Самые низкие температуры зафиксированы в помещении № 3: температура внутреннего воздуха – $14,0\text{--}14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; поверхности ограждающих конструкций – $12,0\text{--}13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, система водяного отопления с алюминиевыми секционными отопительными приборами, организованная в Нарышкином бастионе ППК, не обеспечивала необходимых параметров микроклимата для размещения коллекции живописи (для холодного периода $t_{\text{в}} = 17\text{--}21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{\text{в}} = 50\text{--}65\text{ }%$) [7, с. 97], но соответствовала требованиям [6],

допустимым для размещения экспонатов из бумаги, гравюр и изделий из дерева.

Отметим, что все замеры проводились в отсутствие посетителей, которые обычно находятся в выставочных залах в уличной одежде, и $t_b = 14$ °С была бы для них оптимально комфортной.

Для дальнейшего уточнения параметров микроклимата в период 28.02–09.03.2015 гг. замеры t_b и ϕ_b проводились USB-датчиком TEMPeRHUM в том же помещении. Полученные результаты соотносились с соответствующими показаниями наружного воздуха (по данным Гидрометцентра) (рис. 1 и 2).

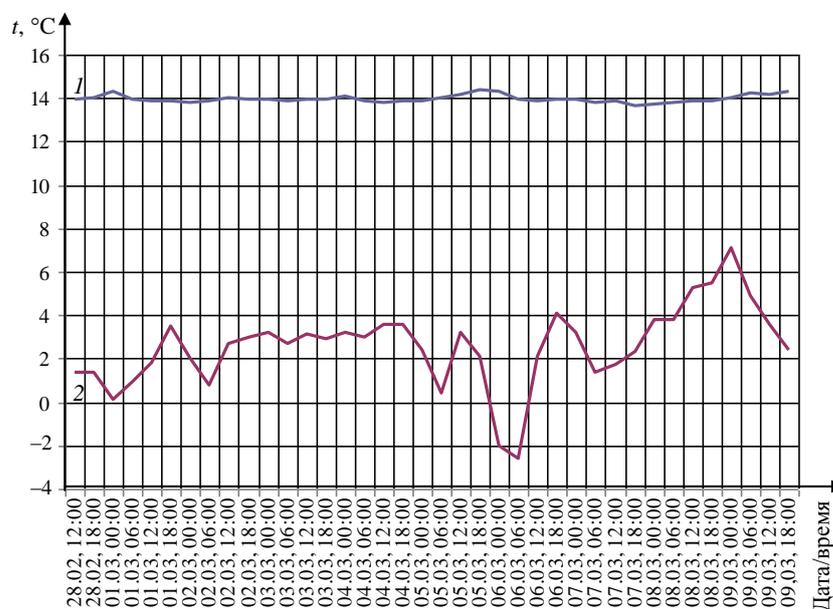


Рис. 1. – Зависимость температуры внутреннего воздуха (1) от температуры наружного воздуха (2) в помещении №3

Согласно рис. 1, температура внутреннего воздуха почти не изменялась при перепадах температуры наружного. Влажность внутреннего воздуха на момент измерений составляла 48–58 % (см. рис. 2), что практически в пределах нормы (50–65 %).

Следующая серия замеров t_b и ϕ_b проводилась с 25.05.2015 г. по 03.06.2015 (периодическое протапливание в ППК осуществляется и в летний

период). Наблюдение за этими параметрами велось в течение нескольких дней, когда отопление было отключено. Температура в этот период держалась на уровне 14,0 °С. При включении системы отопления было отмечено ее резкое увеличение до 17,0 °С с тенденцией к дальнейшему повышению до 22 °С, что соответствует рекомендациям ГосНИИР для музейных зданий [7, с. 97].

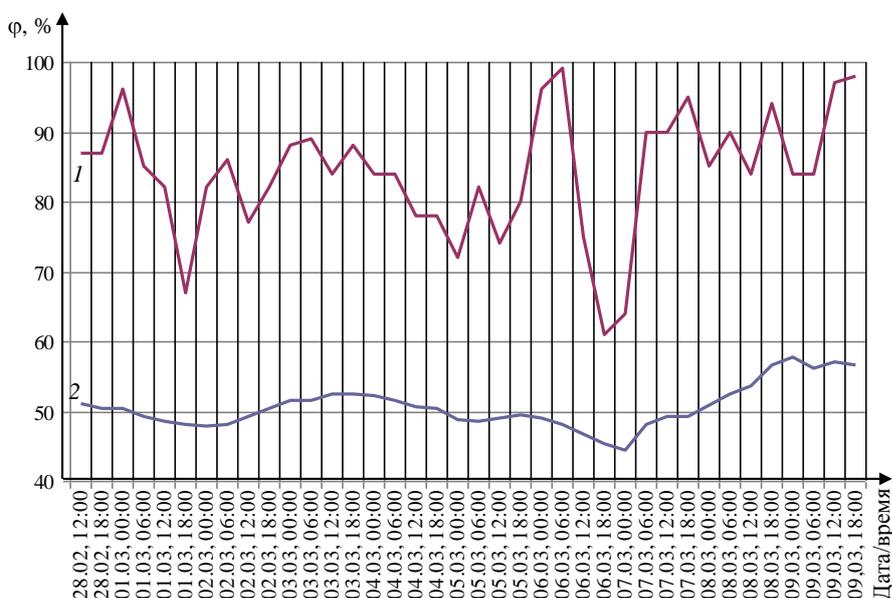


Рис. 2. – Зависимость относительной влажности внутреннего воздуха (2) от относительной влажности наружного воздуха (I) в помещении №3

По результатам исследований построена трехмерная модель помещения № 3 Нарышкина бастиона. В качестве инструмента исследования применялся гидродинамический вычислительный комплекс STAR-CCM+, основанный на численном решении трехмерных дифференциальных уравнений сохранения [8, 9].

Для расчета была построена конечнообъемная расчетная сетка размерностью 500 тысяч ячеек с измельчением ячеек у криволинейных поверхностей покрытия и у отопительных приборов – источников

тепловыделений [10, 11]. Заданы параметры отопительного оборудования системы. Расчет проводился для зимних условий Санкт-Петербурга.

На рис. 3 показано поле температуры в горизонтальном сечении на высоте 1,8 м. Температура здесь сохраняется в диапазоне 14–15 °С. Наблюдается локальное повышение температуры в конвективных струях, поднимающихся от нагревательных приборов. На рис. 4 приведены поля температур в вертикальном сечении.

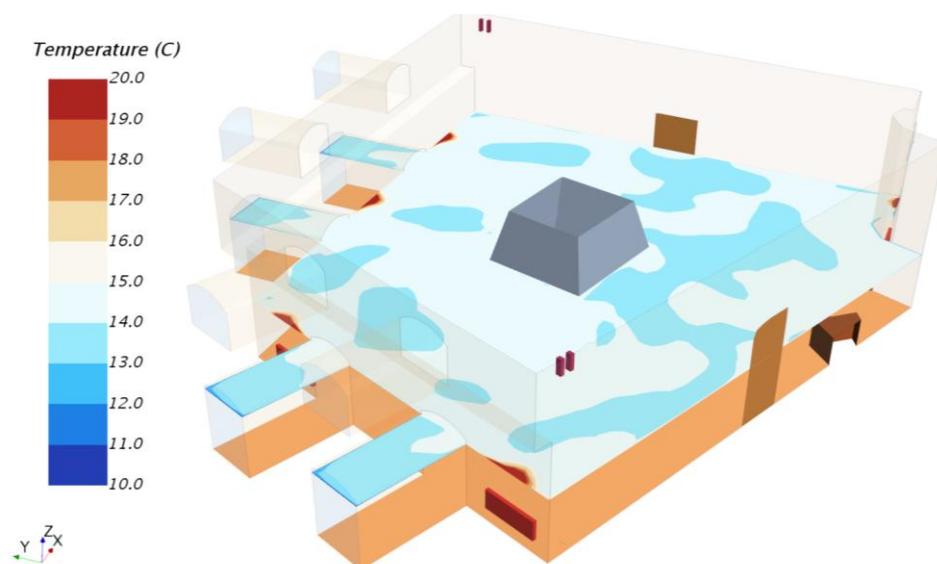


Рис. 3. – Поле температуры в горизонтальном сечении на высоте 1,8 м

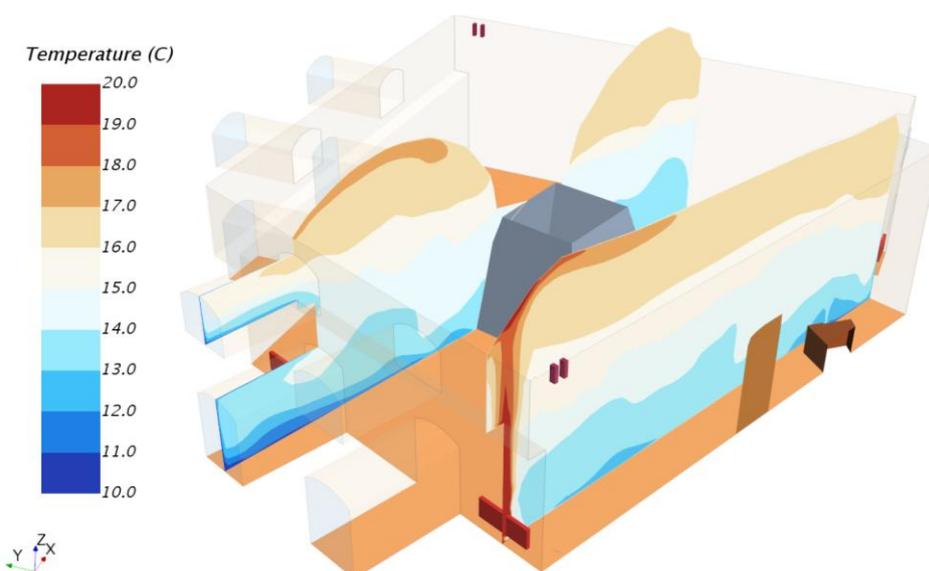


Рис. 4. – Поля температур в вертикальном сечении

Заключение

Поскольку толщина наружных ограждений объекта лежит в пределах 1,8–6 м, их инерционность сглаживает колебания температуры внутри помещений. Из построенной модели видно, что теоретически система отопления, настроенная на компенсацию теплопотерь, будет поддерживать необходимую $t_{в}$.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: для каждого конкретного объекта историко-архитектурного наследия необходимы сертификация, а также разработка индивидуальных схем систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в зависимости от их особенностей.

Поскольку $\varphi_{в}$ объекта в основном зависит от влаговыделения в помещении, при изучении работы системы отопления следует провести дополнительные исследования [12] при потоке посетителей.

При проектировании систем отопления в зданиях-памятниках архитектуры сложной геометрической формы проектировщики сталкиваются с несоответствием архитектурных чертежей реальным объектам по размерам и форме. В связи с неоднородностью конструкций и отсутствием теплофизических характеристик ППК требуется уточнение фактического сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, а также размеров помещения путем лазерного сканирования для получения более точной 3D-модели. Решению этих задач будут посвящены дальнейшие исследования.

Литература

1. Дорохов В.Б., Фомин И.В. Пути и возможности климатологической сертификации музейных зданий и памятников архитектуры: Исследования в консервации культурного наследия. Вып. 2. Материалы международной

научно-методической конференции, посвященной 50-летию юбилею ГосНИИР. М.: ИНДРИК, 2008. С. 86–91.

2. Федорова, И.В., Деева М.А. Исследование микроклимата казематов Нарышкина бастиона Петропавловской крепости: материалы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов «Актуальные проблемы строительства». В 2 ч. Ч. 1. СПб. СПбГАСУ, 2015. С. 187–191.

3. Качество воздуха в музеях // АВОК; пер. с ит. Булекова С.Н., науч. ред. Тарабанов М.Г. 2009. № 6. URL: abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4385

4. Карпис, Е.Е. Кондиционирование воздуха в картинных галереях, музеях, книгохранилищах и архивах // АВОК. 2010. №2. С. 82–85.

5. Blaszcok M., Kaczmarczyk J., Grygierek J.F. Microclimate (Indoor Air Quality) In Museum Buildings in Poland. May 2010. Conference: 10th Rehva World Congress. Clima 2010At: Antalya, Turkey. URL: researchgate.net/publication/275654892_Microclimate_Indoor_Air_Quality_In_Museum_Buildings_In_Poland

6. Wall S. Creating microclimate in museum buildings // Chłodnictwo & Klimatyzacja. 2006. № 1–2. Pp. 35–40 (in Polish).

7. Девина Р.А., Илларионова И.В., Бойко В.А., Юхновец Т.М. Средства создания оптимального микроклимата в музейных зданиях и зданиях-памятниках культовой архитектуры: методические рекомендации. М.: ВНИИР, 1987. 150 с.

8. Денисихина Д.М., Иванова Ю.В., Мокров В.В. Численное моделирование истечения из современных воздухораспределительных устройств // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4972

9. Sukhanova I. Numerical modeling of the microclimate and air quality of an Orthodox church in Saint-Petersburg: E3S Web of Conferences. Vol. 91. 02002

(2019). Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). URL: e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/17/e3sconf_tpacee2019_02002.pdf

10. Суханов К.О., Гримитлин А.М., Шкаровский А.Л. Микроклимат жилых помещений с плинтусной системой водяного отопления и подачей приточного воздуха через регулируемые оконные створки // Вестник гражданских инженеров. 2017. №5(64). С. 111–115.

11. Sukhanova I., Sukhanov K. Numerical Simulation of a Stable Microclimate in a Historic Building // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. V. 982. Pp. 84–90. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_9

12. Карлина И. Н. Новоженин В. П. Особенности проведения комплексных натурных обследований объектов, подлежащих реконструкции // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4, ч. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1235

References

1. Dorohov V.B., Fomin I.V. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, posvjashhennoj 50-letnemu jubileju GosNIIR. M.: INDRIK, 2008. Pp. 86–91.

2. Fedorova I.V., Deeva M.A. Materialy 68-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov, molodyh uchenyh i doktorantov «Aktual'nye problemy stroitel'stva». V. 2 ch. Ch. 1. SPb.: SPbGASU, 2015. Pp. 187–191.

3. AVOK; per. s it. Bulekova S.N., nauch. red. Tarabanov M.G. 2009. № 6. URL: abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4385

4. Karpis, E.E. AVOK. 2010. №2. Pp. 82 –85.

5. Blaszcok M., Kaczmarczyk J., Grygierek J.F. May 2010. Conference: 10th Rehva World Congress. Clima 2010At: Antalya, Turkey. URL:



researchgate.net/publication/275654892_Microclimate_Indoor_Air_Quality_In_Museum_Buildings_In_Poland

6. Wall S. Chłodnictwo & Klimatyzacja. 2006. № 1–2. Pp. 35–40 (in Polish).

7. Devina R.A., Illarionova I.V., Bojko V.A., Juhnovec T.M. Sredstva sozdaniya optimal'nogo mikroklimata v muzejnyh zdaniyah i zdaniyah-pamjatnikah kul'tovoj arhitektury: metodicheskie rekomendacii [Means of creating an optimal microclimate in museum buildings and buildings-monuments of cult architecture: methodological recommendations]. M.: VNIIR, 1987. 150 p.

8. Denisihina D.M. Ivanova Ju.V., Mokrov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4972

9. Sukhanova I. E3S Web of Conferences. Vol. 91. 02002 (2019) Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). URL: e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/17/e3sconf_tpacee2019_02002.pdf

10. Sukhanov K.O., Grititlin A.M., Shkarovskij A.L. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017. №5 (64). pp. 111–115.

11. Sukhanova I., Sukhanov K. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. V. 982. Pp. 84–90. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_9

12. Karlina I.N. Novozhenin V.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 4, ch. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1235