

Микроклимат кремлевских соборов: в память о Юрии Андреевиче Табунщикова

Е. Н. Болотов, генеральный директор ООО «ВАК-инжиниринг»

Юрия Андреевича Табунщикова всегда отличала широта проблем, над которыми он работал, глубина анализа и абсолютно точные и аргументированные выводы, решения и рекомендации. Примером может служить одна из его ранних работ и статья «Тепловой режим помещений памятников архитектуры (на примере соборов-музеев Московского Кремля)».

В работе представлены результаты натурных замеров температуры и влажности внутреннего воздуха в помещениях с регулируемым температурно-влажностным режимом, оборудованных системами кондиционирования (Рождественский собор), механической вентиляции и неотапливаемых. Детально проанализированы процессы в наиболее критических зонах храма: в барабане и подкупольной части. Вывод: «Значительные колебания влажности внутреннего воздуха обуславливают колебания и деформации внутреннего слоя стен (штукатурка с фресками) и дерева (иконостас) и вызывают их разрушение. Таким образом, необходимым условием обеспечения долговременной сохранности памятников культуры является регулирование в них в течение года температурно-влажностного режима».

Одновременно с натурными измерениями параметров внутреннего воздуха проводились исследования влияния изменения температуры и прежде всего относительной влажности на материалы ограждающих конструкций, возможности их к поглощению и отдаче влаги, устойчивости к колебаниям указанных параметров, определению оптимального режима памятников искусства и архитектуры.

Выявлено, что одним из путей ограничения интенсивности разрушения материалов является сведение к минимуму деформаций, обусловленных поглощением влаги, и наиболее благоприятной является область 40–60 %.

Важнейшим фактором сохранности материала является стабильность поддержания как температуры, так и влажности с возможным ограниченным отклонением не более 5 % в сутки в сторону увеличения в теплый период года и уменьшения в холодный.

Многие выводы, изложенные в статье, вошли в состав Стандарта НП АВОК-2-2004 «Храмы православные».

В дальнейшем Юрий Андреевич не раз возвращался к наиболее спорным вопросам в области мониторинга исторических зданий и к определению оптимальных параметров внутреннего воздуха, которые

должны обеспечить долговременную сохранность предметов культурного и исторического наследия. В итоге появилась пошаговая методика установления оптимальных параметров внутреннего воздуха для исторических зданий [1].

1. Необходимо отобрать образцы материалов экспонатов исторических зданий, а также материалов внутренних поверхностей ограждающих конструкций. Учитывая художественную ценность экспонатов, образцы отбираются минимально необходимых для исследования размеров.
2. Необходимо изучить сорбционные показатели образцов материалов, ориентируясь, например, на методику ГОСТ 24816-14 «Международный стандарт. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности».
3. Необходимо изучить деформативные показатели материалов, ориентируясь, например, на методику и оборудование, указанные в [2], или на другие, более современные методики или оборудование.
4. Необходимо выполнить сравнительный анализ деформативных и сорбционных кривых образцов материалов и выбрать такие их значения, в области изменения которых деформативные показатели меняются незначительно. Эти значения и будут определять оптимальные значения температуры внутреннего воздуха для исторического здания.

Работы Юрия Андреевича в соборах-музеях Московского Кремля представляют огромную ценность не только для сохранения культурно-исторического наследия, но и в техническом аспекте мониторинга исторических зданий и определения оптимальных параметров внутреннего микроклимата. По итогам этой работы Центральным телевидением был снят сюжет, который был предоставлен Дирекцией Музеев Московского Кремля в знак большого уважения к трудам великого ученого, нашего современника.

Литература

1. Табунщикова Ю. А. Оптимальные параметры внутреннего воздуха исторических зданий: методика определения // АВОК. – 2018. – № 3.
2. Camuffo D., Bernardi A. The Microclimate of the Sistine Chapel // Rome Bollettino Geofisico. – Anno 18. – Numero 2, Aprile–Giugno. – January, 1995. – P. 7–33.

Тепловой режим помещений памятников архитектуры (на примере соборов-музеев Московского Кремля)



Ю. А. Табунщиков, канд. техн. наук

В. Н. Дахно, канд. техн. наук

И. С. Мельникова, канд. техн. наук

В. Н. Проценко, инженер

■ «Микроклимат кремлевских соборов» (эфир от 18.11.1978, Гостелерадиофонд)

В течение ряда лет Научно-исследовательский институт строительной физики проводит исследования в соборах-музеях Московского Кремля с целью установления фактического температурно-влажностного режима помещений и определения значений температуры и влажности внутреннего воздуха, обеспечивающих долговременную сохранность ограждающих конструкций, настенной живописи и предметов прикладного искусства.

По условиям обеспечения теплового режима в помещениях соборы-музеи Московского Кремля можно разделить на две группы: к первой группе относятся соборы-музеи с регулируемыми в зимний период температурным и влажностным режимами внутреннего воздуха (Успенский, Архангельский и Благовещенский соборы-музеи), ко второй – соборы-музеи с нерегулируемым влажностным режимом в зимний период (из этой группы исследования проводились в церкви Ризоположения). В соборах-музеях с регулируемым в зимнее время температурно-влажностным режимом теплый воздух из системы кондиционирования подается через отверстия, расположенные в нижних частях помещений, и «выдавливается» через окна барабанов, снабженные системой дистанционного управления расходом. Летний режим в соборах-музеях Московского Кремля не регулируется.

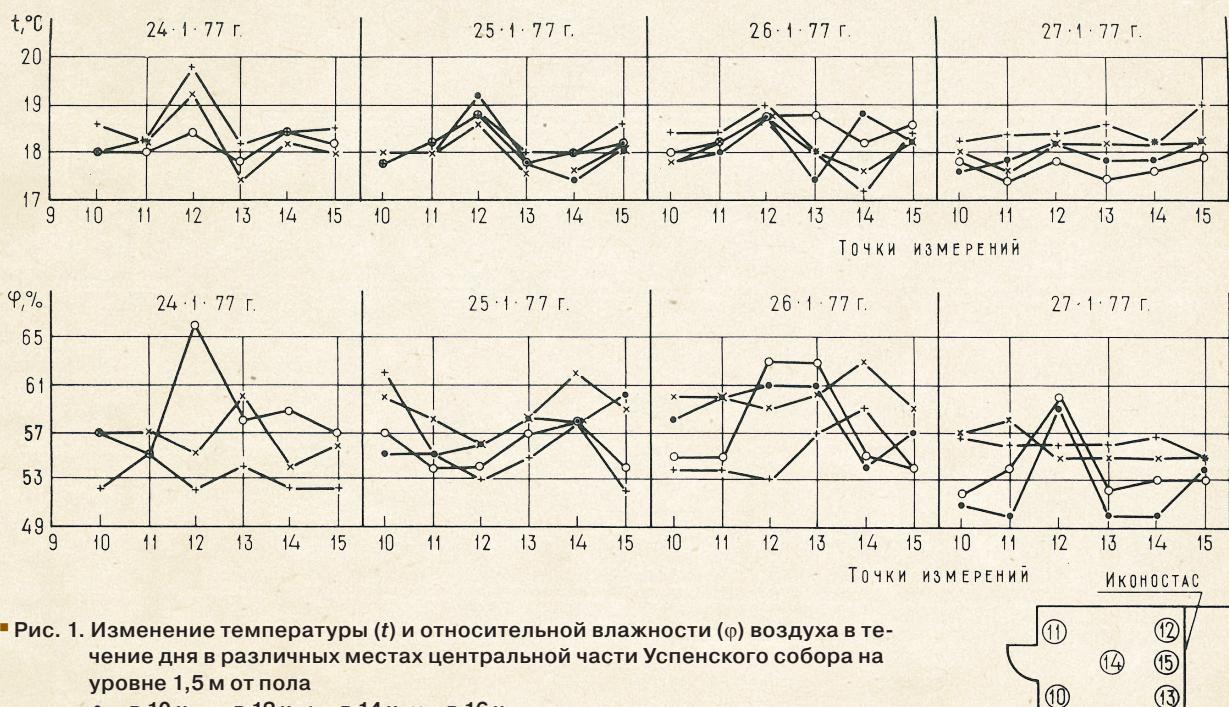
Исходя из архитектурно-планировочных особенностей, оказывающих влияние на формирование теплового режима, в каждом из

соборов-музеев можно выделить три части: центральную (основной объем собора); отдельные изолированные помещения; барабаны и подкупольное пространство. Натурные наблюдения фактического температурно-влажностного режима проводились в каждой из указанных частей соборов-музеев в зимнее время.

В центральной части каждого собора-музея определялись температура, относительная влажность и подвижность воздуха в различных точках на уровне 1,5 м от пола; температура и относительная влажность воздуха по высоте; температура, относительная влажность и скорость движения воздуха у приточных отверстий системы кондиционирования. Температура и относительная влажность воздуха на уровне 1,5 м от пола и у приточных отверстий измерялись психрометром Ассмана, а по высоте собора – с помощью меди-константановых термопар, прикрепленных к шарам-пилотам, наполненным гелием. Одна из термопар выполняла роль «мокрого» термометра, а другая – «сухого». Термопары подсоединялись к потенциометру ПП-63. Кроме того, производилась круглосуточная запись температуры воздуха по высоте собора с помощью гирлянды термопар, подвешенной к куполу. Подвижность воздуха определялась электротермоанемометром ЭА-2М.

Анализ данных измерений показывает, что в зимнее время температура и относительная влажность внутреннего воздуха на высоте 1,5 м от пола

* Ранее статья публиковалась в Сборнике научных трудов НИИ строительной физики «Микроклимат и теплоизоляция зданий» (1980).



■ Рис. 1. Изменение температуры (t) и относительной влажности (ϕ) воздуха в течение дня в различных местах центральной части Успенского собора на уровне 1,5 м от пола
 • – в 10 ч, о – в 12 ч, + – в 14 ч, × – в 16 ч.

в центральной части в период посещения собора-музея экскурсантами не постоянны, а изменяются во времени (рис. 1). Так, в одной и той же точке собора-музея температура в течение дня изменяется на 1,5 °С, относительная влажность – на 12 %, а перепады этих величин в один и тот же момент времени в разных точках соответственно составляют 2 °С и 16 %. Отмеченная на одном и том же уровне неравномерность температуры и относительной влажности внутреннего воздуха объясняется тем, что экскурсанты, попадая снаружи внутрь собора, «вносят» холод.

Температура, относительная влажность и влагосодержание внутреннего воздуха в один и тот же момент времени неодинаковы по высоте соборов-музеев. Например, в основном объеме Успенского собора температура изменяется по высоте незначительно (кривая 6 на рис. 2), тогда как в барабане наблюдается существенное падение температуры (кривые 2, 4 на рис. 2). В табл. 1 приведены значения температуры, относительной влажности и влагосодержания внутреннего воздуха в центральной части, барабанах и подкупольном пространстве Успенского собора-музея. Из таблицы видно, что влагосодержание воздуха с увеличением высоты несколько уменьшается. В подкупольном пространстве наблюдается большой разброс значений температуры. Это объясняется неравномерностью потока в этой области, вызванной турбулентностью течения. В подкупольном пространстве относительная влажность воздуха выше, чем у основания барабана. Можно

предположить, что в подкупольном пространстве образуется застойная зона. Аналогичные результаты получены и при измерениях в Архангельском и Благовещенском соборах-музеях.

В зимний период 1978 года «Сантехпроектом» проводилась регулировка системы кондиционирования. При этом было установлено, что количество воздуха, подаваемого в Успенский собор-музей, на 20 % меньше требуемого по расчету. Для проверки предположения, что недостаточная подача воздуха обусловливает понижение температуры и повышение относительной влажности воздуха в подкупольном пространстве, был значительно увеличен поток воздуха, подаваемого через центральный барабан, за счет перекрытия остальных четырех барабанов. В результате этого температура в подкупольном пространстве повысилась на 1,5 °С, а относительная влажность уменьшилась на 10 %. Аналогичный эксперимент в Архангельском и Благовещенском соборах-музеях положительных результатов не дал.

Параметры воздуха, измеренные в отдельных изолированных помещениях (Похвальский придел, Библиотека, Дмитровский придел в Успенском соборе-музее), практически не отличаются от соответствующих параметров воздуха в центральной части собора-музея на уровне 1,5 м от пола. Следовательно, температурно-влажностный режим воздуха внутри соборов-музеев достаточно равномерен (максимальная разница температур между стенами до сводов, полом и воздухом не превышает 1,5 °С).

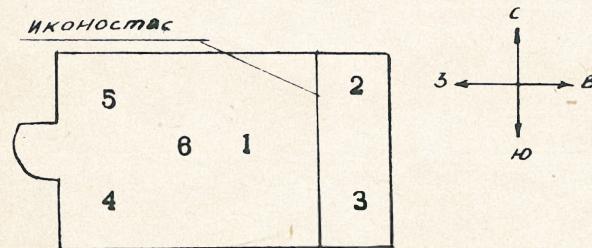
СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ: ГОД 1977

Таблица 1

Значение температуры, относительной влажности и влагосодержания воздуха по высоте центральной части Успенского собора-музея

Дата	Время, ч	Номера куполов	Температура внутреннего воздуха, °C				Относительная влажность внутреннего воздуха, %				Влагосодержание внутреннего воздуха, г/кг сухого воздуха				$\Delta d = d_1 - d_4, \text{ г/кг сухого воздуха}$
			t_1	t_2	t_3	t_4	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	d_1	d_2	d_3	d_4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
03.03	13:00	1	18,1	18,1	17,0	13,5	66	54	55	77	8,7	7,1	6,7	7,5	1,2
03.03	13:00	2	18,1	17,8	17,3	14,5	66	64	65	77	8,7	8,3	8,1	8,1	0,6
28.01	12:30	2	19,5	19,4	19,0	15,0	64	62	61	88	9,2	8,7	8,5	9,5	-0,3
28.01	14:30	2	20,3	19,7	18,4	16,6	69	65	68	79	10,5	9,5	9,1	9,5	1,0
03.03	13:00	4	18,1	18,1	17,0	14,8	64	66	64	83	8,4	8,7	7,9	8,9	-0,5
28.01	16:10	6*	18,4	18,3	16,8	-	61	61	69	-	8,2	8,2	8,4	-	-0,2

* Измерения производились под сводами в зоне основания центрального барабана.



■ Схема собора
1, 2, 3, 4, 5 – купола;
6 – свод у основания центрального барабана

Примечание:

t_1, φ_1, d_1 – параметры, измеренные на высоте 0,5 м от пола;
 t_2, φ_2, d_2 – параметры, измеренные на высоте 14 м от пола;
 t_3, φ_3, d_3 – параметры, измеренные у основания барабана;
 t_4, φ_4, d_4 – параметры, измеренные в подкупольном пространстве.

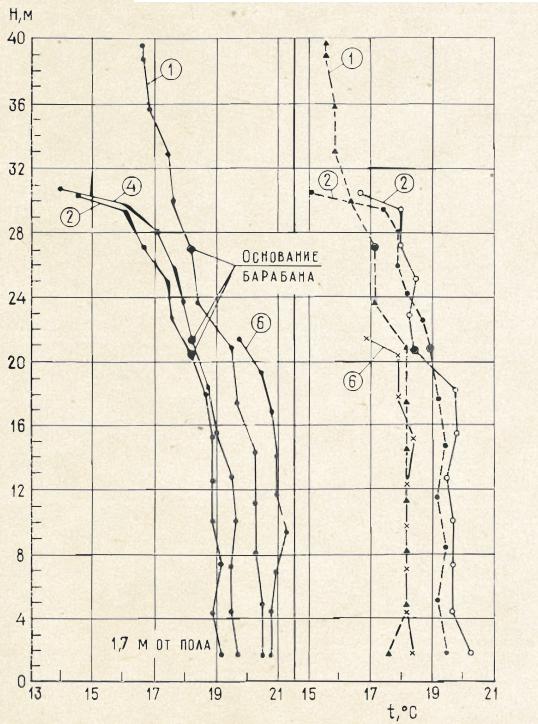
Аналогичные измерения в помещении с нерегулируемым в зимний период влажностным режимом (церковь Ризоположения) показали, что температура и относительная влажность воздуха на высоте 1,5 м от пола в центральной части церкви составляет соответственно 17,6–19,8 °C и 22–29 %. В барабане и подкупольном пространстве температура резко понижается (11 °C), а относительная влажность возрастает (40 %). Поскольку в зимнее время относительная влажность и влагосодержание внутреннего воздуха значительно ниже, чем в летнее, внутренние слои штукатурки в зимнее время высыхают и отслаиваются. Это обстоятельство было установлено при натурных наблюдениях и подтверждено специальными обследованиями сотрудниками Музеев Московского Кремля. Для нормализации влажностного режима в церкви Ризоположения была рекомендована установка системы кондиционирования.

Согласно требованиям «Инструкции по учету и хранению музейных ценностей в художественных отделах музеев системы Министерства культуры СССР», температура воздуха в музейных помещениях должна составлять 12–18 °C, а относительная влажность воздуха 60–65 % при суточных

колебаниях не более 5 %. Так как температурно-влажностный режим в соборах-музеях регулируется только в зимнее время, в течение большей части года параметры его значительно отличаются от требуемых. Так, в Успенском соборе-музее, по данным измерений, в 1977 году влажность внутреннего воздуха только в течение 78 дней соответствовала установленному Инструкцией значению, в Архангельском – 75, Благовещенском – 67 дней.

Значительные колебания влажности внутреннего воздуха обусловливают колебания влажности и деформации внутреннего слоя стен (штукатурка с фресками) и дерева (иконостас) и вызывают их разрушение. Таким образом, необходимым условием обеспечения долговременной сохранности памятников культуры является регулирование в них в течение года температурно-влажностного режима.

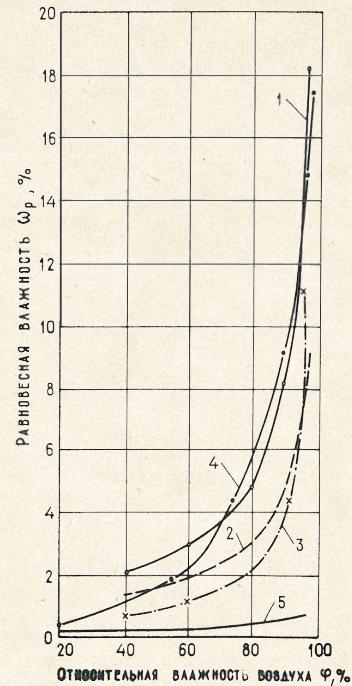
Одновременно с натурными измерениями были проведены исследования влияния изменения параметров внутреннего воздуха (в частности, его относительной влажности) на материалы ограждающих конструкций соборов-музеев. При изучении способности материалов к поглощению и отдаче влаги в гигроскопической области были выявлены



■ Рис. 2. Распределение температуры внутреннего воздуха в разное время дня под куполами (1, 2, 4) и в центральной части (6) Успенского собора
28.01.1977
— в 10.30, ----- в 12.30
— в 14.30, -x- в 16.30



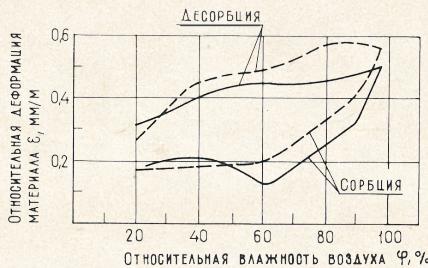
сорбционные характеристики ряда материалов, взятых в различных местах ограждающих конструкций Успенского и Архангельского соборов-музеев. Анализ сорбционных кривых этих материалов показал, что они обладают значительно более высокой равновесной влажностью, чем аналогичные современные материалы. Так, максимальная гигроскопическая влажность (т.е. влажность, соответствующая полному насыщению воздуха при данной температуре) красного кирпича, взятого из стен соборов-музеев Московского Кремля составляет 9–18 %. Эта величина для современного красного кирпича, в том числе кирпича, который в настоящее время используется для реставрационных работ в Московском Кремле, не превышает 1–1,8 %. Повышенная влажность материалов ограждений архитектурных памятников обусловлена, очевидно, значительным содержанием солей в строительных материалах, эксплуатируемых в течение трех веков. Для проверки этого предположения были определены сорбционные характеристики образцов кирпича, специально изготавливающегося для реставрации кремлевских музеев, которые предварительно были пропитаны солями Na_2SO_4 и MgSO_4 . Сорбционные характеристики материалов, взятых из стен соборов, и материалов, искусственно засоленных, как следует из данных рис. 3, близки друг к другу.



■ Рис. 3. Кривые равновесной влажности красного кирпича: 1, 2, 3 – образцы, взятые из стен собора, 4 – образец реставрационный, искусственно засоленный смесью солей Na_2SO_4 и MgSO_4 , 5 – реставрационный, незасоленный

Повышенная влажность ограждений способствует их деформативным изменениям. Исследования по установлению зависимости деформации от влажности материала ограждений музеев-соборов выполнялись на отечественной голографической установке СИН. Установка включает в себя вакуумные камеры, в которые помещают образцы испытываемых материалов, систему откачки и напуска водяных паров, оптические устройства регистрации веса и деформации образцов. При исследовании деформаций использовались методы голографической и лазерной интерферометрии. Метод голографической интерферометрии позволяет получить трехмерную картину перемещения точек поверхности, вызванного деформацией материала, и выделить любой компонент пространственного вектора перемещения поверхности в этих точках. При расшифровке голограмм расчеты производились по таблицам, специально рассчитанным на ЭВМ. Метод лазерной интерферометрии дает возможность получить один компонент пространственного вектора перемещения точек поверхности, практически не производя расчетов.

На рис. 4 приведены кривые относительных деформаций образцов штукатурки, взятых из стен Успенского собора-музея. Относительная деформация представляет собой отношение изменения линейного размера образца Δl в мм к его линейному размеру в абсолютно сухом воздухе ($\phi = 0 \%$). Из рисунка видно, что наиболее заметное увеличение относительной деформации этого материала (кривые 1, 2) отмечается в интервале



■ Рис. 4. Кривые сорбции и десорбции штукатурки стен Успенского собора:
 — штукатурка из алтарной преграды (тыльная сторона);
 ---- штукатурка на северной стене, 2-й ярус

влажности воздуха 60–100 % (процессы сорбции). При десорбции влаги штукатуркой, т. е. при усадке материала (кривая 2), наблюдается несколько иная картина: в интервале $80\% < \varphi < 87\%$ величина не меняется, в диапазоне 60–80 % наблюдается значительное (от 0,58 до 0,49 мм/м) уменьшение ε , которое продолжается до значения влажности $\varphi = 40\%$, затем снова начинается участок больших приращений ε . Кривые относительных деформаций белого камня имеют подобный, хотя и менее ярко выраженный, характер.

Таким образом, при определении оптимального температурно-влажностного режима помещений памятников искусства и архитектуры необходимо

выбрать такие параметры его, при которых процессы разрушения, неизбежно происходящие по мере старения и эксплуатации памятников, минимальны. Из данных, полученных в результате исследования сорбционно-деформативных характеристик строительных материалов соборов-музеев, следует, что одним из путей ограничения интенсивности процессов разрушения материалов является сведение к минимуму деформаций материала, вызываемых поглощением влаги. Из анализа поведения кривых $\varepsilon = f_1(\varphi)$ и $\varphi \rho = f_2(\varphi)$ для материалов ограждающих конструкций соборов-музеев Московского Кремля (штукатурка, белый камень, красный кирпич) видно, что наиболее благоприятной с этой точки зрения является область $40\% < \varphi < 67\%$. Исходя из этого, следует рекомендовать поддерживать в помещении соборов-музеев относительную влажность внутреннего воздуха в указанных пределах.

На основании анализа сорбционно-деформативных характеристик материалов сделан вывод, что для Успенского, Архангельского, Благовещенского соборов-музеев температура внутреннего воздуха должна быть зимой 18°C и летом не более 20°C . Относительная влажность внутреннего воздуха должна быть 50 % при возможном отклонении в течение суток на 5 % в сторону увеличения в теплое время года и в сторону уменьшения в холодное время года.

Памяти Елены Георгиевны Малявиной (09.02.1941–06.11.2025)

Ушла из жизни Елена Георгиевна Малявина.

Елена Георгиевна Малявина родилась в Москве, после окончания МИСИ работала в должности инженера-проектировщика в ГПИ «Промстройпроект» под руководством крупнейших специалистов в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха Л. С. Казанской и Б. В. Баркалова.

В 1976 году Е. Г. Малявина защитила кандидатскую диссертацию. В 2013 году ей присвоено ученое звание профессора. Ее научно-педагогический стаж насчитывал более 50 лет. Под руководством Е. Г. Малявиной защитили кандидатские диссертации семь аспирантов.

К сфере научных интересов Е. Г. Малявиной относились такие разделы строительной теплофизики, как нестационарный тепловой режим помещений, комфортность пребывания людей в помещениях, воздушный режим зданий, расчетные параметры и годовые модели наружного климата. Е. Г. Малявина участвовала в практическом проектировании. Она занималась разработкой раздела «Энергоэффективность» в утверждаемой части проектов и являлась автором более 150 проектов в этой части.

Профессор Е. Г. Малявина – автор и соавтор более 15 учебников, учебных пособий, методических указаний и справочных пособий, всего ею опубликовано более 200 научных и методических печатных работ. Награждена медалями «Ветеран труда» (1988), «В память 850-летия Москвы» (1997), медалями МИСИ-МГСУ «За заслуги в строительном образовании и науке», знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2007), медалью НП «АВОК» им. В. Н. Богословского «За значительные заслуги в развитии отечественной инженерной школы в области ОВК» (2007).

Мы навсегда запомним Елену Георгиевну – яркого, открытого, доброжелательного человека, талантливого педагога и высокопрофессионального специалиста.



Коллектив АВОК выражает искренние соболезнования семье Елены Георгиевны, ее родным и близким.