



УДК 726.822:628.8

Э.К. БОРОНБАЕВ, Д.Д. ИМАНКУЛОВ, А.М. АБДЫЛДАЕВА,  
Б.В. АБРАМОВ, Ю.В. ПОЛЯКОВ  
E.K.BORONBAEV, D.D.IMANKULOV, A.M. ABDYLDAEVA,  
B.V. ABRAMOV, Y.V.POLYKOV  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА МАВЗОЛЕЯ ШАХ-ФАЗИЛЬ THE INVESTIGATION OF THERMAL REGIME OF THE MAUSOLEUM OF SHAH- PHASIL

*Орто кылымдын мемориалдык күмбөзүндөгү өзүнөн өзү болуп турган жылуулук режиминин параметрлерин жеринде жүргүзүлгөн өлчөөлөрүнүн теориялык негиздери, мүмкүнчүлүктөрү жана натыйжалары берилген. Өлчөлгөн ички жана сырткы абанын өзгөрүлмө температураларын жана салыштырмалуу нымдуулуктарын салыштыруунун натыйжасында жылдын салкын жана суук мезгилинде күмбөздү консервациялоо, кирген адамдардын суук тийип ооруп калуусун алдын алуу жана анын курулмаларынын бузулбай сакталуусун жакшыртуу зарылдыгы көрсөтүлгөн.*

**Чечүүчү сөздөр:** жылуулук режими, табигый жылуулук абал, айлана-чөйрөнүн энергиясы, күн нурунун энергиясы.

*Представлены теоретические основы, предпосылки и результаты натурных измерений параметров самоустанавливающегося теплового режима мемориального мавзолея средневековья. Сопоставление измеренных переменных температур и относительной влажности внутреннего и наружного воздуха показали на необходимость консервации мавзолея в прохладные и холодные периоды года для предотвращения простудных заболеваний посетителей и улучшения сохранности сооружения.*

**Ключевые слова:** тепловой режим, естественное тепловое состояние, энергия окружающей среды, энергия солнечной энергии.

*Theoretical bases, backgrounds and results of site measurements of self-establishing thermal regime's parameters of the middle ages memorial mausoleum are presented. Comparison of the measured air indoor and outdoor dynamic temperatures and relative humidity has validated that it is necessary preservation of the mausoleum in cool and cold periods of year for maximum prevention visitors' flu diseases and construction safety.*

**Key words:** thermal regime, natural thermal condition, ambient energy, solar thermal energy.

До настоящего времени не были изучены особенности теплового режима мавзолея Шах-Фазиль. Нежелательный ход формирования этого режима в холодный период года является одной из главных причин ухудшения внутреннего микроклимата и сохранности сооружения.

Мавзолей Шах-Фазиль, как представитель мемориальной архитектуры средневековья в Центральной Азии, сооружен для достижения исторически важной цели – создать укрытие над захоронением, увековечить и возвеличить имя усопшего [1]. Справедливо предположить, что монументальность формы, местоположение, строительные материалы, внешнее и внутреннее убранство принимались не только с позиции главной цели, но и с учетом задач обеспечения прочности и долговечности сооружения. Очевидно и то, что общие проблемы его возведения решались на основе веками приобретенного опыта, но, все же, при ограниченных специальных знаниях, касающихся, например, отрицательного влияния ожидаемых климатических и погодных условий на сооружение в целом и на его отдельные элементы.

В настоящее время мавзолей представляет собой некий экспонат-сооружение. В новых условиях остаются незначительными количество и продолжительность пребывания посетителей и сотрудников. Термодинамические процессы формирования

круглогодичного теплового состояния сооружения таковы, что его можно рассматривать как обычное здание, теоретическая концепция [2] которого гласит: "Здание – это замкнутый теплозащищенный обитаемый объем с обновляемым воздухом". Соответственно, для новых условий внутренний объем мавзолея следует замкнуть, обеспечить необходимый уровень теплозащиты его ограждений и допустимые параметры внутреннего воздуха. При этом, как и для неиспользуемого зимой дачного домика, требуется решать задачи улучшения сохранности мавзолея. Произведенные расчеты показали, что вышеуказанные задачи решаются, если установить: **а)** слой теплоизоляции с наружной стороны восьмигранной и купольной части; **б)** новую конструкцию пола мавзолея с деревянным покрытием, слоями теплоизоляции и гидроизоляции; **в)** дистанционно (автоматически) регулируемую зенитную вентиляционную конструкцию в куполе; **с)** мощные системы искусственных систем отопления и вентиляции. Реализации всех четырех мер нецелесообразны, во-первых, из-за исторической недопустимости нарушения первоначальной архитектуры уникального наследия средневековья (Рис.1.), внешнего и внутреннего убранства мавзолея; во-вторых, из-за требуемых больших затрат не только на его реконструкцию, но и эксплуатацию. С учетом такого вывода ставилась задача максимально улучшить сохранность мавзолея путем улучшения его круглогодичного теплового режима.

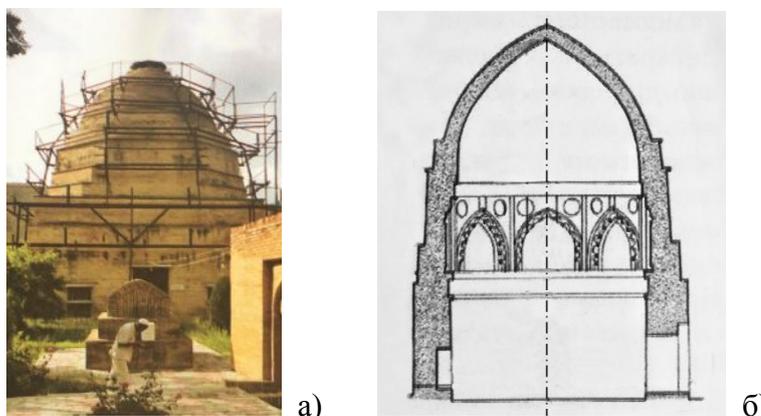


Рис. 1. Внешний вид (а) и схема-разрез (б) мавзолея Шах-Фазиль [1].

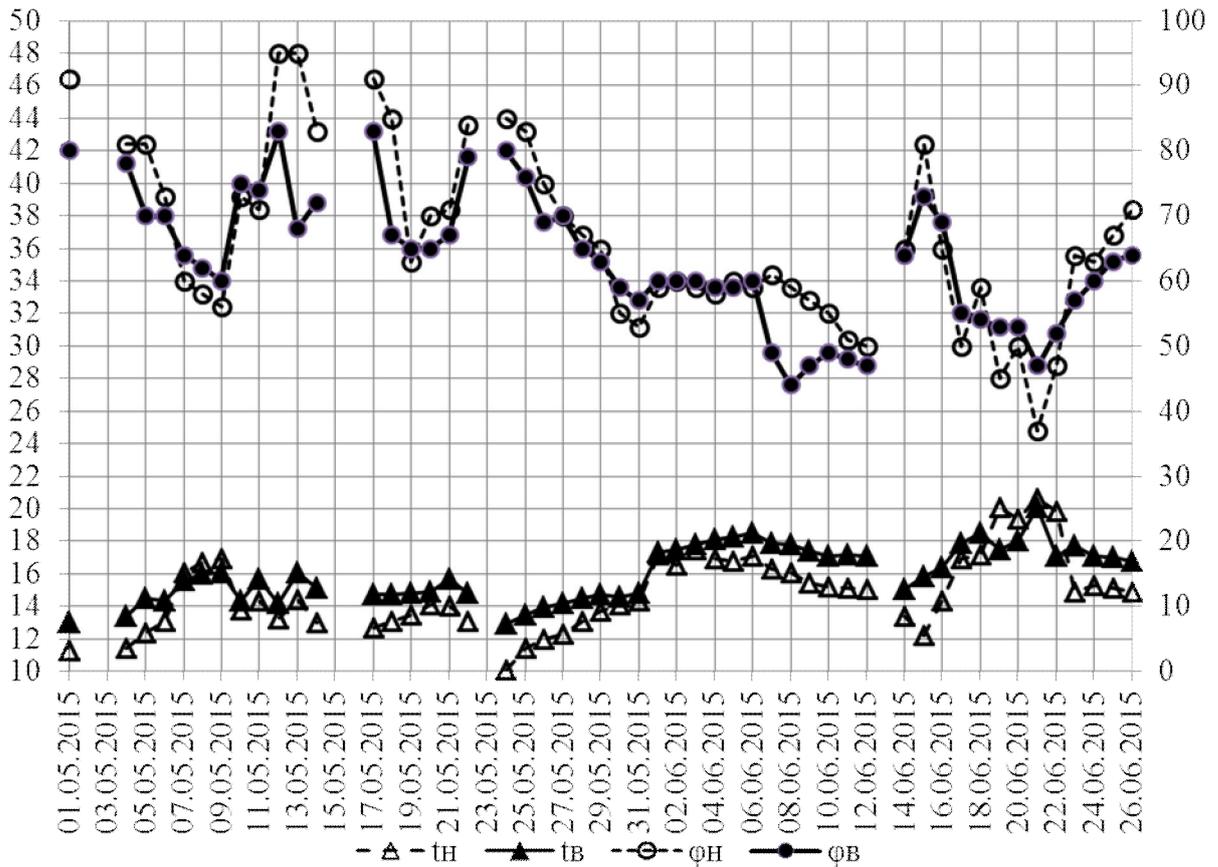
Исследования теплового режима мавзолея Шах-Фазиль осуществлены на основе теоретическо-практических положений, разработанных для гражданских зданий [3]. По квалификации теоретически возможных их тепловых состояний (как искусственное, естественно-возмущенное и естественное), мавзолей Шах-Фазиль фактически находится в естественном тепловом состоянии. Это тот случай, когда его тепловой режим формируется лишь под действием энергии окружающей среды и солнечной радиации. Тепловой эффект небольшого количества людей, редко прибывающих и присутствующих на короткое дневное время, и одной лампочки освещения незначителен. Поэтому естественно-возмущенное тепловое состояние практически не наблюдается, а искусственное тепловое состояние отсутствует, поскольку сооружение не имеет систему отопления. Решено проводить натурные экспериментальные исследования теплового режима мавзолея, так как теоретическое решение дифференциально-интегральных трехмерных тепловых и аэродинамических уравнений нестационарных процессов, происходящих в объеме и на внешней его границе не представляются возможным. Такая сложность усугубляется и тем, что краевые (граничные и начальные) условия этих процессов представляют собой аналогичные громоздкие уравнения.

Не вдаваясь в особенности методики и процедуры натурных исследований, представляются на Рис. 2. некоторые результаты экспериментальных измерений<sup>1</sup>. Они реализованы с использованием современных высокоточных приборов testo 425 и Fluke 68. Учитывая то, что обычно характер изменений температуры наружного воздуха по часам суток близок к синусоиде, а ее минимумы и максимумы наблюдаются, соответственно,

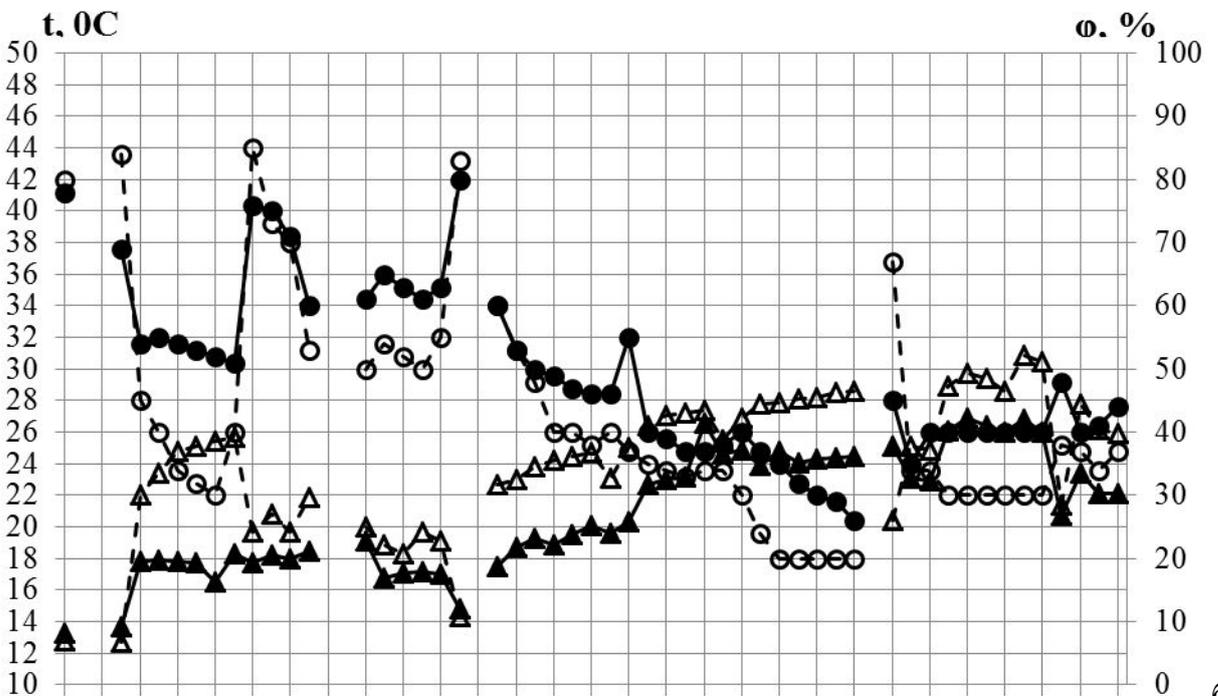
<sup>11</sup> Долгосрочные замеры проводились сотрудником мавзолея Косимовым А.



перед восходом солнца и в 13-15 ч солнечного времени, решено произвести измерения около 6 ч и 14 ч декретного времени.



a)



)

Рис. 2. Фрагмент результатов долгосрочных натуральных измерений температур и относительной влажности наружного и внутреннего воздуха: а) около 6 ч. утра; б) около 14 ч. дня.



Установлено, что температура и относительная влажность внутреннего воздуха изменяются при подавляющем воздействии интенсивного воздухообмена. Эти параметры в основном зависят от температуры и относительной влажности поступающего большого количества наружного воздуха. Такой воздухообмен вызван, во-первых, значительными площадями живых сечений трех проемов в нижней зоне и зенитного проема купола; во-вторых, большой высотой помещения мавзолея – около 15 м. Изменения интенсивности теплоты суммарной (прямой, рассеянной и отраженной) солнечной радиации, поступающей на наружные поверхности ограждений, оказывают практически незначительное влияние на формирование температуры внутреннего воздуха, поскольку массивность ограждений очень высокая.

Сопоставление соответствующих значений, как температур, так и относительной влажности наружного воздуха и воздуха в мавзолее показывает, что в утренние часы поступающий более холодный наружный воздух снижает температуру внутреннего воздуха (см. рис.2, а). В часы ближе к солнечному полудню, наоборот, более высокая температура поступающего наружного воздуха повышает температуру внутреннего воздуха (см. рис.2, б). Причем, в утренние часы температура воздуха в мавзолее выше температуры наружного воздуха на 1,5-2 °С (за редким исключением, когда эта разница около 2,5 – 3 °С, например, в 23 мае, 15 и 23 июне). В часы после солнечного полудня, из-за большой термической массы ограждений мавзолея наоборот, температура воздуха в нем на 1,2 – 2,0 °С ниже, чем температура поступающего наружного воздуха. Следует отметить, что такая максимальная разница температур не превышала 3 – 5 °С.

Анализ динамики изменения относительной влажности воздуха в мавзолее  $\varphi_{в}$  показал, что эти изменения происходят под действием изменения относительной влажности поступающего наружного воздуха. Это особо заметно в дождливые дни – 5, 11 и 22 мая и пасмурный день с кратковременными дождями 14 июня, когда значения относительной влажности воздуха в мавзолее максимальны. В эти дни при относительной влажности наружного воздуха  $\varphi_{н}$  в пределах 67-95 % значения  $\varphi_{в}$  поднимались до 80-83 %. Как видно из рис.2, а, в ранние утренние часы в период 24 мая по 6 июня изменения  $\varphi_{в}$  фактически повторяет динамику изменения  $\varphi_{н}$ , а соответствующие разницы между ними не повышают 10%. В этот период в часы после полудня значения  $\varphi_{в}$  устанавливались на 8-17 % выше, чем  $\varphi_{н}$ .

Осуществлены бесконтактные измерения температуры на внутренних поверхностях ограждений мавзолея с помощью современного инфракрасного прибора Fluke 68. Результаты показали, что температуры на этих поверхностях отличаются на 1,5 – 2 °С от температуры внутреннего воздуха. Измерениями также установлено, что температуры на внутренней гладкой поверхности ограждений отличаются от температур на их выступающих поверхностях. Разница соответствующих температур более значительна для декоративных поясов купольной части мавзолея, где толщина на гладкой зоне ограждения более низкая и составляет около 0,27 м. На выступающих более тонких поясах эта температура существенно ближе к текущим значениям температуры внутреннего воздуха. По этой причине в холодный период увеличивается вероятность выпадения влаги на выступающих поверхностях ограждений. Установлено, что наблюдается процесс интенсивной передачи теплоты через архитектурный [4] тепловой мост – охлаждающий эффект окружающего воздуха более высокий в зоне теплового моста. Отсюда можно сделать практически важный вывод, что выступающие части ограждений более подвержены повреждениям из-за их низкой температуры и более высокой влажности.

В результате натурных исследований пришли к практическому важному выводу: Следует принимать приемлемый тепловой режим неотопливаемых памятников

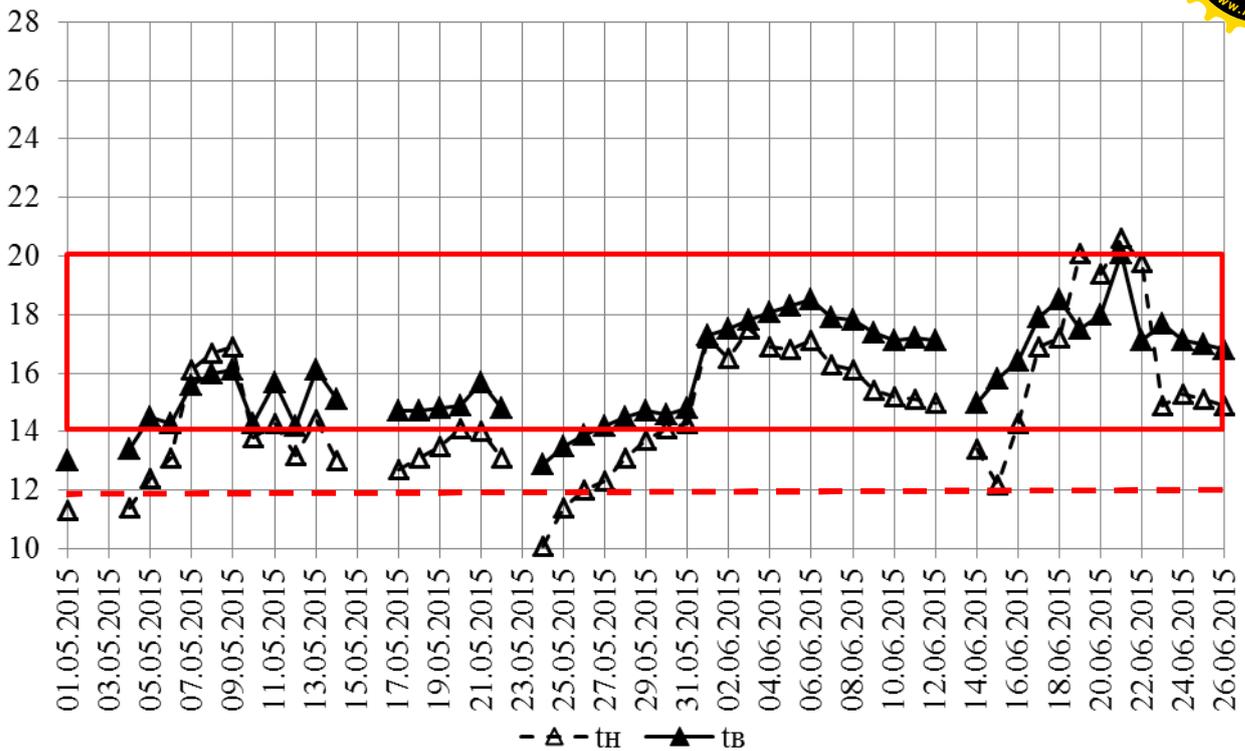


архитектуры, при котором обеспечивается максимальная сохранность их конструкции, историко-архитектурное и художественное убранство интерьера. Для мавзолея Шах-Фазиль главным способом установления такого режима является выбор и осуществление режима его естественного проветривания, чтобы установилось в нем более благоприятное естественное тепловое состояние. При этом решается задача гармонизации динамики энергии окружающей среды и солнечной радиации с самоустанавливаемыми текущими параметрами внутренних условий. Для обеспечения приемлемых условий необходимо учитывать особенности термодинамических процессов, происходящих как в объеме самого сооружения, так и в ограждающих конструкциях. На основе натурных и вычислительных исследований разработаны эффективные способы управления этими процессами и окончательные рекомендации.

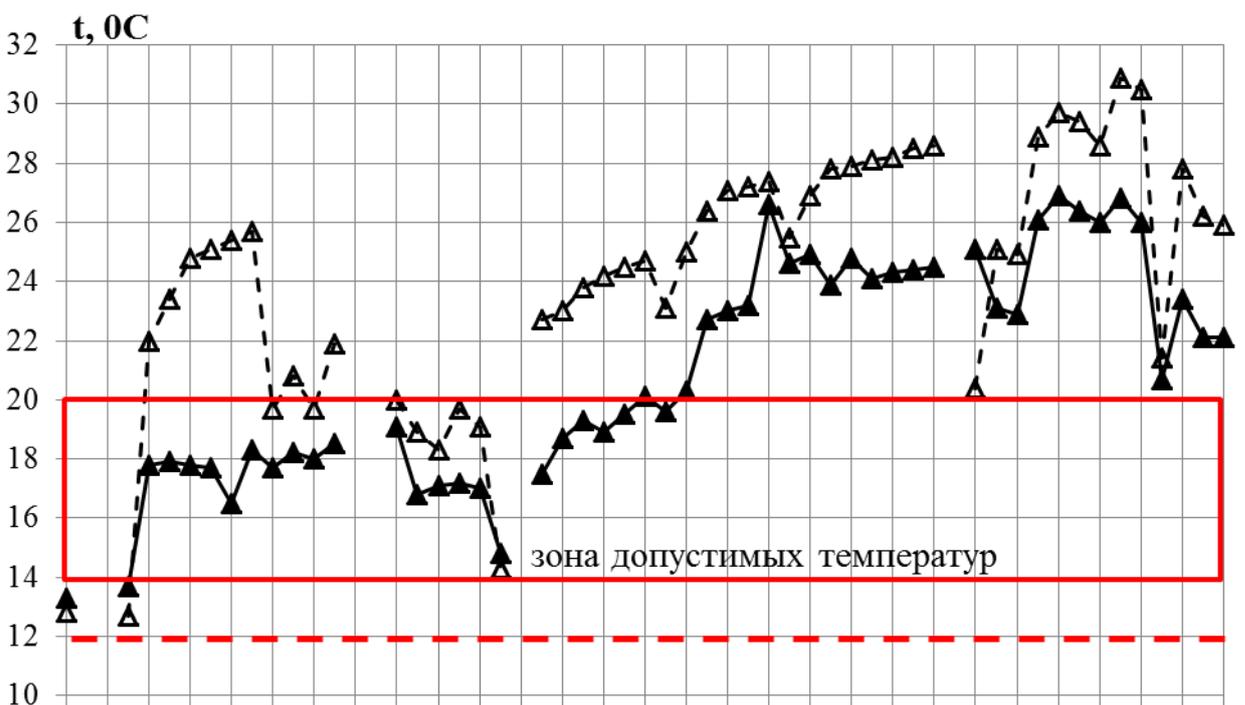
По Рис. 2 можно определить в какие утренние часы и в часы около полудня выполняются условия  $t_n > t_e$  и  $\varphi_n < \varphi_e$ , чтобы принимать более высокий уровень интенсивности воздухообмена. Так, например, за период с 10 мая по 18 июня, в утренние часы (см. рис 2, а) эти условия не выполняются, т.е. температура наружного воздуха ниже температуры внутреннего воздуха, а  $\varphi_n$  выше или равна  $\varphi_e$ . В этот период в часы около полудня, наоборот,  $t_n > t_e$  и в большинстве случаев  $\varphi_n < \varphi_e$ . Соответственно, в часы дня с такими условиями следует организовать интенсивное проветривание помещения. При этом не только повышается температура внутреннего воздуха, но накапливается теплота в массе ограждений. Как видно на рис. 2, 14 и 15 мая условие  $t_n > t_e$  не выполняется, к тому же,  $\varphi_n > \varphi_e$ . Следовательно, в эти дни нецелесообразно принимать интенсивный воздухообмен.

Для мемориальных сооружений, в частности, музея Шах-Фазиль, с позиции приемлемого естественного теплового состояния недопустимо принимать круглогодичный режим посещения людей. Годовой и суточный график посещения людей необходимо составить с учетом предотвращения простудных заболеваний, особенно детей и людей преклонного возраста. Если условно принимать помещение мавзолея как помещение общественного здания 6-категории [5] с временным пребыванием людей в уличной одежде, то допустимая температура воздуха в обслуживаемой (обитаемой) зоне должна быть в пределах 14-20 °С, а его относительная влажность не нормируется. Как видно на Рис 3, допустимые температуры наблюдаются даже около 6 ч утра (см. рис.3, а), когда люди отсутствуют в помещении мавзолея (Отметим, что в нерабочее время допускается снижение этой температуры до 12 °С). Соответственно, для холодного периода дневной график посещения людей рекомендуется принимать, например, с 11 ч утра с условием, что к этому моменту за счет интенсивного проветривания следует повышать температуру воздуха в обслуживаемой зоне до 14 °С. Как видно (см. рис.3, а и б), такой режим подготовки помещения не удастся осуществить с 1 по 3 мая, когда даже температура наружного воздуха поднимается после полудня лишь до 12,5 °С.

Изучение самоустанавливающегося теплового режима [6], наблюдаемого в мавзолее, позволило установить, что необходим период его консервации в прохладное и холодное время года. Не вдаваясь в особенности определения границ этого периода, изложенного в [7], здесь отметим, что необходимо учесть, во-первых, динамику осенне-весенних погодных условий; во-вторых, предотвращения простудных заболеваний посетителей; в-третьих, обеспечения приемлемо-допустимого теплового режима в прохладные сутки с целью обеспечения максимальной сохранности музея. Соответственно, для периода консервации мавзолея разработаны [7] меры по обеспечению ее сохранности.



а)



б)

Рис. 3. Результаты натуральных измерений температур внутреннего и наружного воздуха: а) около 6 ч. утра; б) около 14 ч. дня с указанием зон нормативно-допустимых температур.

### Выводы

На основе теоретических предпосылок и результатов натуральных экспериментальных исследований теплового режима мемориального мавзолея установлено, что возможно гармонизированное использование энергии окружающей среды и солнечной радиации для: а) улучшения внутреннего микроклимата и сохранности сооружения; б) назначения



дневного графика посещения людей; в) определения и сокращения продолжительности его консервации в холодный период года.

### Список литературы

1. Иманкулов Ж. Архитектура Туркестана эпохи Караханидов (Историко-теоретическое исследование) [Текст] / Ж. Иманкулов, К. Конкобаев. – Анкара: 2014. – 346 с.
2. Боронбаев Э. К. Имитационная математическая модель и энергоэффективность здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Энергосбережение – проблемы, современные технологии и управление /// КТУ. – Бишкек: Техник, 2004. – С. 233-238.
3. Боронбаев Э.К. Повышение энергоэффективности зданий: предпосылки, теория, практика [Текст] / Э.К. Боронбаев – Бишкек: Технология, 2004. – 253 с.
4. Боронбаев Э.К. Энергосберегающая архитектура и тепловые мосты в ограждениях здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Вестник Кырг. гос. ун-т строит., трансп. и архит. – Бишкек: 2013. – Выпуск 3(41). – С. 130-136.
5. ГОСТ 30494. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]: [дата введ. 01.01.2013 г.]. – М.: Стандартиформ, 2013. – 11 с.
6. Boronbaev E.K. Solar-Thermal Supply and Energy Saving Architecture of Buildings [Text] / E.K. Boronbaev // Applied Optics and Solar Energy. – Prague: 1989. – P. 296-299.
7. Боронбаев Э. К. Пути улучшения теплового режима и сохранности мавзолея Шах-Фазиль [Текст] / Э. К. Боронбаев, А. М. Абдылдаева, Б. В. Абрамов и др. // Вестник Кырг. гос. ун-т строит., трансп. и архит.. – Бишкек, 2017. – Выпуск 1(55).