СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК

DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.7

Исследование и изготовление опытных образцов легкобетонных панельных стен с экраном

Х.Р. Рузиев

Бухарский инженерно-технологический институт (БИТИ); г. Бухара, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

Введение. Защита помещения от перегрева продолжает оставаться актуальной проблемой в индустриальном жилищном строительстве в жарком сухом климате. Цель настоящего исследования — теоретическое и экспериментальное обоснование расчета конструирования легкобетонных панельных наружных стен с экраном для крупнопанельных жилых домов в условиях жаркого климата, обладающих улучшенными эксплуатационными качествами и обеспечивающих технико-экономическую эффективность.

Материалы и методы. Рассмотрены методы обеспечения нормативной амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности в стене как за счет целенаправленного формирования свойств материала, так и конструктивных мероприятий. Разработаны конструкции легкобетонных панелей наружных стен с экраном и предложения по технологии их производства, даны рекомендации по их эксплуатации в летних и зимних условиях.

Результаты. Проведены теоретические и экспериментальные исследования в лабораторных и натурных условиях. Работа выполнена поэтапно. На первом этапе осуществлено конструирование и определена технология производства панелей с экраном на опытных образцах-фрагментах в лабораторных условиях. Для этого изготовлены экспериментальные фрагменты панелей размером 1 × 2 м в лабораторных условиях. Обозначены параметры воздушной прослойки из условия обеспечения достаточной естественной вентиляции. На втором этапе исследована рациональная структура легких бетонов для наружных стен в жарком климате. Для нахождения оптимальной структуры легкого бетона с теплотехнической точки зрения проведен 3-х факторный эксперимент. На третьем этапе осуществлено теоретическое исследование температурного режима экранированных и однослойных крупнопанельных наружных стен. На четвертом этапе обобщены проведенные исследования, изготовлены и смонтированы опытно-промышленные образцы конструкций панелей с экраном в количестве 10 шт. на Бухарском домостроительном комбинате.

Выводы. Описанное исследование методом экспериментального конструирования и опытное изготовление образцов-фрагментов подтвердили возможность изготовления панелей с экраном и воздушной прослойкой в едином технологическом цикле. Анализ результатов теоретических расчетов показал, что стены с вертикальными экранами и вентилируемой воздушной прослойкой являются достаточно эффективным средством снижения воздействия на здания солнечной радиации и уменьшения расходов на охлаждение помещений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплопроводность, легкий бетон, портландцемент, долговечность, теплоустойчивость, термическое сопротивление, керамзитобетон, теплопередача, воздушная прослойка, экран

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рузиев Х.Р. Исследование и изготовление опытных образцов легкобетонных панельных стен с экраном // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 3. Ст. 7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.7

Research and production of prototypes of lightweight concrete panel walls with a screen

Khoshim R. Ruziev

Bukhara Engineering-Technological Institute (BITI); Bukhara, Uzbekistan

ABSTRACT

Introduction. In industrial housing construction in a dry hot climate, the issues of protecting the premises from overheating have not yet been resolved. The purpose of this study is the theoretical and experimental substantiation of the method of calculating the construction of lightweight concrete panel exterior walls with a screen for large-panel residential buildings in hot climates, with improved performance and providing technical and economic efficiency.

Materials and methods. Methods have been developed for ensuring the normative amplitude of temperature fluctuations of the inner surface in the wall due to the targeted formation of material properties and design measures, lightweight concrete

wall panels with a screen and suggestions for their production technology have been developed, and recommendations have been made for their operation conditions. The methods of a rational constructive solution to the sun wall consisting of a sunscreen and a supporting structure separated by an air gap have been investigated.

Results. It was supposed to carry out theoretical and experimental studies of the operational properties of lightweight concrete panels of external walls with a screen in laboratory and in-situ conditions.

The work was performed in stages: At the first stage, the design and production technology of panels with a screen on prototype fragments under laboratory conditions was performed. For this, experimental fragments of 1 × 2 m panels will be made in the laboratory. The parameters of the air gap were determined from the condition of ensuring sufficient natural ventilation. At the second stage, a study was made of the rational structure of lightweight concrete for exterior walls in hot climates. To find the optimal structure of lightweight concrete from a thermal point of view, a 3-factor experiment was conducted.

At the third stage, a theoretical study of the temperature regime of shielded and single-layer large-panel exterior walls was performed. At the fourth stage there was a generalization of the above studies, the manufacture and installation of experimental-industrial designs of panels with a screen in the amount of 10 pieces. At the Bukhara house-building combine.

Conclusions. The described study by the method of experimental design and the experimental production of sample fragments confirmed the possibility of producing panels with a screen and an air gap in a single technological cycle. Analysis of the results of theoretical calculations shows that walls with vertical screens and a ventilated air gap are quite effective means of reducing the exposure of solar radiation to buildings and reducing the cost of cooling premises.

KEYWORDS: thermal conductivity, lightweight concrete, Portland cement, durability, heat- resistance, thermal resistance, expanded clay concrete, heat transfer, air gap, screen

FOR CITATION: Ruziev K.R. Research and production of prototypes of lightweight concrete panel walls with a screen. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2019; 9(3):7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.7 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

К числу актуальнейших технических и экономических проблем индустриального домостроения следует отнести проблему обеспечения в жилых зданиях теплового комфорта с минимальными суммарными затратами на теплозащиту зданий, их обогрев зимой и защиту от перегрева летом. При проектировании современных зданий и их ограждающих конструкций не всегда достаточно полно учитываются климатические особенности местности, теплотехнические характеристики местных строительных материалов и конструкций, методы их расчета при действии солнечной радиации, что в ряде случаев приводит к перегреву помещений.

Цель настоящей работы — теоретическое и экспериментальное обоснование метода расчета конструирования легкобетонных панельных наружных стен с экраном для крупнопанельных жилых домов в условиях жаркого климата, обладающих улучшенными эксплуатационными качествами и обеспечивающих технико-экономическую эффективность.

Повысить теплозащиту наружных стен возможно путем усовершенствования конструкций. Например, возможно применение наружных ограждающих конструкций с эффектом рекуперации (возвращения) тепла.

В ЦНИИЭП жилища разработаны вентилируемые керамзитобетонные стеновые панели с эффектом рекуперации. Суть эффекта рекуперации заключается в том, что тепло частично возвращается

в помещение частичный возврат тепла в помещение. Поэтому следует использовать рассматриваемый тепловой эффект в наружных стенах с воздушными прослойками, применение таких стен достаточно распространено в жилищно-гражданском строительстве [1–5].

Весьма важно эффективное решение этих задач для районов с экстремальными условиями, в частности, для районов с жарким климатом.

В настоящее время в связи с быстрым ростом потребления энергии остро встал вопрос об ограничении и экономии ее путем использования для обогрева и охлаждения помещений энергетических ресурсов местного назначения (электрической, солнечной и других видов энергии), применения наружных ограждений с повышенными теплозащитными качествами.

Успешное решение поставленной задачи во многом зависит от выбора экономически целесообразных, эффективных строительных систем и конструкций жилых домов в конкретных условиях строительства.

Проанализированные отечественные [6, 7] и зарубежные [8–11] работы позволили прийти к следующему выводу — несмотря на то, что учеными приведены исследования наружных ограждающих конструкций и методов воздействия жаркого климата на микроклимат помещений, проведен обзор итогов изучения стен с экраном, эти сведения по большей мере относятся к теплозащите в зимних условиях и гидрозащите. Что касается влияния тол-

щины воздушной прослойки на теплозащиту помещений в зависимости от температур поверхностей единого мнения среди исследователей нет. Также не уточняется влияние толщины экрана и воздушной прослойки на теплозащиту в летних и зимних условиях, отсутствуют методика проектирования и предложения по технологии производства экранированных панелей.

На основе этих исследований разработан метод вероятностного теплотехнического расчета наружной стены с солнцезащитным экраном и вентилируемой прослойкой на летние климатические воздействия.

Исследованию теплозащитных свойств вентилируемых фасадных систем посвящены труды [12–14]. Приведена оценка факторов, которые влияют на энергоэффективность фасадов.

Добиться комфортных тепловых условий в жилых помещениях, сократить расход материала в стенах и затраты энергии на охлаждение кондиционированием возможно, если применять при строительстве наружные стены с экранами и воздушными прослойками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработаны методы обеспечения нормативной амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности в стене как за счет целенаправленного формирования свойств материала, так и конструктивных мероприятий, разработаны конструкции легкобетонных панелей наружных стен с экраном и предложения по технологии их производства, а также даны рекомендации по их эксплуатации в летних и зимних условиях.

Теоретическая часть работы базируется на результатах известных методов расчетов и исследований ученых в области теплового режима зданий и конструирования экранированных стен, на вариантных расчетах теплового режима стены с экраном с использованием компьютерных технологий.

Изучены эксплуатационные качества крупнопанельных зданий в зимний период, тепловой режим помещений и теплоустойчивость наружных ограждений в летнее время, а также возможности использования в строительстве легкобетонных панельных стен с экраном.

Экспериментальная часть работы включает в себя исследования свойств бетона для получения оптимальных теплотехнических характеристик стен, технологии производства, усовершенствование конструирования наружной стены с экраном и теплотехнических исследований стен с экраном в летних и зимних натуральных условиях в экспериментальном 5-этажном 60-квартирном жилом доме серии 146 в г. Бухаре.

Основные задачи натурных исследований связаны с получением фактических данных по распре-

делению температур в сечениях стены, их эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить обобщение и анализ литературных данных отечественного и зарубежного опыта конструирования и результатов исследований эксплуатационных характеристик панельных наружных стен с экраном индустриальных жилых зданий.
2. Обосновать и разработать элементы конструкции панельной наружной стены с экраном.
3. Исследовать технологические процессы изготовления конструкции панели с экраном.
4. Обосновать и разработать структуру керамзитобетона для применения в разрабатываемой конструкции.
5. Изготовить экспериментальные образцы и фрагменты и проверить конструкции в заводском и строительном производстве.
6. Экспериментально и теоретически определить рациональную толщину вентилируемой воздушной прослойки и экрана в конструкции стены.
7. Провести теоретические исследования количественного эффекта от экранирования легкобетонной панели в жаркое время года.
8. Запроектировать и изготовить опытные и промышленные образцы конструкции и смонтировать в крупнопанельном жилом доме.
9. Выполнить наблюдения и оценить эксплуатационные характеристики конструкции наружной стены с экраном в летних и зимних условиях.
10. Получить опытные данные по распределению температур в сечениях стены с прослойкой и амплитуду колебания температуры на внутренней поверхности.
11. Выполнить технико-экономические исследования и разработать рекомендации для проектирования и строительства конструкции легкобетонных наружных стен с экраном.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При строительстве зданий необходимо учитывать защиту людей от перегрева в теплый период. Остается актуальной и задача теплозащиты в зимний период, так как в пределах III и IV районов возможны низкие зимние температуры. К примеру, на юге Средней Азии средняя температура в июле, это считается самый жаркий месяц, составляет 30 °С. В пик жары в 13 часов средняя температура достигает до 38 °С, а абсолютные максимумы отмечаются до 50 °С.

Цель работы — изучить эксплуатационные качества крупнопанельных зданий в зимний период, тепловой режим помещений и теплоустойчивость наружных ограждений в летний период, возможности использования в строительстве легкобетонных панельных стен с экраном.

В жарком климате для создания в помещениях температурно-влажностного режима, отвечающего санитарно-гигиеническим требованиям, используют искусственные средства охлаждения, которые требуют значительных единовременных затрат при строительстве и постоянных эксплуатационных расходов. В то же время могут применяться средства естественного регулирования микроклимата помещений, предполагающие относительно небольшие единовременные затраты при строительстве и последующей эксплуатации.

Рассмотрим ключевые средства естественного регулирования микроклимата помещений:

- правильное размещение зданий на участке;
- благоустройство, озеленение и обводнение прилегающих территорий;
- повышение теплоустойчивости ограждений в отношении затухания в них температурных колебаний;
- снижение коэффициента теплопоглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждения;
- специальные конструктивные приемы, экранирование наружных ограждений от солнечных лучей;
- применение чердачных перекрытий или совмещенных покрытий с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом.

Для регулирования микроклимата помещений в домостроении используются конструкции из керамзитобетона с улучшенной теплозащитной способностью и железобетонным экраном с вентилируемой воздушной прослойкой. За счет этого сокращается поступление тепла в помещение в жаркое время из-за повышенной теплоустойчивости бетона основной части панели, а также посредством удаления радиационного тепла движущимся в прослойке воздухом. Важно, что при этом она быстро охлаждается в вечерние и ночные часы.

В условиях сухого жаркого климата необходимо защищать от солнечной радиации поверхности ограждающих конструкций панелей. Одним из эффективных способов защиты помещений от перегрева является применение экранированных ограждающих конструкций. С помощью экранирования можно понизить температуру на наружных поверхностях t_n ограждающих конструкций до уровня температуры наружного воздуха.

Исследованиям теплоустойчивости стеновых ограждений в условиях жаркого климата уделялось мало внимания, чем и объясняется недостаточное освещение в нормативной технической литературе характеристик по теплоустойчивости ограждений от действия солнечной радиации. Только в СНиП II-3-79*¹ кратко излагается вопрос определения величины затухания колебаний температуры наружно-

го воздуха в ограждениях, и сравниваются полученные значения нормируемыми.

В настоящее время на долю легкого бетона конструкций приходится 70 % объема выпускаемых панелей. Причем, в большинстве случаев (до 80 %) они не удовлетворяют требованиям действующих норм из-за повышенной (на 10–15 %) плотности керамзитобетона. Повышение плотности керамзитобетона ухудшает микроклимат в помещениях в зимний период.

В ЦНИИЭП жилища и НИИСФ осуществлены научно-исследовательские работы по определению целенаправленной структуры состава легкого бетона и его теплопроводности².

Главный критерий оптимизации легкого бетона для наружных стен — максимальное снижение теплопроводности при обеспечении требуемой прочности, долговечности и водонепроницаемости.

Рациональным конструктивным решением солнцезащиты стен может быть стена, состоящая из солнцезащитного экрана и несущей утепленной конструкции, отделенных воздушной прослойкой [15, 16]. Такая конструкция обладает положительными качествами, это:

- индустриальность;
- возможность использования различных видов наружных экранов прочных, легких и долговечных, которые в сочетании с устойчивыми красителями и мозаикой служат важным средством повышения архитектурно-художественной выразительности фасадов зданий. Особенно перспективны экраны из того же материала, что и основная стена;
- полное затемнение стен и возможность регулирования теплового и влажностного режима прослойки;
- надежная защита от атмосферной влаги, систематическое осушение внутреннего слоя, что особенно важно при использовании керамзитобетона с малой плотностью и высокой пористостью;
- наличие экрана позволяет снизить требования к герметизации стыковых соединений панелей, поскольку влага, попадающая внутрь прослойки, будет стекать по тыльной стороне экрана.

Использование конструкции стен с экраном и воздушной прослойкой улучшает качество наружных стен крупнопанельных зданий и дает возможность разнообразных решений фасадов [17]. По сравнению с обычно применяемой совмещенной слоистой конструкцией наружных стен в виде монопанелей раздельная конструкция с экраном позволяет:

- изготавливать несущие стеновые панели в горизонтальных формах конвейерной линии;

¹ СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. Нормы проектирования. М., 1995. 31 с.

² Методические указания по снижению плотности и повышению теплозащитной способности керамзитобетонных панелей наружных стен. М. : ЦНИИЭП жилища, 1989. 28 с.

- специализировать производство по изготовлению в одном технологическом цикле;
- применять разнообразные архитектурные решения фасадов с использованием в фасадных экранах различных конструкционных бетонов (с использованием цветных цемента) и отдельных материалов;
- исключить гибкие стальные связи для соединения наружного и внутреннего слоев бетона;
- снизить расход бетона в наружных стенах на 20 % (в зависимости от материала экрана) и облегчить их конструкции;
- повысить теплотехнические качества наружных стен до 20 % благодаря использованию воздушной прослойки (в разных режимах) между основными панелями и экраном.

Итогом проектно-конструкторской работы ЦНИИЭП жилища стало создание новой конструкции легковесной панели наружной стены с бетонным экраном, которая изготавливается в едином технологическом цикле [18].

На основании полученных результатов автором разработаны задания на проектирование и рабочие чертежи наружных стеновых панелей (конструктивный вариант с экраном) марки НС-7Э, НС-5Э с экраном для жилых домов серии III-146 (рис. 1).

Проектные свойства стен формируются на стадиях проектирования и строительного производства и проявляются в стадии эксплуатации. Проектные свойства стены обуславливают потенциальную пригодность конструкции с проектными параметрами для эксплуатации, производственные — для строи-

Рис. 1. План исследуемых жилых помещений в экспериментальном доме: А, В — панели с экраном; С, Д — однослойные панели; К-1, К-2 — исследуемые помещения

Рис. 2. Конструкция экспериментальной панели: 1 — основная часть стены; 2 — внутренний отделочный слой; 3 — воздушная прослойка; 4 — экран; 5 — соединительные ребра

тельного производства, эксплуатационные — пригодность реальной стены здания для эксплуатации. Таким образом, показатели качества стены должны оценивать конструкцию на всех стадиях ее создания и функционирования.

Обеспечение комфорта в помещениях жилого дома связано не только с качеством проектного ре-

шения, но и с качеством производства работ по изготовлению конструкций.

На основе рабочих чертежей была произведена формовочная оснастка и изготовлены экспериментальные серии панелей наружных стен с экраном (рис. 2).

Технология изготовления панели с экраном схожа с формованием многослойных панелей в го-

Табл. 1. Характеристика опытных образцов — фрагментов панелей

Номера образцов	Общая толщина, мм	Толщина стены, мм	Толщина прослойки, мм	Толщина экрана, мм	Материал для образования прослойки
1	300	200	50	50	Сыпучий песок
2	300	180	50	70	Сыпучий песок
3	300	150	100	50	Сыпучий песок

ризонгальных формах по стендовой или конвейерной технологии, панель может формироваться в существующей боргоснастке для однослойных панелей «лицом вниз».

Технологии производства панелей с экраном исследовались в лабораторных условиях ЦНИИЭП жилища и в натурных условиях на Бухарском ДСК.

Экспериментально-производственная проверка конструкций панелей наружных стен с экраном, изготавливаемых в едином технологическом цикле, их монтаж на торцевой стене 5-этажного 60-квартирного жилого дома серии III-146, была проведена в г. Бухаре.

Предполагается провести теоретические и экспериментальные исследования эксплуатационных свойств легковесных панелей наружных стен с экраном в лабораторных и натурных условиях.

Работа проведена поэтапно.

На первом этапе было выполнено конструирование и технология производства панелей с экраном на опытных образцах-фрагментах в лабораторных условиях. Для этого изготовлены экспериментальные фрагменты панелей размером 1 × 2 м в лабораторных условиях (табл. 1).

Параметры воздушной прослойки назначались из условия обеспечения его достаточной естественной вентиляции. При этом минимальную толщину воздушной прослойки из теплотехнических требований определяют по формуле (1).

$$\delta_{\min} \geq (0,06 + 0,3 / N) \times \sqrt{(0,06N + 0,3)(R_2 + \sum \xi)(t_a - t_n)}, \quad (1)$$

где R_2 — сопротивление теплопередачи части наружной стены, расположенной между воздушной полостью и помещением, м²°C/Вт; N — длина воздушной прослойки, м; t_a — принимается равным температуре на уровне входа в воздушную прослойку, °C; t_n — температура наружного воздуха, °C; $\sum \xi$ — сумма аэродинамических местных сопротивлений течению воздуха.

Толщина прослойки из технологических требований определяется на основании общей теории допусков по формуле (2).

$$\delta_{\min} = D_{\max} + 2\Delta H_{\text{эк}} + 2\Delta H_{\text{пр}} \pm 10 \text{ мм}, \quad (2)$$

где $D_{\max}$ — предельное смещение лицевых граней экрана; $\Delta H_{\text{эк}}$ — предельное отклонение толщины

экрана от проектной при изготовлении панелей; $\Delta H_{\text{пр}}$ — то же воздушной прослойки, равное 5 мм.

На втором этапе было выполнено исследование рациональной структуры легких бетонов для наружных стен в условиях жаркого климата [19].

Для нахождения оптимальной структуры легкого бетона с теплотехнической точки зрения был проведен 3-х факторный эксперимент.

Были изготовлены кубы 15 × 15 × 15 см в количестве 24 шт. и определены параметры прочности, плотности и теплопроводности в лабораторных условиях.

На третьем этапе было выполнено теоретическое исследование температурного режима экранированных и однослойных крупнопанельных наружных стен [20].

На четвертом этапе обобщены вышеприведенные исследования, осуществлено изготовление и монтаж опытно-промышленных образцов конструкций панелей с экраном в количестве 10 шт. на Бухарском домостроительном комбинате.

По завершении строительства дома были проведены натурные теплотехнические исследования по методике ГОСТ 26253-84³ и ГОСТ 26254-84⁴.

На основе предполагаемого исследования легковесных крупнопанельных стен с экраном для условий жаркого климата, была создана методика конструирования стен с экраном, обеспечивающих улучшение эксплуатационного режима проживания в домах, строящихся в районах жаркого климата.

В отделе применения легких бетонов ЦНИИЭП жилища разработано одно из возможных решений конструкции панели с вентилируемой воздушной прослойкой.

Были проанализированы известные способы изготовления стены с экраном и воздушными прослойками и учтены недостатки технологии и монтажа.

Для изучения методики изготовления рациональных, с точки зрения технологии производства, стен с экраном и воздушной прослойкой были изгото-

³ ГОСТ 26253-84. Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций. М. : Издательство стандартов, 1984.

⁴ ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. М. : Издательство стандартов, 1985.

Рис. 3. Технологическая схема изготовления экспериментальных экранированных панелей наружных стен: *a* — армирование экрана и установка каркасов для ребер; *b* — бетонирование экрана; *c* — укладка рамки для образования ребер и заполнения ее песком; *d* — установка пространственного арматурного каркаса для основной части панели; *e* — бетонирование основной части панели; *f* — удаление рамок после пропаривания

товлены и исследованы опытные образцы — фрагменты в количестве 3 шт. (табл. 1).

При изготовлении опытных образцов — фрагментов панелей размером 1×2 м отрабатывались следующие технологические процессы:

- образование воздушной прослойки;
- применение песка как материала для образования прослойки;
- применение легкого бетона для плиты экрана;
- применение тяжелого бетона для плиты экрана.

Также отрабатывались следующие конструктивные мероприятия:

- конструкции ребер для соединения экрана с основной частью панелей;
- определение минимальной толщины ребер и экрана;
- конструктивные особенности армирования экрана и ребер.

Для изготовления опытных образцов керамзитобетон использовался класса по прочности В7,5 следующего состава:

- цемент — 260 кг;
- песок — 270 кг;
- керамзит — $1,0 \text{ м}^3$;
- вода — 170 л;
- плотностью $\rho_{\text{сух}} = 1100 \text{ кг/м}^3$.

Для изготовления экранной части опытных образцов использовался тяжелый бетон класса по прочности В12,5 следующего состава:

- цемент — 270 кг;
- песок — 570 кг;

- гравий — 1350 кг;
- вода — 170 л;
- плотностью $\rho = 2350 \text{ кг/м}^3$.

Далее по результатам исследований, проведенных на фрагментах панелей натуральных размеров, разрабатывались предложения по рациональным параметрам экрана и воздушной прослойки.

Разработанная конструкция панелей с экраном и воздушной прослойкой изготавливается в едином технологическом цикле. Особенность изготовления — необходимость формировать в конструкции в процессе формования воздушные прослойки, это возможно сделать с помощью пустотообразователей-пуансонов или с использованием засыпного материала — песка (с последующим удалением его после пропарки на посту отделки).

Схема последовательности основных технологических операций заводского изготовления панелей с экраном показана на рис. 3.

При изготовлении образцов-фрагментов бетон нижнего слоя после укладки подвергался виброуплотнению, затем на поверхность свежееуплотненного бетона укладывался кварцевый песок (для ребер устанавливалась опалубка из пенополистирола). После этого устанавливался каркас основной части панели и производилась укладка керамзитобетона с уплотнением площадочным вибратором.

Абсолютные значения геометрических характеристик исследуемых конструкций принимались согласно табл. 2.

Табл. 2. Геометрические и теплофизические характеристики исследуемых конструкций стен (постоянные значения)

№	Характеристика	Обозначение	Экранированная стена	Однослойная стена
1.	Толщина стены, мм	δ	250	300
2.	Высота здания, м	H	16,60	16,60
3.	Коэффициент теплоотдачи, Вт/м ² °С	α_v	8,7	8,7
		α_n	17,4	17,4
4.	Температура внутреннего воздуха, °С	t_B	26	26
5.	Коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью: стены экрана	α	0,7	0,7
		$\alpha_{эк}$	0,7	0,7
6.	Теплопроводность материала, Вт/м °С: стены экрана	λ	0,46	0,46
		$\lambda_{эк}$	0,74	—
7.	Удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг/к): стены экрана	C	840	840
		C _{эк}	840	—
8.	Плотность материала, кг/м ³ : стены экрана	ρ	1100	1100
			2350	—

Рис. 4. Суточные изменения температур по толщине неэкранированной панели: 1 — наружного воздуха; 2 — наружной поверхности; 3–4 — внутри конструкции; 5 — внутренней поверхности; 6 — эффективная температура

Результаты расчета распределений температур в сечении исследованных панелей на летние климатические воздействия.

На рис. 4 и 5 приведены графики изменения температур по толщине неэкранированной и экранированной стен. Сопоставление (табл. 3) распределения температур для различных моментов времени показывает, что максимальное значение температуры на внешней поверхности экранированной стены

наблюдается на 30–40 мин позже, чем у неэкранированной.

Стена из керамзитобетона плотностью 1100–1200 кг/м³ и толщиной 250 мм без экрана требованиям теплоустойчивости не удовлетворяет, так как имеет малую величину затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха V и, вследствие этого, большие колебания температуры на внутренней поверхности. При затухании $V = 16$ ам-

Рис. 5. Суточные изменения температур по толщине экранированной панели: 1 — наружного воздуха; 2 — наружной поверхности экрана; 3 — внутренней поверхности экрана; 4 — наружной поверхности стены; 5 — внутренней поверхности стены; 6 — эффективная температура

Табл. 3. Суточные изменения температур по толщине панелей и эффективная температура за июль (средние за 10 дней)

№	Температура, °С	Время измерения температур												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1.	Наружного воздуха	27,6	27	25,5	24,5	27,4	33,9	36,4	38,7	37,9	37,1	34,1	30	28,3
2.	Наружной поверхности стены	30,1	28,7	27,4	20,4	30,7	37,1	46,1	52,9	52	45,3	36,5	32,6	30,1
3.	Наружной поверхности экрана	31,8	29,6	28,1	26,7	28,6	33,3	40,6	47,6	49,8	46,5	39,9	35,0	31,8
4.	Внутренней поверхности неэкранированной панели	28,3	28,1	27,8	27,4	27,1	26,9	26,9	27,0	27,4	27,9	28,3	28,5	28,3
5.	Внутренней поверхности экранированной панели	27,7	27,6	27,3	27,1	26,9	26,7	26,6	26,8	27,0	27,4	27,6	27,8	27,7
6.	Эффективная температура	27,6	27,0	25,5	26,7	41,5	67,0	73,8	77,5	62,9	49,9	35,9	30,0	28,3

плитуда на внутренней поверхности $A_{\text{тв}}$ равна 2,5 °С. При экранировании этой стены железобетонным экраном максимальная температура воздуха в прослойке составляет 40 °С или на 1,3 °С выше температуры наружного воздуха, температура затененной поверхности 38,7 °С, что значительно ниже температуры наружной поверхности.

ВЫВОДЫ

1. Описанное исследование методом экспериментального конструирования и опытное изготовление образцов-фрагментов подтвердили возможность изготовления панелей с экраном и воздушной прослойкой в едином технологическом цикле.

2. Анализ результатов теоретических расчетов показывает, что стены с вертикальными экранами

и вентилируемой воздушной прослойкой являются достаточно эффективным средством снижения воздействия на здания солнечной радиации и уменьшения расходов на охлаждение помещений.

3. Выбор типа экрана и толщины прослойки должен решаться в каждом конкретном случае при конструировании стен здания: если экран входит в состав панели, толщина прослойки не должна превышать 5–10 см. Удаление экрана на большие расстояния нецелесообразно, так как не будет способствовать снижению температуры.

4. Разработаны рекомендации по проектированию легкобетонных панелей с экраном, в том числе предложения по конструкции экрана, несущей части, соединительных ребер, толщине воздушной прослойки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скурятенко Е.Н. Технология изготовления вентилируемых наружных стен с декоративными железобетонными экранами : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2008. 25 с.
2. Есенгабулов С.К. Энергоэффективные наружные стены с организованным воздухообменом : дисс. ... канд. техн. наук. М., 2009. 163 с.
3. Спивак Н.Я., Стронгин Н.С., Рузиев Х.Р. Особенности проектирования состава керамзитобетона для однослойных панелей наружных стен в условиях жаркого климата // Бетон и железобетон. 1991. № 5. С. 9–10.
4. Рузиев Х.Р. Разработка и теоретическое исследование рациональных видов легких бетонов для наружных стен в условиях жаркого климата // Современное состояние и перспективы развития строительной механики на основе компьютерных технологий и моделирования : мат. Междунар. науч.-техн. конф., Самарканд, 16–17 июня, 2017 г. Самарканд, 2017. С. 254–255.
5. Рузиев Х.Р. Разработка усовершенствованной конструкции панельных стен с экраном // Развитие науки и технологий. 2016. № 3. С. 27–31.
6. Ершов А.В., Солдатов Е.А., Угрюмов Е.И. Натурные исследования теплоустойчивости экранированных стен с вентилируемой воздушной прослойкой // Строительство и архитектура Узбекистана. 1968. № 2. С. 38–41.
7. Солдатов Е.А., Азизов П. Архитектурно-строительные средства повышения эффективности гражданских зданий. Ташкент : Узбекистан, 1994. 324 с.
8. Wagneur M.L. Isolation thermique des murs Greux // Centre scientifique et technique de la Construction. 1986. No. 21. Pp. 25–31.
9. Liersch K. Warmedämmung der belüfteten Fassade, DDH, Das Dachdecker-Handwerk, 1984. Brand 105. No. 5. Pp. 30–36.
10. Тайех Джехад. Эффективность теплозащиты ограждающих конструкций в условиях жаркого климата (на примере Палестины) : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2009. 20 с.
11. Sedlbauer K., Kunzel H.M. Luftkonvektions einflüsse auf den Wärmedurchgang von belüfteten Fassaden mit Mineralwollendämmung // WKSБ. 1999. Vol. 44. No. 43. Pp. 134–141.
12. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором // АВОК. 2004. С. 20–26.
13. Гликин С.М., Кодыш Э.Н. Навесные фасадные системы с эффективной теплоизоляцией и вентилируемым воздушным зазором // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 9. С. 36–37.
14. Туснина О.А., Емельянов А.А., Туснина В.М. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8 (43). С. 54–63.
15. Рузиев Х.Р., Спивак Н.Я., Стронгин Н.С. Крупнопанельные наружные стены из керамзитобетона для условий жаркого климата // Конструкция крупнопанельных жилых зданий : сб. науч. тр. М. : ЦНИИЭП жилища, 1990. С. 81–87.
16. Стронгин Н.С., Рузиев Х.Р. Теоретические исследования теплозащитной эффективности однослойных экранированных панелей для условий жаркого климата // Теплотехнические качества и микроклимат жилища : сб. науч. тр. М. : ЦНИИЭП жилища, 1991. С. 73–79.
17. Рузиев Х.Р., Хамидов С., Мадартов А. Эксплуатационные свойства крупнопанельных стен с экраном в условиях летнего перегрева // Теплотехнические качества и микроклимат жилища : сб. науч. тр. М. : ЦНИИЭП жилища, 1991. С. 93.
18. Стронгин Н.С., Рузиев Х.Р. Повышение теплоустойчивости конструкций наружных стен, эксплуатируемых в условиях жаркого климата // Строительные системы и конструкции жилых зданий : сб. науч. тр. М. : ЦНИИЭП жилища, 1993. С. 123–128.
19. Ruziyev H.R. Investigation of rational types of light concrete for external walls in conditions of hot climate. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018. Vol. 13. Issue 10 (120). Pp. 1211–1219. DOI: 10.22227/1997–0935.2018.10.1211-1219
20. Гулабянц Л.А., Немчинов Н.Ф. Теплотехнический расчет стены с принудительно вентилируемой воздушной прослойкой // Исследования по строительной теплофизике. М. : НИИСФ, 1984. С. 66–70.

Поступила в редакцию 10 января 2019 г.

Принята в доработанном виде 18 июня 2019 г.

Одобрена для публикации 28 августа 2019 г.

ОБ АВТОРЕ: **Хошим Рузиевич Рузиев** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики; **Бухарский инженерно-технологический институт (БИТИ)**; 200100, Узбекистан, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, д. 15; hrzuiyev57@mail.ru.

INTRODUCTION

One of the most vital technical and economic problem of industrial housing construction is the problem of providing of thermal comfort in residential buildings with minimum total cost of thermal insulation of the buildings, their heating in winter and protection against overheating in summer. Designs of modern buildings and their enclosures not always sufficiently consider the climate of the construction area, thermal properties of local construction materials and structures, methods of calculation thereof under solar radiation exposure. As a result, the premises may in certain cases suffer from overheating.

The purpose of this of operation is the theoretical and experimental substantiation of a method of calculating the construction of lightweight concrete panel exterior walls with a screen for large-panel residential buildings in hot climates, with improved performance features providing for technical and economic efficiency.

It is possible to increase the thermal insulation of the exterior walls by structural enhancements. For example, it is possible to use enclosing structures with heat recovery (recuperation).

In CSRIEP of Housing, ventilated claydite-concrete wall panels with heat recovery were developed. The essence of the recovery process is partial return of the heat into the premises. That is why the said thermal effect should be utilized also in enclosure walls with air gaps, since such walls are rather popular in the residential housing construction [1–5].

It is absolutely important to effectively solve these problems in areas with extreme climate, especially, in those with hot climate.

For the time being, in connection with fast growth of the energy consumption, it has become absolutely urgent to restrict the consumption or to save the energy by means of using local energy resources (electrical, solar and other energies) for heating and cooling of the premises, by means of enclosure structures with enhanced thermal insulation.

The success of the problem solution is highly dependent on the selection of economically advisable, efficient construction systems and structures of residential houses in the specific construction conditions.

The analyzed domestic [6, 7] and foreign [8–11] papers allows for the following conclusion: although scientists have carried out studies of external enclosure structures and of the impacts of hot climate on the interior climate of the premises, and summarized the aftermath of the studies of screened walls, that information mostly refers to thermal insulation in winter and to water-proofing. As to the influence of the air gap depth

on the thermal insulation of premises, dependent on the surface temperatures, the opinions of the researchers are different. There are also no finalized data of the influence of the screen thickness and the air gap depth on the heat insulation in summer and in winter, no advice on the design method and no proposed manufacturing process of screened panels.

Based on these papers, a method of thermal probability calculation of the external wall with a sun screen and a ventilated air gap for hot climate impacts was developed.

Papers [12–14] are dedicated to thermal insulation properties of ventilated facade systems. They contain assessments of factors influencing the energy efficiency of the facades.

It is possible to provide comfortable temperature in the living premises, to reduce the wall material consumption, and power consumption by air conditioning systems, if enclosure walls with screens and air gaps are used in the construction.

MATERIALS AND METHODS

Methods were developed to provide for standard fluctuations amplitude of the interior wall surface by means of both targeted formation of the material properties, and structural arrangements, designs of screened lightweight concrete external walls and manufacturing technology proposals thereof, and recommendations were given as to their operation in winter and in summer times.

The theoretical part of the paper is based on the results of known calculations and studies of scientists in the sphere of thermal behavior of buildings and design of screened walls, on calculation variants of the thermal behavior of screened walls performed by PC software.

Operation properties of large-panel buildings in winter, the thermal household of premises and the thermal stability of the external enclosures in summer, as well as possibilities of use of screened lightweight concrete panel walls in the construction were studied.

The experimental part of the paper includes a study of concrete properties to obtain optimal thermal specifications of walls, to define the manufacturing technology, to enhance the design of screened external walls and the thermal studies of screened walls in winter and summer in-situ, in an experimental 5-storey block of 60 flats of 146th Series in Bukhara City.

The basic assignments of the in-situ studies are aimed on obtaining the practical data on temperature distribution within wall sections and the performance of the walls.

To achieve the set goals, the following problems must be solved:

1. Summarizing and analysis of data from special literature containing domestic and foreign experience in the design and the results of studies of the performances of large-panel screened exterior walls of living buildings built by industrial methods.

2. Substantiation and development of structural elements of a large-panel screened exterior wall.

3. Studies of manufacturing processes of screened panels.

4. Substantiation and development of a claydite-concrete structure for use in the structure to be developed.

5. Manufacturing of experimental samples and fragments, and testing thereof in the factory and in the construction.

6. Experimental and theoretical determining of the rational depth of the ventilated air gap and the wall screen thickness.

7. Theoretical studies of the quantitative effect of screening of a lightweight concrete panel in the hot season.

8. Design and manufacturing of experimental and industrial samples of the structure and their installation in a large-panel lock of flats.

9. Observation and assessment of the performance of a screened exterior wall in summer and winter conditions.

10. Obtaining of experimental data on the distribution of temperatures in the sections of a wall with an air gap and of the amplitude of temperature fluctuations on the interior surface.

11. Technical and economic studies and development of recommendations for design and construction of light-concrete screened exterior walls.

RESULTS

During the construction of buildings, it is important to provide for protection of people against overheating in the warm season. It remains urgent, to provide the thermal protection in winter, since low winter temperatures are possible in climate areas III and IV, as well. For example, in the South of the Central Asia, the average temperature of July, being the hottest month of the year, is 30 °C. At 13 o'clock, the average peak temperature reaches 38 °C. The absolute maximum temperature can reach 50 °C.

The purpose of the paper is to study the operation properties of large-panel buildings in winter, as well as the thermal household of premises and the thermal stability of the external enclosures in summer, as well as possibilities of use of screened lightweight concrete panel walls in the construction.

In hot climate, to maintain optimum temperature and humidity household in the premises in compliance with sanitary and hygienic requirements, artificial cooling means are used which require considerable investment during the construction and constant high op-

eration costs. In the same time, means of natural microclimate adjustment in the premises can be used which assume relatively low investment and operation costs.

Here are the key means of natural premises' microclimate adjustment:

- correct arrangement of buildings in the development plot;
- beautification, landscaping and watering of the adjoining territories;
- enhancement of thermal stability of enclosures as to fading of temperature fluctuations therein;
- reduction of thermal absorption of the sun radiation by the exterior surface of the enclosure;
- special design practices, screening of the exterior enclosures against the sun radiation;
- use of loft covers or combined covers with air gaps ventilated by the ambient air.

For microclimate adjustment of premises, structures of claydite-concrete are used with enhanced thermal insulation capacities and a reinforced concrete screen with a ventilated air gap. Due to that, the thermal input of the premise in the hot season is reduced due to the increased thermal stability of the concrete of the main panel part, as well as due to the removal of the irradiated heat by the air flow in the air gap. It is important, that thereby the structure is rapidly cooled in the evening and at night.

In dry hot climate, it is important to protect against the sun radiation the surfaces of the panel enclosures. One of the efficient ways of protection of premises against overheating is the use of screened enclosing structures. By means of screening, it is possible to reduce the temperature on the external surfaces t_n of the enclosures down to the ambient air temperature

Very little attention has been paid to the thermal stability of enclosures in hot climate areas, stipulating insufficient coverage in codes and regulations of the thermal stability against the energy of the sun radiation. Only SNiP II-3-79*⁵ concisely sets forth a method of determining the value of the fading of the ambient air temperature fluctuations within the enclosure in order to compare the obtained values with the admissible ones.

For the time being, lightweight concrete structures account for 70 % of the total manufacturing of pre-fabricated panels. Thereby, in the most cases (up to 80 %). They do not comply with the requirements of the current codes due to increased (by 10–15 %) density of the claydite-concrete. The increased claydite-concrete density worsens the microclimate in premises in winter.

In CSRIEP of Housing and in the SRICP, special scientific research studies were carried out to determine the composition structure of lightweight concrete and its thermal conductivity⁶.

⁵ SNiP II-3-79*. Construction heat engineering. Design code. Moscow, 1995; 31.

⁶ Instructive notes on reduction of density and increasing of the thermal insulation capacities of claydite-concrete panels of exterior walls. Moscow, CSRIEP of Housing, 1989; 28.

The principal criterion of lightweight concrete optimization for external walls is the maximum reduction of the thermal conductivity with retained required strength, longevity and water tightness.

A rational design solution of the walls protection against the sun radiation could be a wall consisting of a sun protection screen and an insulated structure separated from each other with an air gap [15, 16]. Such structure has positive features, such as:

- suitability for industrial manufacturing;
- possibility for use of different types of high-strength, light-weight and durable external screens, which, being in combination with stable paints and mosaics, are an important means of the increase of the architectural and artistic expressiveness of building facades. Especially promising are the screens of the same material as the main wall;

- complete shading of the walls and possibilities for temperature and humidity adjustment of the interlayer;
- reliable protection against the atmospheric humidity, regular drying of the internal layer which is absolutely important while using claydite-concrete of low density and high porousness;

- the screen allows for lowering of the requirements to the sealing of the panel joints because the moisture getting inside the interlayer streams down along the internal screen surface.

The use of screened walls with an air gap increases the quality of the external walls of large-panel buildings and makes different aesthetic solutions of the facades [17]. Compared with a conventional combined multi-layer monopanel exterior walls structure, a separated screened structure allows for:

Fig. 1. Layout of subject living premises in the experimental block of flats: A, B — screened panels; C, D — single-layer panels; K-1, K-2 — subject premises

- manufacturing of carrier wall panels in horizontal molds on a conveyor;
- specializing the manufacturing in a single process cycle;
- using of a diversity of architectural facade solutions using different structural concretes in the facade screens (with various pigmented cements) and individual materials;
- refusing to use flexible steel ties between the external and the internal concrete layers;
- reduction of concrete consumption in the exterior walls by 20 % (dependent on the screen material) and smaller structure weights;
- enhancement of the calorific quality of the exterior walls by 20 % due to the use of the air gap (in different modes) between the main panels and the screen.

Fig. 2. Experimental panel structure: 1 — main part of the wall; 2 — interior finish layer; 3 — air gap; 4 — screen; 5 — connection fins

The result of the research and development work by CSRIEP of Housing was a new design of the exterior wall lightweight panel with a concrete screen manufactured in a single process cycle [18].

Based on the obtained results, the author has developed design assignments and manufacturing drawings of exterior wall panels (screened design version) with the designations NS-7E, NS-5E with a screen for Series III-146 blocks of flats (Fig. 1).

The design features of the walls are shaped in the stages of design and erection and demonstrate their advantages during the operation. The design features of the wall stipulate the would-be suitability of the structure with the design parameters: construction parameters — for the erection, operation parameters — for the operation suitability in the building wall. Thus, the quality parameters of the wall must be suitable for the assessment of the structure in all stages of its creation and functioning.

Provision of comfort in the premises of a living house is defined not only by the quality of the design solution, but also with the quality of the fabrication of the structures.

Based on the manufacturing drawings, molds were made and experimental series of screened external wall panels were manufactured (Fig. 2).

The manufacturing technology of a screened panel is similar to the formation of multi-layer panels in horizontal molds in the stand or conveyor method, the panel can be molded in the existing board tooling for single-layer panels facing the bottom.

The manufacturing technologies of screened panels were studied in laboratory conditions in CSRIEP of Housing and in-situ in the integrated housing-construction factory of Bukhara.

Experimental-industrial tests of the structure of the screened exterior wall panels manufactured in a single process cycle, their mounting on the side wall of a 5-storey block of 60 flats of III-146 Series were carried out in Bukhara City.

It is supposed to carry out theoretical and experimental studies of operational features of lightweight concrete screened exterior wall panels in the laboratory and in-situ.

The work was performed in stages:

In the first stage, design work was performed and a manufacturing technology of panels with a screen was

defined on prototype fragments under laboratory conditions. For this purpose, experimental panel fragments of 1×2 m dimensions were made in the laboratory (Table 1).

The air gap parameter was assigned to provide for its sufficient natural ventilation. Thereby, the minimum depth of the air gap is, based on heat engineering requirements, determined by the following formula (1):

$$\delta_{\min} \geq (0.06 + 0.3 / N) \times \sqrt{(0.06N + 0.3)(R_2 + \sum \xi)(t_{\text{in}} - t_A)}, \quad (1)$$

where R_2 is the heat transmission resistance of the exterior wall part arranged between the air gap and the premise, $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$; N is the length of the air gap, m; t_{in} is taken equal to the temperature in the level of the inlet of the air gap, $^{\circ}\text{C}$; t_A is the ambient temperature, $^{\circ}\text{C}$; $\sum \xi$ is the sum of the local aerodynamic resistances to the air flow.

The air gap depth, due to the process requirements, is defined based on the general tolerance theory by the following formula (2):

$$\delta_{\min} = D_{\max} + 2\Delta H_{\text{sc}} + 2\Delta H_g \pm 10 \text{ mm}, \quad (2)$$

where $D_{\max}$ is the limit displacement of the facial screen surface; ΔH_{sc} is the limit displacement of the screen thickness from the design value during the panel manufacturing; ΔH_g is the same value of the air gap, equal to 5 mm.

In the second stage, a study was made to define a rational structure of lightweight concretes for exterior walls in hot climates [19].

In order to define the optimal structure of lightweight concrete from the thermal point of view, a 3-factor experiment was conducted.

24 pcs. of cubicles were made with dimensions of $15 \times 15 \times 15$ cm to determine the values of strength, density and thermal conductivity in laboratory conditions.

In the third stage, a theoretical study of the thermal behavior of shielded and single-layer large-panel exterior walls was carried out [20].

In the fourth stage, the above studies were summarized, trial panels with a screen in a quantity of 10 pieces were manufactured and installed at the Bukhara integrated house-building factory.

Table 1. Specifications of experimental samples — fragments of panels

Sample No.	Total thickness, mm	Wall thickness, mm	Air gap thickness, mm	Screen thickness, mm	Material for air gap shaping
1	300	200	50	50	Bulk sand
2	300	180	50	70	Bulk sand
3	300	150	100	50	Bulk sand

On construction accomplishment of the block of flats, in-situ calorific studies were carried out by the method of GOST 26253-84⁷ and GOST 26254-84⁸.

Based on the assumed study of lightweight concrete large-panel screened walls for hot climate, a method of screened walls design was developed ensuring a more comfortable operation mode of living houses erected in hot climate areas.

The application department of lightweight concretes of CSRIEP of Housing has developed one of possible solutions of the panel design with a ventilated air gap.

All known erection methods of screened walls with air gaps were analyzed, accounting for all drawbacks of manufacturing and installation.

For studies of the manufacturing methods of rational screened walls with an air gap from the point of view of the manufacturing process, test samples were made and tested (3 pcs. of wall fragments) (Table 1).

During the manufacturing of the test samples — 1 × 2 m panel fragments, the following processes were improved:

- air gap formation;
- use of sand as material for air gap shaping;
- use of lightweight concrete for the screen plate;
- use of heavy concrete for the screen plate.

Also, the following arrangements were enhanced:

- design of fins for the connection of the screen to the main panels part;
- determining of the minimum thickness of the fins and the screen;
- design features of the reinforcement of the screen and the fins.

For making of test samples, claydite-concrete of B7.5 strength grade of the following composition was used:

- cement — 260 kg;
- sand — 270 kg;
- claydite — 1.0 m³;
- water — 170 l;
- the density was $\rho_{\text{dry}} = 1,100 \text{ kg/m}^3$.

For making of the screens of the test samples, heavy concrete of B12.5 strength grade of the following composition was used:

- cement — 270 kg;
- sand — 570 kg;
- gravel — 1,350 kg;
- water — 170 l;
- the density was $\rho = 2,350 \text{ kg/m}^3$.

Further, based on the results of the studies of the full-size panel fragments, proposals were made, as to rational parameters of the screen and the air gap.

The developed design of the panels with a screen and the air gap assumes manufacturing in a single process cycle. The specifics of the manufacturing is the necessity of formation of the air gap during the molding of the panel; it is possible to realize by hollow-shaping punches or with pour-in material like sand (with subsequent removal thereof after steam treatment at the finishing station).

Fig. 3. Process diagram of the manufacturing of test screened panels of the external walls: *a* — screen reinforcement and fins frames mounting; *b* — screen concrete filling; *c* — fins mold laying and sand filling of the mold frame; *d* — mounting of the reinforcement mesh for the main panel part; *e* — concrete filling of the main panel part; *f* — frames removal after the steam treatment

The sequence of the process operation of the factory manufacturing of screened panels is shown in Fig. 3.

During the manufacturing of the sample fragments, the fresh concrete of the bottom concrete layer was compacted by vibration, then quartz sand was poured onto the freshly compacted concrete (for the fins, polystyrene foam molds were mounted). After that, the framework of the main panel part was laid, and claydite-concrete was poured with surface vibration compaction.

The absolute values of the geometry specifications of the subject structures were taken in accordance with Table 2.

Calculation results of temperature distribution throughout the section of the subject panels for summer climatic impacts.

Figures 4 and 5 show temperature gradient across the thickness of a non-screened and a screened wall.

The matching (Table 3) of the temperature distribution at different moments of time demonstrates that the maximum temperature value on the exterior surface of the screened wall is observed 30–40 min later than that of the non-screened wall.

A claydite-concrete non-screened wall with 1.100–1.200 kg/m³ density and 250 mm thickness does not meet thermal stability requirements, since it has a low value of the fading of the temperature fluctuation amplitude of the ambient air V and, due to that, considerable temperature fluctuations on the interior surface. At fading value $V = 16$, the amplitude on the interior surface A_{ri} equals to 2.5 °C. Upon screening of this wall by a reinforced concrete screen, the maximum air temperature in the air gap is 40 °C or by 1.3 °C higher than the ambient air temperature, the temperature of the shaded surface is 38.7 °C, it is much lower than the exterior surface temperature.

Table 2. Geometry and thermophysical specifications of subject wall structures (constant values)

Item.	Parameter	Designation	Screened wall	Single-layer wall
1.	Wall thickness, mm	δ	250	300
2.	Building height, m	H	16.60	16.60
3.	Thermal output coefficient, W/m K: interior wall surface exterior wall surface	α_i α_e	8.7 17.4	8.7 17.4
4.	Indoor air temperature, °C	t_A	26	26
5.	Absorption coefficient of the sun radiation by the surface: wall screen	α α_{sc}	0.7 0.7	0.7 0.7
6.	Thermal conductivity of the material, W/m °C: wall screen	λ λ_{sc}	0.46 0.74	0.46 —
7.	Specific mass thermal capacity, J/(kg/K): wall screen	C C _{sc}	840 840	840 —
8.	Material density, kg/m ³ : wall screen	ρ	1.100 2.350	1.100 —

Table 3. Daily temperature fluctuation throughout the panel thickness and effective temperature of July (average within 10 days)

Item.	Temperature, °C	Time of temperature measurement													
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
1.	Ambient air	27.6	27	25.5	24.5	27.4	33.9	36.4	38.7	37.9	37.1	34.1	30	28.3	
2.	Exterior wall surface	30.1	28.7	27.4	20.4	30.7	37.1	46.1	52.9	52	45.3	36.5	32.6	30.1	
3.	Exterior screen surface	31.8	29.6	28.1	26.7	28.6	33.3	40.6	47.6	49.8	46.5	39.9	35.0	31.8	
4.	Interior surface of non-screened panel	28.3	28.1	27.8	27.4	27.1	26.9	26.9	27.0	27.4	27.9	28.3	28.5	28.3	
5.	Interior surface of the screened panel	27.7	27.6	27.3	27.1	26.9	26.7	26.6	26.8	27.0	27.4	27.6	27.8	27.7	
6.	Effective temperature	27.6	27.0	25.5	26.7	41.5	67.0	73.8	77.5	62.9	49.9	35.9	30.0	28.3

Fig. 4. Daily temperature gradient across the thickness of a non-screened panel: 1 — ambient air; 2 — exterior surface; 3–4 — inside the structure; 5 — internal surface; 6 — effective temperature

Fig. 5. Daily temperature gradient across the thickness of a screened panel: 1 — ambient air; 2 — exterior screen surface; 3 — interior screen surface; 4 — exterior wall surface; 5 — interior wall surface; 6 — effective temperature

CONCLUSIONS

1. The described study by the method of experimental design and experimental manufacturing of sample fragments confirmed the possibility of manufacturing panels with a screen and an air gap in a single technological cycle.

2. The analysis of the results of theoretical calculations has demonstrated that walls with vertical screens and a ventilated air gap are quite efficient means of reducing the effects of the exposure of buildings to solar radiation and reducing the cooling cost the premises.

3. The selection of the screen type and the air gap depth are in each specific case subject to individual designer's solution of the enclosing structure: if the panel contains a screen, the air gap depth must not exceed 5–10 cm. Bigger gaps are not advisable, since the effect of temperature lowering will be lost.

4. Recommendations were developed for the design of screened lightweight concrete, including proposals as to the design of the screen, of the carrier part, of the connection fins and to the air gap thickness.

REFERENCES

1. Skuratenko E.N. *Manufacturing technology of ventilated exterior walls with decorative reinforced concrete screens : thesis ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2008; 25. (rus.).
2. Esengabulov S.K. *Energy-efficient external walls with organized ventilation : thesis ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2009; 163. (rus.).
3. Spivak N.Ya., Strongin N.S., Ruziev Kh.R. Features of the design of the composition of expanded clay for single-layer panels of external walls in a hot climate. *Concrete and Reinforced Concrete*. 1991; 5:9-10. (rus.).
4. Ruziev Kh.R. Development and theoretical study of rational types of lightweight concrete for exterior walls in hot climates. *Modern conditions and prospects for the development of structural mechanics based on computer technology and modeling : Proceedings of the international scientific and technical conference Samarkand*, 16–17 June, Samarkand, 2017. 2017; 254-255. (rus.).
5. Ruziev Kh.R. Development of an improved design of panel walls with a screen. *The development of science and technology*. 2016; 3:27-31. (rus.).
6. Ershov A.V., Soldatov E.A., Ugryumov E.I. Field studies of heat resistance of shielded walls with a ventilated air gap. *Construction and architecture of Uzbekistan*. 1968; 2:38-41. (rus.).
7. Soldatov E.A., Azizov P. *Architectural and construction tools to improve the thermal efficiency of civilian buildings*. Tashkent, Uzbekistan, 1994; 324. (rus.).
8. Wagneur M.L. Isolation thermique des murs Greux. *Centre scientifique et technique de la Construction*. 1986; 21:25-31.
9. Liersch K. *Warmedämmung der belüfteten Fassade, DDH, Das Dachdecker-Handwevk*. 1984; 105(5):30-36.
10. Tayeh Jehad. *Efficiency of thermal protection of walling in hot climates (on the example of Palestine) : thesis ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2009; 20. (rus.).
11. Sedlbauer K., Kunzel H.M. Luftkonvektions einflüsse auf den Wärmedurchgang von belüfteten Fassaden mit Mineralwollledämmung. *WKSB*. 1999; 44(43):134-141.
12. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Tsykanovsky E.Yu. Thermal protection of facades with ventilated air gap. *AVOK*. 2004; 20-26. (rus.).
13. Glikin S.M., Kodysh E.N. Hinged facade systems with effective thermal insulation and ventilated air gap. *Industrial and Civil Construction*. 2008; 9:36-37. (rus.).
14. Tusnina O.A., Emelyanov A.A., Tusnina V.M. Thermal properties of various structural systems of ventilated facades. *Engineering and Construction Journal*. 2013; 8(43):54-63. (rus.).
15. Ruziev H.R., Spivak N.Ya., Strongin N.S. Large-panel exterior walls made of expanded clay concrete for hot climate conditions. *Construction of large-panel residential buildings : collection of proceedings*. Moscow, Central scientific research Institute of experimental designing of the dwelling Publ., 1990; 81-87. (rus.).
16. Strongin N.S., Ruziev Kh.R. Theoretical studies of the heat-shielding effectiveness of single-layer shielded panels for hot climate conditions. *Thermal qualities and microclimate of the home : collection of proceedings*. Moscow, Central scientific research Institute of experimental designing of the dwelling Publ., 1991; 73-79. (rus.).
17. Ruziev Kh.R., Khamidov S., Madartov A. Operational properties of large-panel walls with a screen in conditions of summer overheating. *Thermal qualities and microclimate of the home : collection of proceedings*. Moscow, Central scientific research Institute of experimental designing of the dwelling Publ., 1991; 93. (rus.).
18. Strongin N.S., Ruziev Kh.R. Increasing the heat resistance of the structures of the outer walls, operated in hot climates. *Building systems and structures of residential buildings : collection of proceedings*. Moscow, Central scientific research Institute of experimental designing of the dwelling Publ., 1993; 123-128. (rus.).
19. Ruziyev H.R. Investigation of rational types of light concrete for external walls in conditions of hot climate. *Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]*. 2018; 13:10(120):1211-1219. DOI: 10.22227 / 1997–0935.2018.10.1211-1219 (rus.).
20. Gulabiants L.A., Nemchinov N.F. Thermal calculation of the wall with a forced ventilated air gap. *Studies in building thermal physics*. Moscow, Research Institute of building physics Publ., 1984; 66-70. (rus.).

Received January 10, 2019.

Adopted on June 18, 2019.

Approved for publication August 28, 2019.

BIONOTES: Hoshim R. Ruziev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chair of the Department of Mechanics; Bukhara Engineering-Technological Institute (BITI); 15 K. Murtazaev st., Bukhara, 200100, Uzbekistan; hruziyev57@mail.ru.