



Сборник трудов

II Всероссийской
научно-технической конференции

«Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»

10-11.12.2009
Санкт-Петербург

ОАО «Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и
проектный институт жилищно-гражданских зданий» (СПбЗНИиПИ)
ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический
университет» (СПбГПУ)
НП «Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха,
теплоснабжению и строительной теплофизике» (АВОК)
ООО «АлгоритмСтрой»
ПНИПКУ «Венчур»
НИУПЦ «Межрегиональный институт окна»

Сборник трудов
II Всероссийской научно-технической конференции
«Строительная теплофизика и энергоэффективное
проектирование ограждающих конструкций зданий»

10-11.12.2009
Санкт-Петербург

Санкт-Петербург
2009

УДК 699.86

Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий: Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции. 10-11.12.2009. – СПб., 2009. – 154 с.

Сборник содержит статьи по материалам докладов участников научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий». В 2009 г. основными темами конференции стали: теплозащитные свойства ограждающих конструкций; влажностный режим строительных конструкций; долговечность строительных конструкций; теплофизические свойства строительных материалов; энергосбережение при строительстве и эксплуатации зданий; методология разработки нормативных документов по строительной теплофизике.

В сборник вошли научно-технические статьи представителей вузов, научно-исследовательских учреждений, проектных и производственных организаций из России, Украины и Финляндии.

Содержание

Kauppinen Timo. The use of building thermography in verification of energy efficiency	3
Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»	7
Вишневский А.А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона	19
Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов	26
Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий	33
Горшков А.С., Войлоков И.А. Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий	45
Дацюк Т.А., Меллех Т.Х. Расчет теплопотерь через неоднородные ограждающие конструкции	49
Дацюк Т.А., Ярошенко С.Д. Повышение энергоэффективности зданий старой жилой застройки	53
Кнатъко М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы	56
Кнатъко М.В., Щербакова Е.В., Зеленая Е.В., Лаздовская М.А. Эффективные утеплители на основе торфа	66
Нациевский С.Ю., Алексеева Л.В. Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра	68
Кузьменко Д.В. Легкие стальные ограждающие конструкции монолитных жилых зданий	74
Леонтьева Ю.Н. Тепловлажностный режим ограждающих конструкций при наружном и внутреннем утеплении	76
Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий	80
Миков В.Л. О долговечности окон	93
Миков В.Л., Куренкова А.Ю. «Человеческий фактор» и проблемы теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждений	102
Павлова М.О., Захаров В.А., Павленко М.Н. Инновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из керамического кирпича	106
Пономарев О.И., Ломова Л.М., Стульева И.В. Современные кладочные стеновые материалы в несущих и ограждающих конструкциях энергоэффективных зданий	110
Пономарев О.И., Горбунов А.М., Григорьев Д.С. Напряженно-деформативное состояние энергоэффективной трехслойной кладки при температурных деформациях	112

Редько Ю.Б., Гринфельд Г.И. Теплотехнические испытания кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400	116
Редько Ю.Б., Ефименко М.Н. Определение теплотехнических свойств блоков из газобетона.....	120
Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений	124
Рымкевич П.П., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений.....	131
Коцкович В.Б., Рымкевич О.В., Рымкевич П.П., Хохлова М.В. Оценка среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию с позиций физической кинетики	136
Самарин О.Д. Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию.....	139
Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций.....	144
Цыгановский Е.Ю. Теплозащитные свойства теплоизоляционных навесных фасадных систем	150

The use of building thermography in verification of energy efficiency

Introduction

Thermography, as properly used, could evolve into a valuable diagnostic tool for predictive maintenance and for quality control in buildings. It also needs other supporting measurements and calculation tools. By detecting anomalies often invisible to the naked eye, thermography allows corrective measures to be taken before electrical, mechanical, or process equipment fails. Nonetheless, there are different technological problems that are related to the accuracy and reliability of building thermography diagnostics. Although cost, mainly due to time, personnel, camera cost, training, or contractor expense, could be an important barrier in order to adopt infrared thermography as an inspection tool in buildings and building diagnostics, a good thermographic inspection process can pay back very quickly by finding defects before they cause equipment damage or a process shutdown.

The most-mentioned aspect of the financial barrier is the lack of knowledge of the true return on investment and/or the lack of awareness of the benefits to the bottom line. Furthermore, one important aspect of the need for well-trained personnel is the safety issue involved in inspections. The proper interpretation of the results (i.e. the thermal response) is the key issue, and the possibilities combining heat transfer models and thermography results have not been used as well as it could be. There is a lot of work to do in harmonizing procedures and produce guidelines for building thermography in Europe with the intention of maintaining a high standard of work. For instance, now ongoing renewal of ISO-standard would be used in the buildings diagnostics and monitoring taking into consideration various climate zones and environmental parameters.

Background

Thermography has been used in Finland in building survey from the late 70's. The service has been provided by consultants, whose background was varied. When technology and devices have improved and the prices have increased, more and more doers have come into the market. There had been about 25 years unorganized and more or less wild period, without any generally accepted rules for interpretation, as well as for that, how to order thermography services, how to report, how to do the practical work in the buildings etc.

At the same time, building developers and contractors have begun to use thermography for quality control in new building. Thermography has also been used in renovation planning. The problem was, as mentioned before, that there are no procedures for building thermography, no guidelines to order the thermography services, no instructions how to scan, how to report and most important - how to interpret the results. That fact has caused a lot of problems and also damaged the reputation and reliability of the method.

In the year 2004 the various organizations in building trade launched a pilot project to certificate building thermographers. The procedure is divided into two parts: Part 1 is Level I (the basis of thermography) and Part II (divided into two periods) thermography applications of buildings, including also information on building physics, heat and mass transfer and structures.

Kauppinen Timo. The use of building thermography in verification of energy efficiency

Both parts will take a week, two weeks in total with the examinations. The procedure follows moisture measurement procedure - certification of building moisture measurements started a couple of years ago. To the end of the year 2009 many courses have been completed and several persons have received a certificate.

During the certification process, two guidelines have been published, as a part of RT (Building Information) – files: Instructions for ordering, for practical field work and for reporting of thermography survey in buildings. The guidelines contain also basics for interpretation. The interpretation is consistent with the other existing directions (building codes etc). In the turn of the year 2005-2006 a new book of building thermography was published. There is still lack of comprehensive but unambiguous rules for interpretation.

In this presentation we will introduce experiences on the courses, the main problems posed the participants and findings during the last two-three years field work. We also will introduce briefly the structure and content of the guidelines and an example how to use thermography as a tool of quality control in new building.

New challenges - EPBD

EPBD-directive (European performance of Buildings Directive) has taken into the use in European Union Countries. In Finland, in connection with the directive and with harmonization of building codes, the building codes dealing with insulation and energy use has been renewed. At the first time there is a requirement of energy efficiency calculations. Energy efficiency is connected with energy labelling. Also first time there is now prerequisites for air tightness of buildings. These new challenges have created a boom of increased quality control needs in construction companies, including different verification methods. The use of thermography and air-tightness test (blower door tests) has been exploited by increasing speed. The interpretation of result will be a growing problem, even lot of work has been done e.g. in certification procedure of building thermographers. In this presentation some results of multi-storey apartment houses and other targets will be presented, and discussion about the problems which may occur in the future.

Building Commissioning (Cx)

A Building Commissioning-project (ToVa) was launched in Finland in the year 2003. A comprehensive commissioning procedure, including the building process and operation stage was developed in the project. Similar to Cx-procedures used in the USA, this procedure will confirm the precise documentation of client's goals, definition of planning goals and the performance of the building. The method has been tested in pilot buildings and the aim is to develop it further in practical construction projects.

The performance has been tried to confirm by various quality control methods during design-, construction and mobilization stages. The completed building, however, has not been as such as the client has ordered or wanted. It is rather usual, that within 1-2 years after introduction the users complain about the defects or performance malfunctions of the building. Often the reasons are related to problems in building envelope, in building services, in HVAC-system, in automation system and, as combined effect, failures in indoor climate. In the worst cases there may be health hazards or risks. The energy consumption might have exceeded the estimated consumption. Part of the problems has been caused by improper use. In consequence of the problems the life-cycles of these buildings are shorter than in average. Need to repair is increasing as well as life-cycle costs.

There have been defects even in the pre-design phase, when the client or the representative of the client was not able to determine the goals precisely enough. If the

Kauppinen Timo. The use of building thermography in verification of energy efficiency

various system solutions are not integrated properly during the design phase, problems may occur during the operational period in the joint operations of the systems. The installation defects at the building site will increase the risks of malfunction. All the malfunctions have not been detected during TAB (testing and balancing)-tests, partially because of defective working methods and tight timetables

The energy consumption level of a building is mainly determined when we set the goals during the pre-design phase and the design process. At that time it's the best possibility to affect widely on the factors of indoor climate because the project budget is not yet exactly fixed. In this presentation the main concept of the Finnish Building Commissioning procedure (ToVa) will be introduced and also some typical problems in performance of buildings which have been found.

Thermography is one important manual tool in verifying the thermal performance of the building envelope. In this paper some results of pilot buildings will be presented.

In surveying the condition and energy efficiency of buildings, various auxiliary means are needed. We can compare the consumption data of the target building with other, same type of buildings by benchmarking. Energy audit helps to localize and determine the energy saving potential.

Energy Audit

The most general and also most effective auxiliary means in monitoring the thermal performance of building envelopes is an infrared camera. In this presentation some examples of the use of thermography in energy audits are presented.

Energy efficiency and air tightness

From the year 2007 the buildings must have energy efficiency calculations, which requirements are now part of Building Code Book. This is based on European Performance of Buildings Directive. According to the code, the air infiltration must be calculated based on air tightness number 4.0 1/h [changes/hour], if there are no measurements or, if the uncontrolled rate of ventilation has not shown by some other methods. This value will be probably decreased in the future.

The air infiltration will be calculated from the formula $n_{50}/25$, where n_{50} is the air tightness value at 50 Pa pressure drop. So, the default value (if no measured values) is $4/25 = 0,16$ 1/h. This caused a quick response among the building sector and kicked service providers and also increased activity of contractor and house producers, even air tightness's have been measured since 70's. The aim was to show that the air tightness is less than 4,0 1/h – the lower the better.

There are two main groups of contractors: Big nationwide companies which started systematically measure their production, and the producers of prefabricated houses. Also in some cities the building control authorities (who will give the permissions) started to pay attention to quality control of buildings, in which one factor is air-tightness – the first project was made in the city of Oulu, where the moisture management and control plan was sought for multi-storey houses and commercial both public buildings, continuing to set quality management program for new one-family houses before the energy efficient requirements were even valid. This has caused very big improvement of air tightness in new building, especially compared the situation 15 - 20 years ago.

The big contractors have started to develop an energy management program, where air tightness plays very significant role. Air tightness is just one factor in energy efficiency of buildings, and one must not forget the other important topics. In big picture the question should be about building commissioning procedures, which means that we

Kauppinen Timo. The use of building thermography in verification of energy efficiency should have more detailed plans in pre-design and design phases, and also verify the owner's requirements in various stages of building process.

This presentation we will also discuss about the results collected by VTT from multi-storey apartment houses and one-family houses mainly during 2008-2009. The results will be compared to the previous results from various sources. Also the connection between air tightness number and uncontrolled ventilation will be discussed. The biggest problem is how to improve the air tightness of existing building stock, because new building covers only 1-2 %/year/the total building stock.

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

А.И. Ананьев, д.т.н., академик ВИА, директор научного центра Российского общества инженеров строительства (РОИС), главный научный сотрудник НИИСФ РААСН

В.П. Абарыков, начальник научно-технического управления Минмосoblстроя

Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

Объем выпуска пустотелых керамических изделий в России стал составлять около 80%. Значительно расширена номенклатура эффективных керамических изделий, в том числе из пористой керамики. Оборудование, используемое для производства пустотелого кирпича и камня, в основном импортное, приобретение которого началось в первые годы перестроечного периода. В кирпичах и камнях допустимые размеры щелевых пустот увеличили с 12 до 16 мм, диаметр вертикальных цилиндрических пустот и размер стороны квадратных пустот с 16 до 20 мм [1]. Увеличенные размеры пустот были введены в ГОСТ 530-95 [2]. Одновременно Госстроем России планировалось поручить научно-исследовательским институтам совместно со строителями разработку новых технологий кладки, исключающих заполнение пустот раствором, подобных зарубежным. В результате незавершенности этой работы большинство строительных организаций продолжают вести кладку стен по технологии, разработанной для полнотелого кирпича. В результате расход раствора на кладку стен увеличился с 0,20-0,24 м³ до 0,3-0,4 м³, что привело к перерасходу цемента на 50-100 кг на один кубический метр кладки, а раствора – до 300 кг.

Попавший в пустоты раствор снижает теплозащитные свойства стен, не улучшая их прочностные показатели. Экспериментальные исследования температурно-влажностного режима кладок из современного пустотелого кирпича и камня позволили ввести в новый ГОСТ 530-2007 [3] требования, отражающие сложившееся положение в кирпичной промышленности и строительстве. Было бы неправильным вводить обязательные требования, ограничивающие размеры пустот в кирпичах и камнях до 8-12 мм, поскольку это повлекло бы за собой временную остановку многих предприятий. Вместе с тем, избежать заполнения раствором пустот крупнее 12 мм при возведении стен возможно при использовании различных технологических приемов. Принятое в ГОСТ 530-2007 решение позволяет заводам и строителям самостоятельно выбирать более приемлемый для них вариант.

Введенные в стандарт новые требования отражают заинтересованность строительной индустрии в объективной оценке теплотехнической эффективности выпускаемой продукции и повышении ее качества. Определение коэффициента теплопроводности кладки из пустотелого кирпича и камня будет осуществляться на фрагменте стены, изготовленном по технологии, исключающей заполнение пустот кладочным раствором, т.е. при одинаковом расходе по сравнению с полнотелым. Такой метод позволяет производителю сопоставлять теплотехническую эффективность своей продукции с выпускаемой на других заводах, поскольку при изготовлении фрагмента стены для испытаний полностью устраняются нарушения технологии ведения кладки стены, часто допускаемые в

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

построечных условиях. Строителям будет практически невозможно переключать вину за снижение теплозащитных качеств на кирпичные заводы. Вместе с тем не запрещается проводить испытания пустотелого кирпича и камня на фрагментах стен или непосредственно на стенах эксплуатируемого здания, возведенных по технологии, применяемой для кладки из полнотелого кирпича, о чем должна быть сделана запись в протоколе испытаний. Полученные значения коэффициентов теплопроводности кладок обоими способами могут использоваться при проектировании наружных стен при условии соблюдения соответствующего приведенным коэффициентам теплопроводности технологического регламента, являющегося неотъемлемой частью проекта здания. Данные таблицы Г.2, приведенной в стандарте [3], позволяют производителю принять достаточно обоснованное решение для повышения теплотехнической эффективности керамического стенового или облицовочного кирпича и камня. Для этих целей целесообразно увеличить количество щелевых пустот за счет уменьшения их ширины с перекрытием сквозных теплопроводных керамических диафрагм, повысить пористость черепка. Рациональные размеры и расположение пустот в кирпичах позволят до 30% снизить теплопроводность кладки по сравнению с кладкой, выполненной из кирпича со стандартными размерами пустот, заполненных раствором. Информация о теплотехнических свойствах кладок позволяет и заказчику выбирать устраивающую его продукцию или ставить перед заводом вопрос о выпуске кирпича с уменьшенными размерами пустот и повышенными теплозащитными свойствами. Дополнительные затраты заказчика на освоение производства пустотелого кирпича или камня с улучшенными теплотехническими свойствами окупятся при строительстве за счет снижения расхода цемента до 50-100 кг на один кубический метр кладки стены.

Сложившаяся практика возведения стен из пустотелого теплоэффективного камня и кирпича по той же технологии, что и из полнотелого, снижала конкурентоспособность огнестойкого долговечного конструкционно-теплоизоляционного стенового и лицевого кирпича и камня в области энергосбережения и повышения долговечности наружных стен по сравнению с заведомо худшими материалами.

В новый стандарт введено требование, устанавливающее для лицевых керамических кирпичей марку по морозостойкости не ниже F 50. Такое повышение вызвано качественным изменением физических процессов в наружных стенах с повышенным уровнем теплоизоляции, что привело к большему количеству циклов перехода наружной температуры через 0°C в облицовочном слое, приводящих к преждевременному разрушению наружных стен.

Для определения морозостойкости кирпича принят метод объемного замораживания, более жесткий по сравнению с методом одностороннего замораживания. Статистически обработанные результаты испытаний, полученные методом одностороннего замораживания, приблизительно на 20% дают превышающие данные, получаемые при объемном замораживании. При разработке метода одностороннего замораживания считалось, что использование метода объемного замораживания приводит к «необоснованной» выбраковке фактически долговечных кирпичей, и поэтому к дополнительным технологическим

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

затратам. Предполагали также, что пропускаемый брак при испытаниях методом одностороннего замораживания будет приносить меньше ущерба народному хозяйству, чем выбраковка хорошей продукции при объемном замораживании. Но практика эксплуатации зданий показала, что затраты на ремонт разрушенных участков на фасадах стен с бракованными кирпичами, допущенных в строительство после испытаний методом одностороннего замораживания, значительно превышают затраты на выпуск лицевого кирпича повышенной морозостойкости. При этом создаются и большие трудности при ремонте в подборе цвета лицевого кирпича, что приводит к ухудшению внешнего вида фасада зданий.

Реализация требований нового межгосударственного стандарта значительно повышает роль производителей пустотелого керамического кирпича и камня во взаимоотношениях с проектировщиками и строителями при решении проблемы повышения теплозащитных качеств и долговечности наружных стен энергоэффективных зданий.

Если бы материалы кирпичной кладки находились при эксплуатации в сухом состоянии, то повышенное содержание цементно-известково-песчаного раствора плотностью 1800 кг/м^3 не приводило бы к ощутимому снижению теплозащитных качеств наружных кирпичных стен, поскольку его коэффициент теплопроводности, (λ), равный в этих условиях $0,58 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$, при одинаковой плотности с керамикой (1800 кг/м^3) незначительно превышает ее теплопроводность, равную $0,55 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$. Но, к сожалению, они в условиях эксплуатации имеют существенно отличающуюся влажность, которая значительно повышает λ стены. Сорбционная влажность цементно-известково-песчаного раствора приближается к 5%, а у плотного керамического кирпича не превышает 1%.

Сорбционная влажность стеновых и облицовочных материалов из пористой керамики, например ОАО «Победа ЛСР», как правило, не превышает 0,6%. Определенная экспериментальным способом эксплуатационная влажность кирпичной кладки на взятых из стен пробах при массовом соотношении материалов (кирпич:раствор), равном 3:1 при относительной влажности наружного воздуха $\varphi_n = 97\%$, соответствующей φ_n в январе месяце (Москва, Санкт-Петербург), составляет существенно большую величину. Целесообразно отметить преимущество в этом стен из пористой керамики (рис. 1). На ее более низкое значение эксплуатационной влажности повлияло не только особенность структуры пор, но и значительно меньшее количество раствора в стенах из крупноформатных керамических камней. В условиях эксплуатации кирпичная стена набирает наибольшее количество влаги в период максимального влагонакопления, т.е. в марте месяце. В этот период кирпич и раствор находятся в сверхсорбционном состоянии. Раствор, набравший влагу, в результате соприкосновения отдает ее порам кирпича, повышая общее влагосодержание кладки. Влага, замкнутая в крупных порах, имеет теплопроводность $0,55 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$, что почти в 20 раз выше теплопроводности влажного воздуха, равной $0,027 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$. При сильных же морозах часть влаги, накопившейся в известково-цементно-песчаном растворе и в значительно меньшем объеме в керамике, превращается в лед, теплопроводность которого составляет $2,3 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$, что в 4 раза превышает теплопроводность жидкой влаги. Кроме того,

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

образовавшийся лед является барьером в стене на пути уходящего наружу из помещения пара. Это увеличивает влагосодержание материалов и снижает теплозащитные качества стены и морозостойкость лицевого кирпича в облицовочном слое.

По этим причинам на основании результатов натурных и лабораторных исследований расчетное (нормативное) значение эксплуатационной влажности кирпичной кладки из плотного кирпича для условий эксплуатации Б принято равным 2%, что существенно превышает максимальное значение сорбционной влажности керамики, равное $\approx 1\%$. Для цементно-известково-песчаного раствора нормативное значение влажности для условий эксплуатации Б принято равным 4%. Оно несколько ниже максимального сорбционного значения, равного 5-6%. Часть влаги из раствора передается примыкающей керамике. Особенно это заметно в кладке из пустотелого кирпича, имеющего более развитую наружную поверхность, соприкасающуюся с влажным раствором, почти в два раза превышающую площадь полнотелого. Да и раствора в кладке из пустотелого кирпича на 30-40% больше, чем в кладке из полнотелого. Поэтому пустотелый кирпич входит в эксплуатационное влажностное состояние за более короткие сроки.

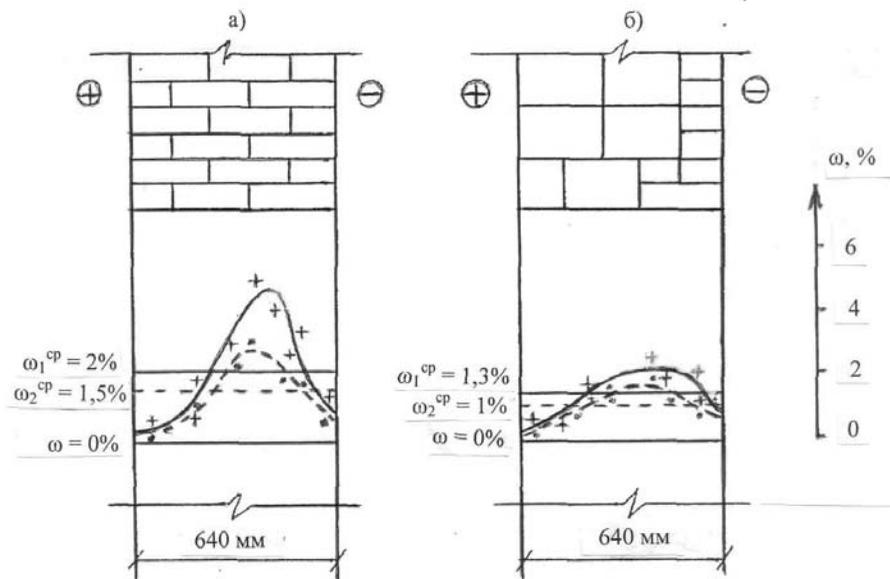


Рисунок 1. Распределение эксплуатационной влаги в наружной кирпичной стене
а) из полнотелого керамического кирпича
б) из пустотелых камней с пористой керамикой
_____ на период максимального влагонакопления (март)
----- за отопительный период

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

Установление количественных зависимостей влияния кладочного раствора на влажностный режим стен выполнялось в климатической камере на трех фрагментах стен размером 1,8х1,8х0,38м, изготовленных в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко совместно с НИИСФ. Кирпичи применялись Голицынского завода с шириной щелей 12 мм, 16 мм и 20 мм. При изготовлении фрагментов замерялся расход раствора. Аналогичные испытания выполнялись в натуральных условиях и в климатической камере на стенах толщиной 640 мм, изготовленных из кирпича с квадратными пустотами 20х20мм. Изготовление фрагментов стен для испытаний выполнялось квалифицированными каменщиками с фиксированным расходом раствора 0,23 м³, 0,3 м³ и 0,4 м³ на кубический метр кладки. Раствор применялся цементно-известково-песчаный плотностью 1800 кг/м³ состава 1:0,9:8 (цемент:известь:песок) по объему на портландцементе марки 400 с осадкой конуса 9 см. Стены, испытанные в натуральных условиях, изготавливались по технологии, разработанной для полнотелого кирпича, т.е. с частичным заполнением пустот раствором. Консистенция и плотность раствора не контролировались. Допускалось «омолаживание» раствора, не использованного до обеда, т.е. с нарушениями технологического регламента, присущими построечным условиям. Поэтому результаты теплотехнических испытаний кладки стен в натуральных условиях существенно отличались в худшую сторону от полученных в климатической камере. Анализ результатов испытаний в настоящем докладе проводится по данным, полученным в климатической камере. Фрагменты стен были изготовлены из 21-пустотного кирпича плотностью 1000 кг/м³ и 1400 кг/м³ с размером пустот 20х20 мм. Кладка фрагментов выполнялась на цементно-известково-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м³ с осадкой конуса 9 см. Толщина горизонтальных растворных швов составляла 12 мм, вертикальных – 10 мм. В целях сравнения теплотехнической эффективности фрагментов стен первый был изготовлен по технологии, полностью исключаящей заполнение пустот раствором, т.е. по технологии, соответствующей кладке из полнотелого кирпича. Расход раствора составлял 0,23 м³. Второй и третий фрагменты изготовлены, соответственно, с расходом раствора 0,3 м³ и 0,4 м³ на один кубический метр кладки, т.е. с частичным заполнением пустот. Плотность кладки из пустотелого кирпича плотностью 1000 кг/м³ соответственно составляла 1180 кг/м³, 1310 кг/м³ и 1490 кг/м³. При применении пустотелого кирпича плотностью 1400 кг/м³ плотность повысилась до 1492 кг/м³, 1618 кг/м³ и 1798 кг/м³.

Для приобретения равновесного влажностного состояния, соответствующего воздушно-сухому, в климатической камере до испытаний при $t_b = 20^\circ\text{C}$, $\phi_b = 40\%$ фрагменты выдерживали в специальном помещении. Поскольку для наступления стационарных условий диффузии водяного пара требуется продолжительное время, то исследования в климатической камере проводили в течение трех месяцев при $t_n = -20^\circ\text{C}$, $t_b = 20^\circ\text{C}$. Пробы материалов для определения влажности отбирали в соответствии с расходом на 1 м³ стены. Т.е. при расходе раствора 0,23 м³ это соотношение составляло 1:3 (одна часть раствора:три части керамики), при 0,3 м³ принималось 1:2, а при 0,4 м³ соответственно 1:1,5. В кладке, выполненной с расходом раствора 0,23 м³, влажность керамики с 0,2% в воздушно-сухом состоянии увеличилась до 1,2% с максимальным значением 2,2% на расстоянии 0,33 толщины стены от наружной поверхности.

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

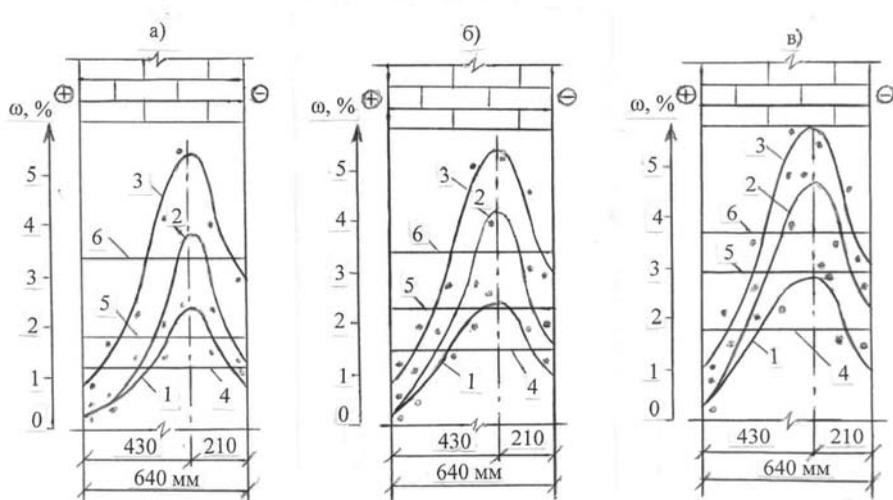


Рисунок 2. Влажностный режим фрагментов кирпичных стен из 21 пустотного кирпича $\gamma=1300 \text{ кг/м}^3$ с размером пустот $20 \times 20 \text{ мм}$ на цементно-известково-песчаном растворе $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$

а) расход раствора $0,23 \text{ м}^3$ на 1 м^2 кладки;

б) то же на $0,3 \text{ м}^3$; в) то же на $0,4 \text{ м}^3$

1 – кирпича; 2 – кирпичной кладки; 3 – кладочного раствора; 4, 5, 6 – среднее значение влажности соответственно кирпича, кладки, кладочного раствора.

Влажность раствора в этом месте составляет 5,4% при среднем значении 3,3%. Среднее массовое отношение влажности кладки составило 1,8% при максимальном значении 3,8%. При увеличении расхода раствора до $0,3 \text{ м}^3$ на 1 м^2 кладки из пустотелого кирпича среднее значение влажности кладки составляет 2,3%, при расходе раствора $0,4 \text{ м}^3$ влажность кладки повысилась до 2,9% (рис. 2). В двух последних случаях среднее массовое отношение влажности, соответственно, на 15% и 45% превышало нормативное значение, равное 2%. Во всех трех случаях массовое отношение влаги (максимальное и среднее значения) цементно-известково-песчаного раствора в кладке почти не увеличивается и, тем более, не уменьшается. Среднее же значение влажности кладки растет в большем темпе, чем раствора. Это, очевидно, связано со способностью раствора отдавать сверхсорбционную влагу керамике контактным путем и восполнять потерянное количество за счет диффузии водяного пара из теплого помещения.

Теплопроводность кладки из пустотелого кирпича с диапазоном значений плотности $1000-1400 \text{ кг/м}^3$, в который практически укладывается почти весь выпускаемый нашей промышленностью пустотелый кирпич, при расходе раствора $0,23 \text{ м}^3$ в сухом состоянии находится в пределах от 0,26 до 0,41 Вт/(м·°C). Различие не превышает 16%.

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

Таблица 1.

Теплотехнические свойства кирпичной кладки из пустотелого керамического кирпича						
Наименование кирпича	Плотность, кг/м ³		Расход раствора на 1 м ³ кирпичной кладки м ³	Массовое отношение влаги кирпичной кладки в условиях эксплуатации и Б, ω, %	Коэффициент теплопроводности кирпичной кладки λ _б , Вт/(м·°С)	Превышение в % от наименьшего значения λ при ω=1,8% (т.е. без заполнения пустот раствором)
	Кирпича	Кирпичной кладки				
На цементно-известково-песчаном растворе γ=1800 кг/м ³						
Керамический	1000	1180	0,23	1,8	0,43	
21-пустотный	1000	1310	0,30	2,3	0,54	25,6
с размером пустот 20x20 мм	1000	1490	0,40	2,9	0,59	37,2
То же						
То же	1400	1490	0,23	1,8	0,56	
	1400	1620	0,30	2,3	0,65	16,0
	1400	1800	0,40	2,9	0,70	25,0
На цементно-песчаном растворе γ = 2000 кг/м ³						
То же	1400	1540	0,23	1,8	0,58	
	1400	1680	0,30	2,3	0,74	27,6
	1400	1880	0,40	2,9	0,77	32,8

При увеличении расхода раствора до 0,3 м³ плотность кладки, например, из пустотелого кирпича γ=1000 кг/м³ возрастает с 1180 кг/м³ до 1310 кг/м³. При расходе раствора 0,4 м³ плотность кладки повышается до 1490 кг/м³. Среднее значение влажности кирпичной кладки изменяется с 1,8% соответственно до 2,3% и 2,9%. Такое изменение влажности и плотности приводит к повышению коэффициента теплопроводности стены с 0,43 Вт/(м·°С) до 0,54 и 0,59 Вт/(м·°С), т.е. соответственно на 25,6% и 37,2%. При плотности кирпича 1400 кг/м³ в результате увеличения расхода раствора до 0,3 м³ и 0,4 м³ коэффициент теплопроводности кирпичной стены возрастает с 0,56 Вт/(м·°С) до 0,65 и 0,70 Вт/(м·°С), т.е. на 16% и 25,0%.

Более существенное увеличение теплопроводности кирпичной стены из пустотелого кирпича плотностью 1400 кг/м³ происходит при применении цементно-песчаного кладочного раствора плотностью 2000 кг/м³ при том же расходе раствора, равном 0,3 м³ и 0,4 м³ значение коэффициента теплопроводности увеличивается до 0,74 Вт/(м·°С) и 0,77 Вт/(м·°С), т.е. на 27,6% и 32,8%. Это приводит также и к увеличению плотности кладки (рис. 3, табл. 1). Вместе с тем следует отметить, что наличие кладочного цементно-известково-песчаного раствора плотностью 1800 кг/м³ в пустотах кирпичей оказывает меньшее влияние на увеличение коэффициента теплопроводности стены, чем увеличение его влажности. Это обуславливается рыхлым состоянием раствора в пустотах, находящегося в виде частиц (комочков) неправильной формы, разделенных воздушными мелкими полостями. Плотность раствора в рыхлом виде составляет 1200-1400 кг/м³ и приблизительно равна плотности примененного пустотелого керамического кирпича (γ брутто).

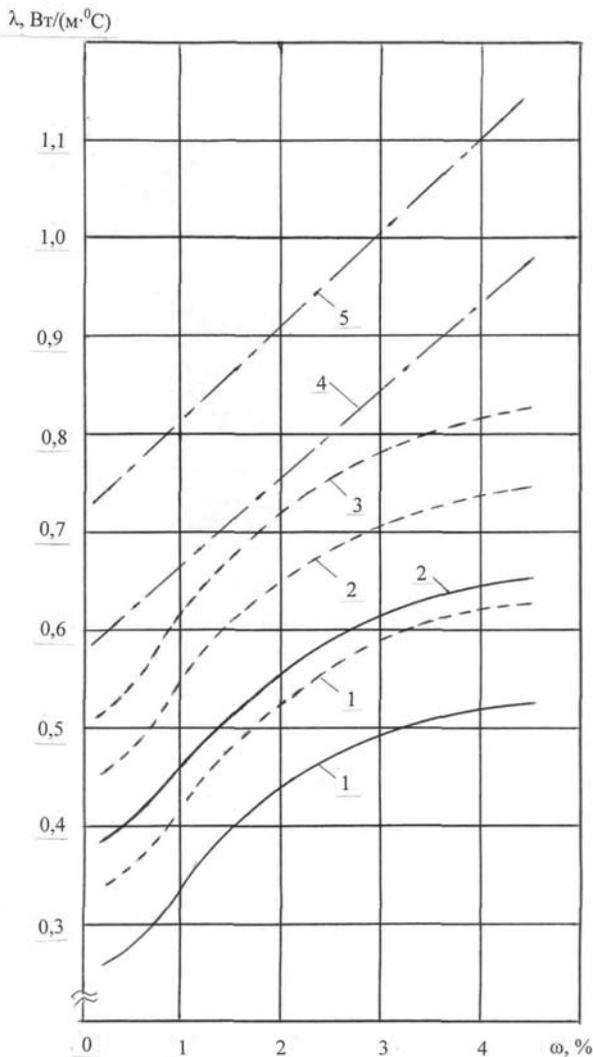


Рисунок 3. Зависимость теплопроводности кирпичной кладки из пустотелого кирпича от влажности.

— кирпичная кладка при расходе кладочного цементно-известково-песчаного раствора $0,23 \text{ м}^3$ плотностью $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$.

----- то же при расходе раствора $0,4 \text{ м}^3$

1 — из кирпича $\gamma=1000 \text{ кг/м}^3$ на цементно-известково-песчаном растворе плотностью $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$; 2 — то же из кирпича $\gamma=1400 \text{ кг/м}^3$; 3 — из кирпича $\gamma=1400 \text{ кг/м}^3$ на цементно-известково-песчаном растворе плотностью $\gamma=2000 \text{ кг/м}^3$; 4 — цементно-известково-песчаный раствор $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$; 5 — цементно-известково-песчаный раствор $\gamma=2000 \text{ кг/м}^3$.

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

Кроме того, попавший в пустоты раствор разделит крупную воздушную полость на несколько воздушных прослоек, каждая из которых в результате полного прекращения передачи теплоты конвекцией обладает дополнительным термическим сопротивлением в стене. Созданное изменение условий теплопередачи в какой-то степени компенсирует влияние лишнего раствора на снижение теплозащитных качеств кирпичных стен из пустотелого кирпича. Заметно худшие влажностные условия складываются в пустотах в результате применения кладочного тяжелого раствора плотностью 2000-2200 кг/м³, особенно при повышенной консистенции. Жидкий раствор легко проникает в пустоты, оседает внизу в «литом» виде.

Плотность, влажность и теплопроводность тяжелого раствора в воздушной прослойке практически не отличается от теплофизических параметров раствора, находящегося в горизонтальных швах кладки. Влажность тяжелого раствора в кирпичной кладке может повышаться до 6-8%, что изменяет влажность и теплопроводность стены на 30-40%. Проваливание кладочного раствора в пустоты создает для каменщиков большие проблемы в создании равной растворной постели в горизонтальных швах кладки. Провалившийся раствор образует разрывы в горизонтальных швах, создающих благоприятные условия для циркуляции воздуха в пустотах. Созданная таким способом продольная фильтрация воздуха снижает теплотехническую эффективность пустотелых керамических стеновых и лицевых материалов. В целях исключения условий для попадания кладочного раствора в пустоты и создания ровного горизонтального шва без разрывов в ОАО «Победа ЛСР» принято к продаваемой крупноформатной пустотелой керамической продукции в обязательном порядке прилагать сетки с ячейками размером не более 10x10 мм для прокладки в горизонтальных растворных швах.

Повышенная плотность и влагопоглощательная способность кладочного раствора в условиях эксплуатации наружных стен зданий значительно снижают защитные на заводе теплозащитные свойства кирпича. Отрицательное воздействие тяжелого цементно-песчаного раствора может превышать теплотехнический эффект, получаемый от рационального расположения пустот и поризации керамики. Поэтому кладку из пустотелого кирпича с поризованной керамикой следует выполнять на легких (теплых) растворах с пониженной влагопоглощательной способностью, достигаемой введением гидрофобизирующих добавок. В зарубежной строительной практике при возведении стен руководствуются принципом соответствия теплотехнических свойств кладочного раствора теплотехнической эффективности кирпича. Отечественной промышленностью для этих целей освоен выпуск широкой номенклатуры теплых кладочных растворов плотностью от 1600 до 500 кг/м³, с теплопроводностью от 0,81 до 0,21 Вт/(м °С).

На строительном рынке в большом объеме представлена аналогичная продукция и зарубежных фирм. Отмеченные выше отличия теплофизических свойств кирпичной кладки, выполненной из одинакового кирпича, но на растворах с отличающимися физическими параметрами создают определенные трудности в построении объективной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности. Тем не менее, эта зависимость используется во многих зарубежных странах. В некоторых странах ее устанавливают в зависимости от плотности

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

кладки. Если устанавливают зависимость теплопроводности от плотности кирпича, то указывают конкретные характеристики применяемого кладочного раствора. В отечественной строительной практике начиная с 1962 г. кладку выполняли на тяжелом растворе (СНиП II-A. 7-62) [4]. Конкретного значения плотности и расхода раствора на м³ кладки не указывалось. В связи с отсутствием информации о конкретной плотности раствора значение коэффициентов теплопроводности кирпичных кладок, приведенных в нормативном документе, в настоящее время нельзя воспринимать однозначно, т.к. категория «тяжелых растворов» охватывает диапазон плотностей от 1700 до 2200 кг/м³ с различием λ до 40-50%.

Конечно, можно было бы сегодня признать, что приведенные данные соответствуют кладкам, выполненным на растворе плотностью 1800 кг/м³, если бы в последующей редакции СНиП II-A. 7-71 [5] ко всем кирпичным кладкам плотностью от 1000 до 1800 кг/м³ с теми же значениями коэффициентов теплопроводности не сделали уточнение, что они выполняются на любом растворе. В редакции СНиП II-3-79 [6] значения λ для кладок из пустотелого кирпича сохранены полностью. Но к каждой плотности кладки добавлена информация по плотности кирпича. Что касается слов «на любом растворе» или «тяжелом растворе», их заменили на «на цементно-песчаном растворе» без указания плотности. В последующих изданиях СНиП II-3-79 в 1982 году и в 1998 году эти данные сохранены. Они перешли и в СП 23-101-2004 [7] и отражают свойства, как и в 1962 году, трех типов пустотелого кирпича.

Такой неконкретный подход к нормированию коэффициента теплопроводности керамического кирпича и камня в какой-то степени был терпим до 1980 года и даже до 1990 года, поскольку объем пустотелого кирпича в общем производстве керамических материалов не превышал 0,5%. В настоящее время его доля приблизилась к 80 %. А номенклатура расширилась до 50 наименований. Заводы освоили новые технологии и перешли на более качественный уровень производства керамических изделий из пористой керамики в виде кирпичей высокой морозостойкости, крупноформатных камней, соответствующих по объему от 4 до 15 условным кирпичам. Это позволило при выполнении кладок из некоторых типов камней в несколько раз снизить расход раствора. Использование пористой керамики, рационального расположения пустот в кирпичах при большом разнообразии их формы позволили существенно улучшить теплотехнические свойства кирпича.

В нормативных документах и СП 23-101-2004 [7] теплотехнические свойства современной керамической продукции до настоящего времени не нашли отражения. Имеющиеся данные по трем типам пустотелых кирпичей не могут быть использованы, т.к. размер пустот в них не соответствует утвержденным в ГОСТ 530-95 параметрам. Поэтому были проанализированы данные 70 заводов по теплопроводности выпускаемых кирпича и камней, полученные при испытаниях в аккредитованных лабораториях без заполнения пустот. Полученные статистически обработанные данные приведены на рис. 4.

По отмеченным выше причинам приведенные на рис. 4 данные по теплопроводности кладки из пустотелого кирпича плотностью 1000-1400 кг/м³, выполненной без заполнения пустот раствором, несколько ниже данных,

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

приведенных в СНиП по строительной теплотехнике с частичным заполнением пустот раствором, перешедших в дальнейшем в СП 23-101-2004 [7].

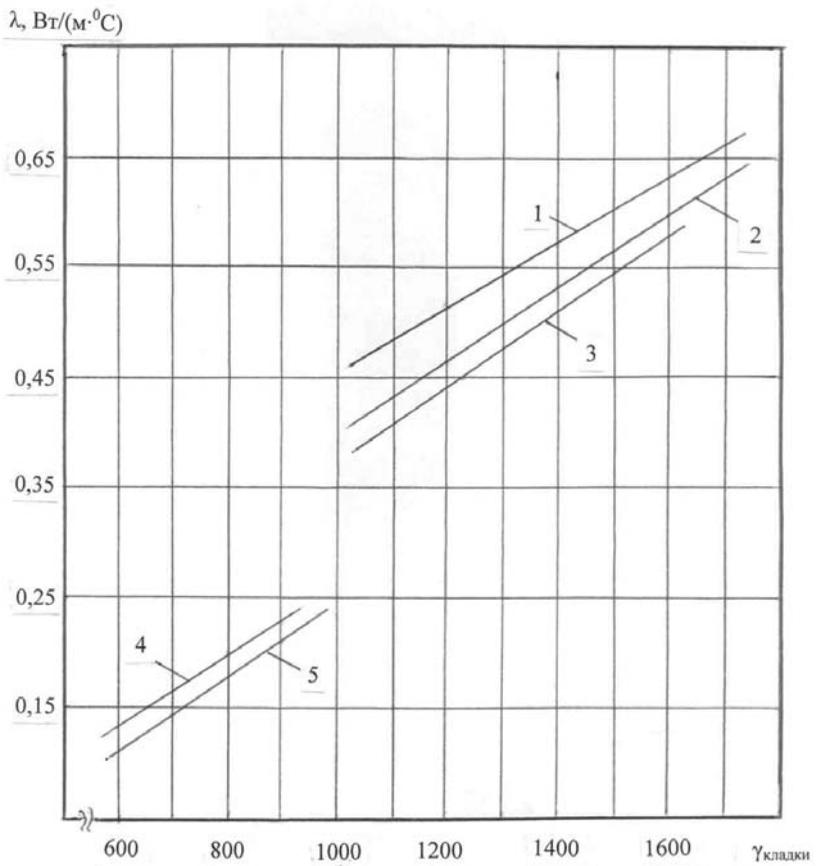


Рисунок 4. Зависимость теплопроводности кирпичной кладки из пустотелого кирпича и камня от плотности.

1 – данные СНиП II-3-79* [5] и СП 23-101-2004 [6]; 2 – результаты испытаний кирпичных кладок без заполнения пустот раствором при расходе раствора 0,23 м³ на 1 м³ кладки;

3 – то же для кладок из камня размером 120x250x138 мм без заполнения пустот раствором при расходе раствора 0,16 м³ на 1 м³ кладки; 4 – результаты испытаний кладок из крупноформатных камней из поризованной керамики; 5 – данные фирмы Винербергер для кладки из крупноформатных камней с поризованной керамикой.

Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

Некоторые различия в теплопроводности наблюдаются и в сравнении с зарубежными данными. Например, кладки из крупноформатных камней с поризованной керамикой, выпущенных в России, имеют более высокие значения коэффициентов теплопроводности.

Информация о теплотехнических свойствах кладок из различных типов кирпичей, которой будет обладать производитель, позволит и заказчику выбирать устраивающую его продукцию или ставить перед заводом вопрос о выпуске кирпича с уменьшенными размерами пустот и повышенными теплозащитными свойствами. Дополнительные затраты заказчика на освоение производства пустотелого кирпича или камня с улучшенными теплотехническими свойствами окупятся при строительстве за счет снижения расхода цемента до 50-100 кг на один кубический метр кладки стены.

Сложившаяся практика возведения стен из пустотелого теплоэффективного камня и кирпича по той же технологии, что и из полнотелого, снижала конкурентоспособность огнестойкого долговечного конструкционно-теплоизоляционного стенового и лицевого кирпича и камня по сравнению с заведомо худшими материалами в решении проблемы энергосбережения и повышения долговечности наружных стен.

Список литературы

1. ГОСТ 530-80. Кирпич и камни керамические. Технические условия. М., 1980.
2. ГОСТ 530-95. Кирпич и камень керамический. Общие технические условия. М., 1995.
3. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М., 2007.
4. СНиП II-A. 7-62. Строительная теплотехника. Нормы проектирования. М., 1963.
5. СНиП II-A. 7-71. Строительная теплотехника. Нормы проектирования. М., 1971.
6. СНиП II-3-79. Строительная теплотехника. Нормы проектирования. М., 1979.
7. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2004.

Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона

Автоклавный газозолобетон появился в Свердловской области еще в 60-е гг. прошлого столетия. Первые три десятилетия основной продукцией из газозолобетона были одно-, двухмодульные наружные стеновые панели плотностью 700–800 кг/м³ толщиной 280 мм крупнопанельных жилых домов нескольких серий (последняя серия 141, разработанная ЦНИИЭП Жилища). Стеновые панели характеризовались классом по прочности В3,5–В5,0 и маркой по морозостойкости F 35 [1]. Начиная с 1988 г. в производство запущены более эффективные стеновые панели плотностью 600–650 кг/м³ той же толщины (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики стеновых панелей, выпускаемых в период 1962–1991

Показатели	Плотность стеновых панелей, кг/м ³	
	700-800	600-650
Класс по прочности	В3,5-В5,0	В2,5-В3,5
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/м °С	0,17-0,19	0,14-0,16
Марка по морозостойкости	F35	F25
Усадка при высыхании (макс), мм/м	0,7	0,7

В области ежегодно выпускалось до 80 тыс. м³ газозолобетонных изделий. Наружные стеновые панели из газозолобетона активно использовались при строительстве целых микрорайонов г. Свердловска. Жилые дома с ограждениями из газозолобетона успешно эксплуатируются и по сей день – возраст некоторых домов приближается к 50 годам.

В настоящее время из газозолобетона в области выпускаются преимущественно мелкоштучные стеновые блоки плотностью 400–600 кг/м³ (таблица 2). Как видно из представленных данных, основным отличием современного газозолобетона, определяющим его прочие свойства, является пониженная плотность.

Таблица 2. Характеристика современного газозолобетона

Показатели	Плотность изделий, кг/м ³		
	400	500	600
Класс по прочности	В 2,5	В 3,5	В 5,0
Марка по морозостойкости	>F50	F100	F100
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/м °С	0,08	0,10	0,13
Усадка при высыхании, мм/м	0,59	0,56	0,57
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,25	0,20	0,18
Удельная эффективная активность ЕРН, Бк/кг	77,5		
Огнестойкость	Не менее EI 150		

Это объясняется как стремлением производителей газобетона оптимизировать производственные расходы (при снижении плотности сокращается расход основных компонентов, уменьшаются транспортные затраты

Вишнеvский А.А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона

и т.д.), так и внесением в 1996 г изменений в СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника», ужесточающих требования к ограждающим конструкциям (при снижении плотности происходит уменьшение теплопроводности).

При этом, как следует из представленных данных, прочностные характеристики газозолобетона, а также его морозостойкость при снижении плотности не только не уменьшились, но и даже возросли [2]. Обращает на себя внимание и снижение усадочных деформаций, которые, безусловно, являются главным недостатком ячеистого бетона в целом. Все это стало возможно благодаря технологическим решениям и современному оборудованию, применяемому на заводах. В частности, более точному дозированию исходных компонентов, ведению процесса автоклавирования при повышенном давлении (12-14 атм), а также применением высокомарочного бездобавочного портландцемента и модифицирующих добавок.

Все это создает предпосылки для формирования особой макро- и микроструктуры газобетона. В частности, высокие прочностные характеристики объясняются повышенным содержанием минерала тоберморит, кристаллы которого имеют пластинчатое строение с размерами элементарной ячейки 1,13 нм. Повышенная морозостойкость связана с наличием в газобетоне двухвалентного гидросиликата. Кристаллические сростки данного силиката характеризуются повышенной пористостью, что способствует свободной миграции влаги при её замораживании и расширению её объема без возникновения напряжений.

Важной особенностью продукции нового поколения стали точные геометрические размеры. Благодаря этому появилась возможность использования при их монтаже клеевого раствора, при этом толщина швов не превышает 2-3 мм. Это позволяет повысить однородность стены и увеличить её теплоизолирующую способность. Кроме этого, мелкие блоки имеют захватные карманы для рук, что значительно упрощает их монтаж.

Важным свойством современного автоклавного газозолобетона является его повышенная огнестойкость.

В соответствии с ГОСТ 31359-2007 газобетон относится к негорючим материалам. В 2005 г. в испытательном центре «Опытное» 26 ЦНИИ Минобороны России (г. Балашиха, Московская обл.) проведены испытания фрагмента из газозолобетона марки D500 толщиной 100 мм (рисунок 1) в соответствии с ГОСТ 30247.1-94.



Рисунок 1 Определение огнестойкости фрагмента толщиной 100 мм из газозолобетона марки D500 ООО «ПСО «Теплит»

Вишневыский А.А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона

Испытания показали, что за 2,5 ч теплового воздействия при $T_{\text{макс}}=1030^{\circ}\text{C}$ потери целостности конструкции, а также повышения температуры на необогреваемой поверхности выше 180°C (потеря теплоизолирующей способности) не произошло (таблица 3).

Таблица 3. Изменение температуры при определении огнестойкости конструкции

Температура	Продолжительность теплового воздействия, мин								
	0	5	20	40	60	80	100	120	150
В печи, $^{\circ}\text{C}$	22	530	770	850	900	970	1030	1030	1030
Внутренней поверхности, на которую осуществлялось тепловое воздействие	22,0	22,8	70,0	104,0	110,0	115,0	121,5	129,8	138,1
Наружной (не обогреваемой) поверхности фрагмента (максимальная)	22,0	22,0	58,0	61,0	72,9	75,1	76,4	76,8	77,0
Наружной (не обогреваемой) поверхности фрагмента (средняя)	22,0	22,0	22,2	34,6	61,9	67,1	68	68,5	68,7

Максимальная температура, зафиксированная на наружной (необогреваемой) поверхности стенового фрагмента за 2,5 ч составила 77°C , на внутренней поверхности – 138°C . По полученным данным, методом экстраполяции определено, что потеря теплоизолирующих свойств (повышение температуры наружной поверхности стенового фрагмента выше 180°C) возникнет через 3,5-4 ч теплового воздействия на фрагмент из ячеистого бетона. Подобное значение будет иметь и предел огнестойкости. Необходимо отметить, что по огнестойкости газобетон превосходит все существующие стеновые материалы.

Касаясь вопроса экологичности продукта, следует констатировать, что удельная эффективная активность ЕРН для газозолобетона составляет $77,5$ Бк/кг (при норме не более 370 Бк/кг), что сопоставимо с показателями газобетона на песке. По этому показателю газозолобетон превосходит портландцемент, керамический кирпич и другие материалы.

С 2007 г кафедрой ТВМиСИ УГТУ-УПИ проводится работа по оценке влажностного режима ограждающих конструкций из современного газозолобетона. Исследования проводятся на различных по назначению зданиях с разными годами постройки (таблица 4). Отмечено, что наружные конструкции из современного газозолобетона характеризуются повышенной скоростью высыхания (таблица 5). Так, в частности, влажность газозолобетонной конструкции (без наружной отделки) достигает своего равновесного значения уже к 4-5 году эксплуатации и не превышает 5 % (рисунок 2). В то время как для газозолобетонных панелей плотностью $600-700$ кг/м³, равновесная влажность

устанавливалась не ранее чем через 13 лет эксплуатации и составляла 10 % [3]. Выявленная особенность может быть связана с тем, что газозолобетонные панели облицовывались паронепроницаемыми покрытиями (в основном, каменный дробленый материал), что препятствовало удалению влаги через наружную поверхность. Кроме этого, отличие в скорости высыхания газозолобетонных конструкций может быть следствием различий в продуктах гидратации, а также связано с особенностями макро- и микроструктуры современного газозолобетона.

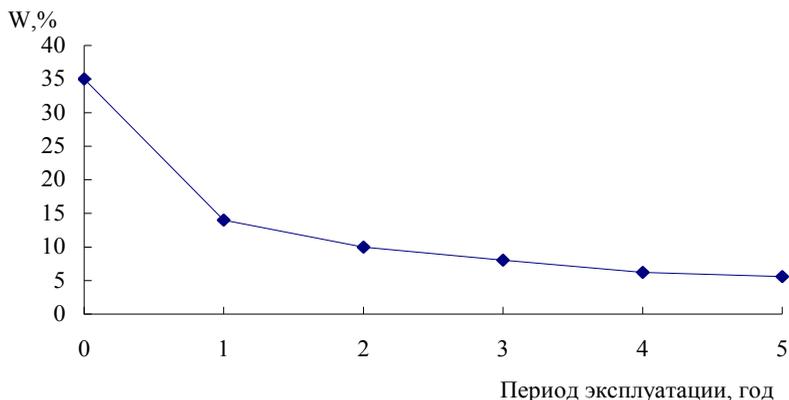


Рисунок 2. Обобщенный график изменения эксплуатационной влажности в однослойных наружных конструкциях из современного автоклавного газозолобетона

В работе, проведенной совместно со специалистами «УралСтройтест», определены коэффициенты теплопроводности при равновесной влажности 5 %. Как видно из данных, представленных в таблице 6, теплопроводность при данной влажности составляет $0,127 \text{ Вт/м}^0\text{С}$. Также исследования показали, что теплопроводность кладки из газозолоблоков на клеевом составе 2-3 мм существенным образом не отличается от теплопроводности отдельного блока. Другими словами, при использовании тонких швов достигается полная однородность стены, и потеря тепла через швы не происходит.

Необходимо отметить, что полученные результаты по равновесной влажности относятся к конструкциям без наружной отделки. Очевидно, что указанные конструкции не могут иметь широкого применения в силу своих эстетических свойств. Одним из вариантов обеспечения высокой скорости высыхания и улучшения внешнего облика газобетонных стен является их отделка паропроницаемыми защитно-отделочными покрытиями. Требования к штукатурным составам для наружной отделки ячеистого бетона приведены в работе [4]. В соответствии с ними для отделки ячеистого бетона рекомендуют использовать легкие составы с плотностью $600-1300 \text{ кг/м}^3$. Особое внимание уделяется паропроницаемости. Сообщается, что при толщине штукатурного слоя 20 мм сопротивление паропроницанию должно быть $R^n \leq 0.5 \text{ м}^2 \text{ ч Па/мг}$, при толщине 5-6 мм - в 10 раз меньше.

Вишневский А.А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона

№	Фотография	Место расположения	Назначения здания	Характеристика материалов	Характеристика обследуемой конструкции		Срок эксплуатации, год
					Наружная отделка	Внутренняя отделка	
1		г. Березовский, ул. Чапаева 39/4	Административное (КТП)	Газозолобетон D500, толщиной 300 мм	нет	- Штукатурка «Вгозех» ШС-32 фасад; - Краска водоземельсионная.	1,5
2		г. Березовский, ул. Чапаева 39/4	Административное (КТП)	Газозолобетон D500, толщиной 300 мм	нет	- Штукатурка «Вгозех» ШС-32 фасад; - Обои под покраску; - Краска водоземельсионная	2,3
3		пос. Рефтинский, территория РЗГЗБИ	Административное (отдел сбыта)	Газозолобетон D500, толщиной 300 мм	нет	- Штукатурка «Вгозех» ШС-32 фасад; - Обои под покраску; - Краска водоземельсионная	4,0
4		г. Березовский, ул. Чапаева 39/4	Производственное, не отапливаемое (известково-помольное отделение)	Газозолобетон D500, толщиной 300 мм	нет	нет	5,0
5		г. Березовский, ул. Чапаева 39/4	Производственный цех	Газозолобетон D600, толщиной 300 мм	нет	нет	5,0

Вишневский А. А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона

6		г. Екатеринбург ул. Высоцкого	Жилой дом	Газозолобетон Д600, Силикатный кирпич толщиной 300 мм; минераловатный утеплитель – 150 мм; кирпич 120 мм	Силикатный кирпич	Штукатурка; - Обои под покраску; - Краска водоэмульсионная	7,0
---	---	----------------------------------	-----------	--	-------------------	--	-----

Таблица 5. Влажность конструкций из автоклавного газозолобетона

№	Ориентация стены	Период испытания																
		Ноябрь 2008				Февраль 2009				Май 2009				Август 2009				
		Срок эксплуатации, мес	Средняя влажность, масс. %	Срок эксплуатации и, мес	Средняя влажность, масс. %	Срок эксплуатации и, мес	Средняя влажность, масс. %	Срок эксплуатации и, мес	Средняя влажность, масс. %	Срок эксплуатации, мес	Средняя влажность, масс. %	Срок эксплуатации, мес	Средняя влажность, масс. %	Средняя влажность, масс. %	Срок эксплуатации, мес			
1	Юг		12,1	18	12,5	20	12,2	14,0	12,0	12,7	23	8,6	11,5	10,5	26	8,3	7,7	7,1
	Север	13,3																
	Запад	12,2																
2	Юг	27	8,3	30	9,1	10,8	9,4	12,2	5,7	6,6	54	6,3	9,7	8,0	36	5,1	6,9	6,0
	Север	10,0																
	Юг	48	5,8															
3	Север		6,9	51	6,2	63	6,1	5,5	5,8	66	6,0	5,0	3,2	5,5	57	5,7	4,7	4,9
	Север	5,8																
	Восток	5,8																
4	Север	60	5,8	63	5,6	63	6,1	5,5	5,8	66	6,0	5,0	3,1	5,5	69	3,9	4,5	4,2
	Север	5,4																
	Запад	4,7																
5	Юг	60	4,7	63	4,7	63	5,1	5,1	5,1	66	3,1	3,1	3,1	3,1	69	3,0	3,0	3,0
	Север	24	2,8*															

Вишневский А.А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона

Таким образом, изделия из современного автоклавного газозолобетона стали более легкими, а значит, более теплоэффективными. При этом их морозостойкость и прочностные характеристики значительным образом выросли. Благодаря точным геометрическим размерам, захватным карманам для рук и низкой массе изделия стали более удобными в применении. Однослойные конструкции из современного газозолобетона характеризуется повышенной скоростью установления равновесной влажности, при этом сам показатель влажности значительно снизился. В итоге можно констатировать, что современный автоклавный газозолобетон стал более энергоэффективным.

Таблица 6. Теплопроводность газозолобетона D500 в зависимости от влажности

Влажность, масс. %	0	5,0	6,0	8,0	12,0	28,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	0,105	0,127	0,136	0,152	0,166	0,207

Список литературы

1. Ежов В.Б. Совершенствование технологии и повышение качества газозолобетона. Бетон и железобетон. 1996, №1. С. 8-10.
2. Вишневский А.А., Левченко В.Н. Особенности производства и свойства автоклавного газозолобетона. Сб. докладов VI межд. научно - практич. конф. «Ячеистые бетоны в современном строительстве». 2009г. С. 16-19
3. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. – М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.
4. Паплавскис Я., Фрош А. Требования к штукатурным составам для наружной отделки стен из ячеистобетонных блоков. Сб. докладов VI межд. научно - практич. конф. «Ячеистые бетоны в современном строительстве». 2009. С. 30-33.

Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

Последнее время наша страна пытается занять нишу в современном мировом порядке. Потеря ориентиров и статуса державы, диктующей свое мнение миру, приводит к тому, что мы предлагаем новые и новые доктрины. Одна из них - доктрина «Энергетической безопасности». Различного рода «потоки» пытаются насытить Европу и весь мир нашими углеводородами. Что ж, идея не нова, но где наша собственная, внутренняя энергоэффективность? В Европе уже научились экономить, а как у нас?

Являясь одним из лидеров по производству энергоносителей, на деле мы значительно уступаем экономически развитым странам в вопросах рационального использования энергоресурсов. На сегодняшний день на выпуск товарной продукции в среднем расходуется: в Западной Европе 0,5 кг условного топлива на 1 доллар продукции, в США — 0,8, а в России — 1.4 [1]. Комментарии излишни.

По-прежнему эффективность использования топливно-энергетических ресурсов в России оставляет желать лучшего. Обращаясь к цифрам и сравнивая, приходится признать, что если в 1971 году страны Восточной Европы (СССР и другие страны Варшавского договора) и Западной Европы (все остальные страны Европы плюс Турция) характеризовались одинаковым количеством энергии, потребляемой на душу населения, то к 90-м годам этот показатель в странах Восточной Европы был уже на 37% выше. Отрицательный баланс, сложившийся еще тогда не в пользу России, усугубился в 90-е годы. Как следствие, энергоемкость продукции в связи с переживаемым в стране экономическим кризисом выросла и значительно, в некоторых отраслях до 40%.

Ныне реформируемое ЖКХ в части отставания по энергосбережению также не радует. На ЖКХ у нас расходуется до 20% всех энергоресурсов страны, а на единицу жилой площади уходит в 2-3 раза больше энергии, чем в странах Европы.

Наши многоэтажки потребляют от 350 до 550 кВт·ч (на м² в год), индивидуальные дома коттеджного типа — от 600 до 800 кВт·ч (на м² в год). Вместе с тем за рубежом, например, в Германии, дома усадебного типа потребляют в среднем по стране около 250 кВт·ч (м² год), в Швеции — 135 кВт·ч (м² год). Лучшие зарубежные образцы жилых зданий потребляют от 90 до 120 кВт·ч (м² год). (1)

Практика и анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения показывает, что наиболее эффективным путем ее решения является **сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений, промышленного оборудования и тепловых сетей**. Поэтому, осознавая то, что энергоносители приходится ввозить из-за рубежа, многие страны стали интенсивно развивать промышленное изготовление теплоизоляционных материалов. Анализ рынка этих стран (Швеции, Финляндии, Германии, США и других) показал, что объем выпуска теплоизоляционных материалов на душу населения в 5-7 раз превышает аналогичный показатель России.

Понятно, что существует элитное строительство, среднего и эконом-класса, и для каждого нужен свой продукт. Но понимание должно дойти до

Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

потребителя в виде основного постулата: качество не может стоить дешево. Намного надежнее и безопаснее, а в длительной перспективе, еще и намного экономичнее, использовать именно качественные и проверенные временем материалы. Покупка качественного продукта – это гарантированная экономия денежных средств в будущем.

Наш рынок достаточно ликвиден и емок, существующая статистика показывает, что потребность только жилищного сектора строительства в эффективных утеплителях в 2010 году могла бы составить порядка 25-30 млн. м³ и должна быть удовлетворена в основном за счет материалов, произведенных в России. На сегодняшний день проектные мощности страны по всем видам теплоизоляционных материалов оцениваются в 17-18 млн. м³ в год, остается определенный процент, который может быть покрыт за счет новых материалов и импортозамещения.

Российским продавцам хочется торговать только тем, что, по их мнению, является наиболее целесообразным, ведь именно спрос определяет предложение. Да и некоторые потребители являются верными сторонниками качественных материалов, другие же наоборот, отдают предпочтение их дешевым аналогам.

Если рассматривать вопрос с точки зрения ассортимента, то в настоящее время на рынке теплоизоляционных материалов представлено достаточное количество производителей и продавцов. Бурный рост различного рода производств означился в нашей стране не столько вопросами энергоэффективности, а скорее неосвоенностью технологий именно российскими производителями, и эффективной, даже часто агрессивной тактикой захвата рынка западными компаниями. По проторенной дорожке идут и китайские производители, часто предлагая материал-аналог хорошо зарекомендовавшего себя утеплителя, но по гораздо более интересной цене, и как правило, более низкого качества.

Понятно, что никто не вправе оспаривать право каждого покупателя выбирать товары на свой вкус и по своим возможностям. Долг продавца - заранее предупредить клиента о возможных последствиях совершаемого им выбора, особенно в части выбора дешевых продуктов. Использование некачественных продуктов часто страдает так называемым отложенным эффектом, т.е. последствия, нередко разрушительные, от использования низкокачественных материалов наступают только спустя определенное время после их применения.

Традиционные утеплители, такие как пенополистерол, минеральная вата, керамзит или пенобетон были хорошо известны в нашей стране, но в полном объеме не могли удовлетворить рынок. Это касалось и количества, да и по качеству они тоже не всегда соответствовали существующим стандартам и требованиям.

Основным видом применяемых в России утеплителей являются минераловатные изделия, доля которых в общем объеме производства и потребления составляет более 65%. Около 8% приходится на стекловатные материалы, 20% — на пенополистирол и другие пенопласты.

Доля теплоизоляционных ячеистых бетонов в общем объеме производимых утеплителей не превышает 3%, вспученного перлита, вермикулита и изделий на их основе — 2-3% (по вспученному продукту). Структура объемов выпуска утеплителей в России близка к структуре, сложившейся в передовых странах мира, где волокнистые утеплители также занимают 60-80% от общего выпуска теплоизоляционных материалов.

Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

Распределение объемов выпуска утеплителей по стране характеризуется значительной неравномерностью. Ряд крупных регионов, таких как Архангельская, Калужская, Костромская, Орловская, Кировская, Астраханская, Пензенская, Курганская и другие области, Республика Марий Эл, Чувашская республика, Калмыкия, Адыгея, Карелия, Бурятия и другие, не имеют своего производства эффективных теплоизоляционных материалов. Многие регионы страны производят утеплители в явно недостаточном количестве.

Если обратиться к истории, то в царской России не существовало индустриального производства теплоизоляционных материалов. Многие теплоизоляционные материалы завозились к нам из-за границы. С приходом Советской власти и индустриализации за годы первых пятилеток были построены заводы для производства теплоизоляционных материалов: стеклянной и шлаковой ваты, совелита, торфоизоляционных плит, неавтоклавного пенобетона, магнезиального фибролита. Тогда же были развернуты научно-исследовательские, изыскательские и проектные работы по созданию новых высокоэффективных теплоизоляционных материалов и изделий (минеральной ваты и изделий из нее на различных связующих, вспученного вермикулита, пеноизделий). Как тут не вспомнить первую книгу о пенобетоне, написанную в 30-е годы прошлого века, до сих пор она является для многих настольной.

Благодаря строительству новых современных производств на сегодняшний день в нашей стране производится около 10 миллионов м³ различного рода теплоизоляционных материалов. Классифицировать их можно достаточно условно. Три основных кита теплоизоляции: минераловатные материалы, органические пенопласты, пено- и газобетоны.

Лидерами являются минераловатные материалы. За счет доступности, хорошей рекламы и схожести технологии изготовления и монтажа разных производителей минеральная вата во всех своих разновидностях занимает порядка 70% рынка. На нашем рынке работает около 70 производств, как больших, так и малых, производящих этот утеплитель. Хотя некоторые материалы можно лишь условно называть современными. Ни для кого не секрет, что минеральная вата, выполненная на вредных связующих, до сих пор производится на некоторых российских предприятиях. В прошлое постепенно уходят минераловатные плиты на битумном вяжущем, утеплители, в которых диаметр волокна больше 6 мкм, а также плиты, приготовленные из гидромассы.

Существующие акценты постепенно смещаются к пограничным материалам, примером здесь может быть **пластмигран**. Совсем недавно начали применять технологию тонких и супертонких волокон, и продукция еще не получила широкого распространения. При его производстве используется смесь из полистирола и минераловатных гранул, перемешанная до гомогенного состояния. Данная смесь помещается в перфорированную металлическую форму любой конфигурации и под действием пара вспенивается таким образом, что полистирольная пыль прочно связывает волокно.

Этот материал достаточно новый на нашем рынке, поэтому потенциальным покупателям приходится сталкиваться с отсутствием какой-либо информации о таком виде утеплителя. Пластмигран экологически чистый утеплитель. В его составе нет химических добавок. Этот утеплитель специально разрабатывался для жилых домов. В странах СНГ пока отсутствуют условия для его массового производства, для этого требуется сложное и дорогостоящее оборудование. Утеплитель очень практичен и комфортабелен. Обладает хорошими теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами. Пластмигран

Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

экономически выгодный материал, по всем показателям превосходит пенополистирол и большинство изделий из минеральной ваты. Несмотря на наличие пенополистирола в составе, он достаточно устойчив к огню. Рядом с ним можно спокойно прокладывать коммуникации и проводку. Он водонепроницаем, имеет прекрасную устойчивость к искусственным удобрениям, вспененным краскам, мылу, грунтовыми водам. Не разлагается под воздействием различных микроорганизмов.

Вопрос качественного, экологически безопасного связующего является важным элементом как новых, так и традиционных волокнистых утеплителей. Ныне известные и применяемые в нашей стране связующие были разработаны 15–20 лет назад, когда основная часть минераловатных изделий использовалась в основном на промышленных объектах. Срок их службы определялся временем капитального ремонта оборудования и был незначителен. На сегодняшний день, основная часть утеплителей применяется в гражданском строительстве, поэтому к связующим предъявляются такие повышенные требования, как неизменность структуры, стабильность геометрических размеров и теплофизических свойств на весь срок эксплуатации.

В свете этого **пеностекло** считается одним из самых перспективных ячеистых материалов для утепления. Кроме утепления наружных стен домов, его можно использовать для утепления отдельно стоящих зданий. Процесс производства пеностекла происходит за счет одновременного спекания и вспучивания стеклянного порошка под действием газообразователя. Для получения теплоизоляционного пеностекла и изделий на его основе возможно использование отходов любого стекла (несортированный стеклобой). Изделия из самого пеностекла могут выпускаться в виде плит, засыпной теплоизоляции (гранулированного пеностекла), а также «скорлуп» для изоляции горячих (от +150°С до +550°С) и холодных (до –280°С) трубопроводов различного назначения.

Пеностекло как теплоизоляционный материал обладает очень хорошей теплоизоляцией. Его замкнутая структура ячеек с нулевым значением воздухопроницаемости полностью исключает возможность потери тепла. Воздухонепроницаемость пеностекла сохраняет микроклимат в помещении. Материал водостойкий, вода не попадает внутрь и не разрушает его при замерзании. У пеностекла высокие физические и эксплуатационные характеристики. Срок эксплуатации может превышать сотни лет. Этот материал имеет очень малый удельный вес. Но, несмотря на это, он очень прочный, не подвержен деформации, усушке или провисанию. Также пеностекло исключает возможность появления на стенах грибка, ибо питательной средой для него не является. Оно препятствует проникновению в дом различных насекомых и грызунов. Еще одно преимущество пеностекла в его сходности традиционным стеклом. Как и этот материал, пеностекло не имеет санитарных и гигиенических ограничений. С эксплуатацией не возникнет особых проблем, оно не требует особых забот, устойчиво к влаге, перепаду температур, воздействию растворителей.

Среди теплоизоляционных материалов на органической основе сегодня наиболее распространены экструдированный пенополистирол, пенополиуретаны, пенополиизоцианаты, фенолформальдегидные и карбамидформальдегидные пенопласты. Так, **экструдированный пенополистирол** обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным, получаемым из полистирольного бисера прогревом паром в замкнутом объеме. Это, прежде всего, закрытая

Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

пористость и, вследствие этого, минимальное водопоглощение, повышенная прочность. Долговечность экструдированного пенополистирола превышает 50 лет, поэтому такой материал сегодня вытесняет блочный пенополистирол как в Западной Европе, так и в США и Канаде.

Карбамидный пенопласт (пеноизол) представляет собой материал, изготовленный беспрессовым способом и без термической обработки из пенообразующего состава, включающего полимерную смолу, пенообразователь, воду и специальные модификаторы. Сырьем для производства пеноизола служат дешевые и недефицитные российские компоненты. Хорошие теплофизические характеристики материала, возможность приобретения у разработчика комплекта оборудования по его производству способствовали достаточно быстрому распространению пеноизола в стране.

В целом, по сравнению с волокнистыми утеплителями, пенопласты применяются в значительно меньших объемах. Однако, в связи с изменением требований к термическому сопротивлению ограждающих конструкций в последние годы, объем производства пенопластов значительно возрос и продолжает расти. Это, в первую очередь, обусловлено значительно меньшими в сравнении с другими утеплителями удельными капитальными затратами на организацию их производства. Об этом свидетельствуют также многочисленные технические решения теплоэффективных наружных стен жилых зданий, выполненные с применением пенопластов.

Утеплители на неорганической основе являются доминирующими в решении вопросов теплозащиты зданий. Это объясняется их экологической чистотой, пожаробезопасностью и долговечностью. Наибольшее распространение в строительстве получили **теплоизоляционные бетоны**, как газонаполненные (пенобетон, ячеистый бетон, газобетон), так и на основе легких заполнителей (керамзитобетон, перлитобетон, полистиролбетон и т.п.). В середине 1990-х годов были разработаны и прошли все необходимые испытания такие теплоизоляционные материалы, как лигноперлит, эпсоперлит, термоперлит и перлитодиатомит, изготовленные на основе перлита. В настоящее время на ведущих российских заводах завершены наладочные работы для запуска линии по производству термоперлита. Отличие термоперлита от других известных изделий из перлита состоит в низкой влажности формовочной массы, что позволяет организовать их изготовление по прокатно-конвейерной технологии и сделать производство практически безотходным. Кроме того, пониженная влажность формовочной массы этих изделий позволяет на 25–30% снизить энергозатраты на их тепловую обработку. Все эти материалы экологически и пожаробезопасны. Термоперлит, не имеющий в своем составе органических соединений, может быть применен как для изоляции горячих поверхностей (до +600°C), так и в качестве огнезащитной и огнестойкой строительной изоляции. В качестве связующего используется гидроксид натрия и его соли.

Также широко используются и внедряются материалы на основе природных волокон. Одно из направлений - это использование торфа. **Торфоблоки** — это принципиально новый, впервые изобретенный в России теплоизоляционный материал, который может применяться почти повсеместно. Торфа в родном отечестве хватает. Это самое дешевое и самовозобновляющее сырье. Что же касается процесса изготовления блоков, то он достаточно прост.

По мнению разработчиков, замена пенополистирола на торф дает экономию 10-12 долларов на каждом квадратном метре стен и перекрытий. Внедрение торфоблоков позволит на 80 процентов сократить расход кирпича.

Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

Важно и то, что блок размером в четыре кирпича весит не более четырех килограммов.

Сама технология изготовления связующего такова: просеянный на вибросите торф поступает в смеситель, где он затворяется водой и тщательно перемешивается, затем выгружается в приемный бункер шнекового питателя. Потом подается в роторно-инерционную мельницу, где торф интенсивно перетирается до густой пасты. Она-то и является вяжущим веществом.

Готовая торфяная масса загружается в смеситель и смешивается с опилками, рубленой соломой, стружкой, льном, они подаются в бункер по специальному конвейеру в определенной пропорции. Тут и идет перемешивание до тех пор, пока формовочная паста не станет совсем однородной. И третья операция — формовка. Специальный пресс выдает сырые блоки, которые затем поступают в сушку. Сушить можно как на открытом воздухе, так и в тепловой камере. Во время сушки происходит процесс усадки, уплотнения, структурообразования и т. д. По прочности данный блок выдерживает нагрузку в 8-12 килограммов на квадратный сантиметр. По долговечности сродни каменным или бетонным конструкциям. Он не только прочен и легок, но и является прекрасным адсорбентом. Например, уровень радиации в помещении из торфа снижается в пять раз.

Следующим в череде природных материалов являются **материалы из льна**. Разработка и внедрение специалистами ЕС новейших технологий в области производства утеплителей из натуральных волокон совершило революцию в индустрии строительных материалов Евросоюза: в одной только Финляндии с населением всего 5 млн. человек существуют три фабрики по производству теплозвукоизоляционных материалов на льняной основе. Разработана такая технология и в России.

Преимущества льна, как материала для теплоизоляции, трудно переоценить: не уступая, а зачастую превосходя минеральные и синтетические материалы по физическим свойствам, лён обладает бактерицидными свойствами, не вызывает аллергии, не выделяет формальдегиды и хлорсодержащие флюоритные углероды (CFC). Целый ряд европейских институтов и исследовательских центров (Нидерландский институт строительной биологии и экологии NIBE, Финский исследовательский центр строительных технологий VTT) определили льняные теплозвукоизоляционные материалы в разряд наиболее предпочтительных материалов для гражданского строительства.

Льняные теплозвукоизоляционные материалы (ТИМ) состоят из льноволокна, восстанавливаемого связующего волокна и экологически безопасного замедлителя горения. Льняное волокно позволяет достичь оптимального температурно-влажностного режима. Кроме того, лён имеет высокие антибактерицидные свойства.

У волокнистых материалов с увеличением средней плотности теплопроводность сначала резко уменьшается, а затем начинает возрастать пропорционально увеличению средней плотности. Имея высокую пористость (от 70% до 99,9%), волокнистые ТИМ обеспечивают хорошую теплопроводность конвекции. Однако с увеличением плотности растёт передача тепла кондукцией.

Комбинированная теплоизоляция (из минеральной ваты, вспененных пластмасс, обшитых алюминиевым листом либо сайдингом) является наиболее популярной. Однако, имея прекрасные теплотехнические характеристики, эти утеплители не исключают гниения на стыках теплоизоляционных обшивок,

Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов

издают запах плесени, конденсируют влагу и т.д. Возникающие в строительных конструкциях разрушительные явления — плесень, гниль, формальдегид - всегда связаны с сыростью.

Материалы из природных составляющих лишены этих недостатков. Входящий в состав нового утеплителя лён имеет высокие бактерицидные свойства, а влагопоглощение и влагоотдачу на уровне натуральной кожи.

В качестве защитного слоя для льняных матов используется алюминизированная плёнка, она регулирует паро- воздухопроницаемость через количество отверстий (перфорацией). Таким образом, отражая тепло, плёнка пропускает воздух и влагу.

Семейство плёночных утеплителей использует так называемый «эффект термоса». Благодаря этому утеплитель с успехом может применяться и в резко-континентальном климате (горы, пустыни), т.к. он спасает ночью от холода, а днём от жары. Отсюда и расширение географии спроса.

Несомненно, перспективы для новых утеплителей будут всегда. Но, что особенно хочется отметить, все материалы, вводимые в эксплуатацию, должны обязательно проходить весь спектр теплофизических и эксплуатационных испытаний. Без этого никуда. Именно последовательная и продуманная политика позволит реализовать весь накопленный научный и производственный потенциал.

Список литературы

1. Овчаренко Е.Г. Тенденции в развитии производства утеплителей в России. М., 2002.
2. Анализ состояния рынка теплоизоляционных материалов в России и технологии существующих производств. Отчет института «Теплопроект».
3. Шутько Е. Новые технологии — новые материалы обзор новинок на рынке теплоизоляции // Новости строительной индустрии. Урал и Сибирь. №5(48), 2006.

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

В.Г. Гагарин д.т.н., проф., зав. лабораторией Научно-исследовательского института строительной физики (НИИСФ РААСН)

Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

1. Введение

Современные стеновые ограждающие конструкции совершенно иные, чем они были 20 лет тому назад. Хорошо зарекомендовавшие себя однослойные панели из легкого бетона, несущие кирпичные стены отошли в прошлое. Практически уничтожена индустрия производства пористых заполнителей. Взамен указанных стен применяют навесные стены различных конструкций для строительства зданий с монолитным каркасом. Для возможности их возведения построены и работают заводы по производству эффективных утеплителей и блоков из ячеистого бетона. Из старых ограждающих конструкций сохранились только трехслойные железобетонные панели с эффективным утеплителем для строительства типовых панельных зданий. Но и в этих конструкциях резко увеличена толщина утеплителя.

Основной причиной, вызвавшей изменение ограждающих конструкций, стало введение повышенных требований к теплозащите с целью снижения затрат на отопление зданий. Внедрению новых ограждающих конструкций не предшествовали стадии научных исследований и экспериментального строительства, за исключением трехслойных железобетонных панелей для крупнопанельных зданий, которые разрабатывались и были внедрены в советское время. В результате все построенные здания с навесными стенами с повышенным уровнем теплозащиты фактически являются экспериментальными. Результаты этого незапланированного гигантского эксперимента предстоит изучать и осмысливать еще много лет. Научные исследования таких конструкций осуществляются слабо.

При проектировании новых ограждающих конструкций их теплофизические свойства, в том числе теплозащита, проверяются расчетом не полностью, а зачастую и вообще не проверяются. Негласно считается, что в массовом строительстве достигнут уровень теплозащиты, нормируемый в [1]. Часто звучат призывы провести дальнейшее повышение нормативных требований к теплозащите. В ряде стран это уже осуществлено. При этом почти не происходит изучения опыта эксплуатации зданий с новыми видами ограждающих конструкций. Не рассматривается и экономическая составляющая повышения теплозащиты зданий.

В настоящей статье на основании накопленного опыта рассматриваются и анализируются свойства новых ограждающих конструкций многоэтажных зданий: стен с облицовкой из кирпичной кладки, теплоизоляционных навесных фасадных систем с тонким штукатурным слоем и с вентилируемой воздушной прослойкой. Анализ проводится в основном с точки зрения теплофизики, прежде всего, теплозащиты. Теплозащита конструкций оценивается в соответствии с требованиями СНиП [1] для условий Москвы.

Статья касается также и методических аспектов проектирования рассматриваемых ограждающих конструкций современных зданий для достижения ими требуемых эксплуатационных свойств.

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

2. Теплозащитные свойства

2.1. Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Представляется целесообразным дать определение основной характеристики теплозащиты ограждающих конструкций и вспомогательных характеристик, поскольку определения, имеющиеся в нормативных документах [2], приводят к путанице при проведении практических расчетов.

Приведенным сопротивлением теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции называется физическая величина, численно равная отношению перепада температур воздуха по разные стороны ограждающей конструкции к осредненной по площади фрагмента плотности потока теплоты через данный фрагмент конструкции при стационарных условиях теплопередачи.

Условным сопротивлением теплопередаче ограждающей конструкции называется приведенное сопротивление теплопередаче условной многослойной ограждающей конструкции, в которой отсутствуют теплопроводные включения, и слои которой расположены перпендикулярно направлению потока теплоты через конструкцию.

Коэффициентом теплотехнической однородности фрагмента ограждающей конструкции называется величина, обратная отношению потока теплоты через рассматриваемый фрагмент конструкции к потоку теплоты через условную ограждающую конструкцию той же площади, что и рассматриваемый фрагмент.

Важной особенностью понятия «приведенного сопротивления теплопередаче» является то, что оно относится к определенному фрагменту ограждающей конструкции. Если этот фрагмент не указан, то понятие, вообще говоря, лишено смысла. Однако обычно из контекста ясно, какой фрагмент имеется в виду. Если же и из контекста не видно, какой фрагмент имеется в виду, то термин «приведенное сопротивление теплопередаче стены» следует относить к совокупности всех стен здания. Именно так приходится понимать использование этого термина в СНиП [1] и в других документах.

Сформулированные определения можно уточнять и совершенствовать, например, в отношении уточнения площади, по которой осуществляется осреднение потока теплоты. Но в рамках данной статьи эти определения являются достаточными. Формулы для расчета приведенного сопротивления теплопередаче конструкций, используемые в статье, вытекают непосредственно из этих определений.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции равно:

$$R_o^{np} = \frac{t_a - t_n}{Q + \sum_i Q_{дон,i}} F, \quad (1)$$

где R_o^{np} – приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

t_a, t_n – температуры внутреннего и наружного воздуха, принятые для расчетов, $^\circ C$;

Q – мощность потока теплоты по глади конструкции (через условную конструкцию), $Вт$;

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

$Q_{доп,i}$ – дополнительная мощность потока теплоты обусловленная i -м теплопроводным включением, Вт;

F – площадь фрагмента ограждающей конструкции, м².

Величины $Q_{доп,i}$ определяются на основе расчета температурных полей узлов конструкций. Формулу (1) целесообразно привести к виду, в котором используются не мощности потока теплоты, а плотности теплового потока q и $q_{доп,i}$:

$$R_o^{np} = \frac{t_a - t_n}{q + \sum_i q_{доп,i}} \quad (2)$$

$$\text{Здесь } q = \frac{Q}{F}, \quad q_{доп,i} = \frac{Q_{доп,i}}{F} \quad (3)$$

Величины q и $q_{доп,i}$ являются удобными для сравнения вклада различных теплопроводных включений. Они характеризуют теплотери с 1 м² конструкции, обусловленные соответствующим теплопроводным включением. Поэтому они могут называться удельными теплотериями соответственно по гледи конструкции и дополнительными. По известным значениям q и $q_{доп,i}$ вычисляется коэффициент теплотехнической однородности фрагмента конструкции, который в силу вышеприведенного определения этой характеристики и формул (3) равен:

$$r = \frac{Q}{Q + \sum_i Q_{доп,i}} = \frac{q}{q + \sum_i q_{доп,i}} = \frac{l}{l + \sum_i \frac{q_{доп,i}}{q}} \quad (4)$$

Данная методика широко известна, но не всегда адекватно используется, поэтому она здесь и приведена. Характеристикой теплозащиты является приведенное сопротивление теплопередаче конструкции, в то время как условное сопротивление теплопередаче и коэффициент теплотехнической однородности являются вспомогательными величинами и могут характеризовать эффективность проектирования конструкции, но не ее теплозащитные свойства.

Рассчитанные для рассматриваемых конструкций значения q и $q_{доп,i}$ сведены в табл. 1. Расчет этих величин производился для конкретных конструктивных решений. Для краткости не приводится полный набор данных по материалам и конструкциям этих решений, а указываются только те характеристики, знание которых необходимо для понимания рассматриваемых вопросов. Проведенное затем осреднение рассчитанных величин позволило получить типичные для рассматриваемых конструкций значения R_o^{np} и r . Такой подход обусловлен тем, что значения $q_{доп,i}$ зависят, кроме всего, от проекта здания, поскольку они рассчитываются на 1 м² стены всего здания. А привязка приводимых результатов к конкретным проектам зданий невозможна в рамках статьи.

2.2. Теплозащита стен с облицовкой из кирпичной кладки

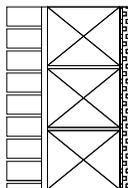
Применяются три конструктивные схемы данных стен (рис. 1). Для практического применения предпочтительной является схема 1 [3].

Для типичных теплопроводных включений данных конструкций значения q и $q_{доп,i}$ приведены в табл. 1. Эти конструкции, казалось бы, достаточно проработаны и в целом удовлетворяют требованиям к теплозащите. Однако расчет по формуле (1) показывает, что для торцевой конструкции стены по схеме

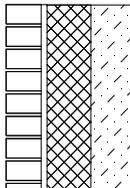
Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

1 значение R_o^{np} меньше минимально допустимого для Москвы по [1], равного 1,97 м²°С/Вт:

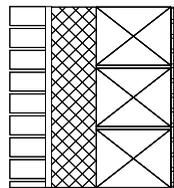
$$R_o^{np} = \frac{20 - (-28)}{12,2 + 0,57 + 7,4 + 5,3} = 1,88 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}, \quad r = \frac{12,21}{12,2 + 0,57 + 7,4 + 5,3} = 0,48$$



1. Штукатурка внутренней поверхности, кладка из ячеистобетонных блоков, кладка из лицевого кирпича.



2. Железобетонная стена, эффективный утеплитель, кладка из лицевого кирпича.



3. Штукатурка внутренней поверхности, кладка из ячеистобетонных блоков, эффективный утеплитель, кладка из лицевого кирпича.

Рисунок 1. Схемы конструкций стен с облицовкой из кирпичной кладки

Этот расчет выполнен для толщины кладки из ячеистобетонных блоков 0,5 м при плотности ячеистого бетона 400 кг/м³.

Для всей стены здания показатель теплозащиты еще ниже:

$$R_o^{np} = \frac{20 - (-28)}{12,2 + 0,57 + 7,4 + 5,3 + 3,5 + 1,6 + 0,25} = 1,56 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)},$$

$$r = 0,40$$

Следовательно, приведенное сопротивление теплопередаче всей стены здания не только меньше требуемого по условиям «энергосбережения», равного 3,13 (м²°С)/Вт, но и меньше минимально допустимого по [1]. То есть дом с такими стенами не соответствует современным требованиям по теплозащите. Обращает на себя внимание исключительно маленькое значение коэффициента теплотехнической однородности, что свидетельствует о недостаточной конструктивной проработке узлов данной конструкции.

Приведенное сопротивление теплопередаче стен, соответствующих схемам 2 и 3, по рис.1 больше, чем соответствующих схеме 1. Так, для торцевой стены, соответствующей схеме 2 было получено $R_o^{ycl} = 4,46$ (м²°С)/Вт, $R_o^{np} = 2,43$ (м²°С)/Вт и $r = 0,54$. Наибольшими теплозащитными свойствами обладает стена конструкции, соответствующей схеме 3. Для торцевой стены, этого типа получено $R_o^{ycl} = 5,17$ (м²°С)/Вт, $R_o^{np} = 2,45$ (м²°С)/Вт и $r = 0,47$.

Полученные значения R_o^{np} превышают минимально допустимые значения, но меньше требуемых при поэлементном подходе. Эти конструкции удовлетворяют требованиям [1], при выполнении требований к удельным теплотерям здания. Следует отметить, что выполнение таких конструкций на практике сложно и приводит к многочисленным ошибкам, которые, в свою очередь приводят к снижению долговечности.

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

Таблица 1.

Удельные теплотери по глади и через теплопроводные включения конструкций стен¹

№ п/п	Теплопроводное включение	Дополнительные удельные теплотери, $q_{\text{доп}}$, Вт/м ²
Стены с облицовкой из кирпичной кладки		
1.	По глади стены	12,2
2.	Вертикальные кладочные швы в стене из ячеистобетонных блоков	0,57
3.	Перевязка кладок, армирование и обычные растворные швы	7,4
4.	Узел сопряжения стены с перекрытием	5,3
5.	Оконные откосы	3,5
6.	Узел сопряжения стены с балконной плитой	1,60
7.	Узел сопряжения стены с ограждением лоджии	0,25
Стены с навесными фасадными системами с тонким штукатурным слоем		
8.	По глади стены	13,3
9.	Тарельчатый дюбель с металлическим распорным элементом из расчета 7 шт./м ² (максимальное значение)	1,7
10.	Оконный откос (хорошее исполнение)	2,5
11.	Балконная плита (среднее значение)	1,5
Стены с навесными фасадными системами с вентилируемой воздушной прослойкой		
12.	По глади стены	12,6
13.	Тарельчатые дюбели с металлическим распорным элементом 10 шт./м ² (среднее значение)	2
14а.	Кронштейны стальные (среднее значение)	4,0
14б.	Кронштейны из алюминиевого сплава (среднее значение)	5,5
15.	Оконный откос (хорошее исполнение)	2,5
16.	Балконная плита (среднее значение)	1,5

Зимой 2008 года были проведены натурные обследования 51 здания со стенами указанных конструкций. Обследования выполнялись в связи с частичными разрушениями стен. По ряду причин отсутствовала возможность проведения полноценных исследований теплозащитных свойств этих стен традиционно используемыми методами. Применение тепловизионной техники позволило получить весьма приближенные оценки сопротивления теплопередаче стен. Для нескольких зданий были получены сопротивления теплопередаче стен вдали от теплопроводных включений, которые составили от 0,91 до 1,68 (м²·С)/Вт. Конечно, следует иметь в виду, что при помощи только тепловизионной техники, без использования более подходящих средств измерения температур и тепловых потоков нельзя получить точного значения сопротивления теплопередаче. Тем не менее, даже с учетом возможной ошибки это значение сопротивления теплопередаче существенно ниже расчетного.

¹ Данные рассчитаны для конкретных проектов и не могут быть непосредственно использованы для других проектов зданий.

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

Последнее обстоятельство можно объяснить только некачественным строительством.

На стенах каждого обследованного здания были отмечены участки с повышенными теплотерями. Это свидетельствует, что значения сопротивлений теплопередаче еще ниже, чем расчетные по проекту.

Попытки проектировщиков повысить сопротивление теплопередаче конструкций стен, соответствующих схеме 1, рассмотрены в [3]. В целом такие попытки малорезультативны. Оценка, хотя и приближенная, максимально достижимого значения приведенного сопротивления теплопередаче конструкции, которого можно добиться, делается в предположении неизменяемости конструкции теплопроводных включений методом, предложенным В.В. Козловым по формуле:

$$R_{\text{макс}}^{np} = \frac{t_e - t_n}{\sum \cdot q_i} \quad (5)$$

Для торцевой стены конструкции варианта 1, рассмотренной выше, эта оценка дает: $R_{\text{макс}}^{np} = 3,6 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$. Такое значение R_o^{np} можно получить при очень большой толщине кладки из ячеистого бетона, которая совершенно нереальна, в предположении, что дополнительные теплотери изменяются слабо. То есть практически рассматриваемыми стенами варианта 1 с облицовкой из кирпичной кладки нельзя обеспечить достижение нормируемого значения сопротивления теплопередаче по СНиП [1] без существенного изменения конструктивных решений теплопроводных включений.

Практика строительства и эксплуатации зданий с рассматриваемыми ограждающими конструкциями показала большое количество аварий с развитием трещин на фасадах, разрушением лицевого кирпича, обрушением лицевой кирпичной кладки и т.д. При этом, как показано выше, требования по теплозащите или не выполняются, или выполняются с трудом. Можно констатировать, что с начала кампании борьбы за энергосбережение и до настоящего времени приемлемые конструкции стен с лицевой кладкой из кирпича не разработаны. В случае дальнейшего повышения требований к теплозащите стен данные конструкции не могут применяться.

2.3. Теплозащита стен с навесными фасадными системами с тонким штукатурным слоем

Чаще всего данные ограждающие конструкции состоят из стены (основания), выполненной из монолитного железобетона, или из кладки, которая выполняется из ячеистобетонных блоков или из кирпича. К стене крепится слой эффективного теплоизоляционного материала (пенополистирол или минераловатные плиты). Теплоизоляционный слой защищается клеевым базовым составом, армированным щелочестойкой стеклосеткой, и покрывается декоративной штукатуркой, суммарная толщина штукатурных слоев составляет 5-9 мм. Такие конструкции в ФРГ применяются более сорока лет. В нашей стране они начали активно применяться примерно 10 лет назад, до этого были отдельные случаи их применения.

Проблемы теплозащиты таких конструкций обусловлены наличием теплопроводных включений и (иногда) наличием воздушной прослойки между теплоизоляционным слоем и стеной, которая может существенно снизить сопротивление теплопередаче конструкции. Теплопроводными включениями

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

являются [4]: дюбели, крепящие утеплитель к стене, оконные откосы, балконные плиты, стыки плит утеплителя между собой. В табл. 1 приведены рассчитанные дополнительные удельные теплопотери через теплопроводные включения конструкции стены с теплоизоляционной навесной фасадной системой с тонким штукатурным слоем. Расчеты выполнены для фасада на железобетонной стене с утеплителем из минераловатных плит толщиной 150 мм с дюбелями с металлическим распорным элементом. Условное сопротивление теплопередаче конструкции составляет $R_o^{ycl} = 3,60 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции всей стены здания составляет:

$$R_o^{np} = \frac{20 - (-28)}{13,3 + 1,7 + 2,5 + 1,5} = 2,53 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт, } r = 0,70.$$

Коэффициент теплотехнической однородности конструкции равен 0,70.

Полученное значение R_o^{np} существенно меньше требуемого по [1], но больше минимально допустимого. Конструкция удовлетворяет требованиям [1] только при условии выполнения требований к удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

Увеличение толщины теплоизоляционного слоя в конструкции вызовет конструктивные изменения всех узлов конструкции, в результате чего нельзя ожидать пропорционального увеличения теплозащиты, притом что стоимость и трудоемкость конструкции возрастут.

Оценка максимально достижимого значения R_o^{np} по формуле (5), без конструктивной доработки теплопроводных включений конструкции всей стены здания, показывает: $R_{max}^{np} = 8,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Оценка, сделанная для торцевой стены $R_{max}^{np} = 28,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Такие высокие значения R_{max}^{np} показывают, что теплопроводные включения в данной конструкции меньше влияют на теплозащитные свойства по сравнению с конструкциями с облицовкой из кирпичной кладки. То есть конструкция является более проработанной с точки зрения теплозащиты. При проектировании рассматриваемых конструкций часто принимают значение коэффициента теплотехнической однородности r , равного 0,85 и даже выше. Приведенный пример показывает, что такого высокого значения r еще следует добиваться, уменьшая влияние теплопроводных включений.

Применяемые в настоящее время конструкции, как правило, имеют толщину теплоизоляционного слоя не более 150 мм, и приведенное сопротивление теплопередаче меньше требуемого при поэлементном подходе, но больше минимально допустимого по [1]. Конструкция обладает резервами для повышения приведенного сопротивления теплопередаче, хотя и связанными с увеличением затрат на ее изготовление.

2.4. Теплозащита стен с навесными фасадными системами (НФС) с вентилируемой воздушной прослойкой

Данная, широко известная, конструкция состоит из стены, к которой прикрепляется минераловатный утеплитель и металлические кронштейны. К кронштейнам крепятся металлические направляющие, к которым, тем или иным

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

способом, крепятся элементы облицовки. Эти конструкции являются наиболее сложными и наукоемкими из рассматриваемых. Однако они обладают рядом достоинств.

Проблемы обеспечения теплозащитных свойств рассматриваемых конструкций обусловлены, прежде всего, наличием теплопроводных включений в виде металлических кронштейнов. Кроме того, теплопроводными включениями являются дюбеля для крепления утеплителя, оконные откосы, балконные плиты, крепления для кондиционеров и рекламных щитов, выпуски арматуры для крепления лесов и т.д.

Основная характеристика теплозащиты таких конструкций – R_o^{np} – является расчетной величиной. Экспериментальное ее определение является сложной, в большинстве случаев невыполнимой задачей. Прежде всего, следует отметить, что проверка теплозащитных свойств таких конструкций при помощи тепловизионной съемки с наружной стороны является бессмысленной. А именно таким способом проверяется теплозащита построенных зданий. При расчете R_o^{np} часто допускается ошибка, заключающаяся в том, что не учитывается сток теплоты по кронштейну на облицовку. При таком подходе занижаются теплопотери, обусловленные кронштейном, вследствие чего получается завышенное значение приведенного сопротивления теплопередаче и коэффициента теплотехнической однородности. Этими ошибками можно объяснить высокие значения приведенных сопротивлений теплопередаче конструкций, используемых в рекламных материалах на некоторые системы. Влияние кронштейнов на сопротивление теплопередаче стены с НФС с вентилируемой прослойкой подробно рассмотрено в [5].

В табл. 1 приведены рассчитанные дополнительные удельные теплопотери через теплопроводные включения конструкции стены с НФС с вентилируемой прослойкой. Расчеты выполнены для НФС на кирпичной стене с утеплителем из минераловатных плит толщиной 150 мм, для двух видов кронштейнов: из стали и из алюминиевого сплава. Условное сопротивление теплопередаче конструкции составляет $R_o^{ysl} = 3,80 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции всей стены здания составляет:

- для НФС со стальными кронштейнами

$$R_o^{np} = \frac{20 - (-28)}{12,6 + 2,0 + 4,0 + 2,5 + 1,5} = 2,12 \text{ (м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)/Вт, } r = 0,56;$$

- для НФС с кронштейнами из алюминиевого сплава

$$R_o^{np} = \frac{20 - (-28)}{12,6 + 2,0 + 5,5 + 2,5 + 1,5} = 1,99 \text{ (м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)/Вт, } r = 0,52.$$

Полученные значения R_o^{np} меньше требуемого, но больше минимально допустимого по [1].

Оценка максимально достижимого значения R_o^{np} по формуле (5), без конструктивной доработки теплопроводных включений конструкции, показывает, что R_{max}^{np} равно от 4,8 до 4,2 ($\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)/Вт}$.

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

Для повышения R_o^{np} этих конструкций имеются некоторые резервы. Например, при применении кронштейнов из коррозионностойкой стали с площадью поперечного сечения 1 см^2 , соответствующие дополнительные тепловые потери (строка 14 табл. 1) снизятся до 2 Вт/м^2 . В этом случае R_o^{np} для торцевой стены (без окон и балконов) составит $2,89 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, $r=0,76$. Значение $R_{\text{макс}}^{np}$ этой конструкции составляет $12 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, что указывает на конструктивную проработанность указанных кронштейнов. В то же время увеличение толщины теплоизоляционного слоя для дальнейшего повышения приведенного сопротивления теплопередаче конструкции сопряжено со значительными сложностями, например, увеличением вылета кронштейнов, увеличением их числа, резким повышением стоимости системы, и представляется нецелесообразным.

Таким образом, рассмотренные ограждающие конструкции, применяемые в настоящее время, обладают значениями приведенного сопротивления теплопередаче, меньшими требуемого по СНиП [1], но превышающими значение минимально допустимого. То есть они могут применяться только при условии выполнения требований к удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

3. Влажностный режим конструкций

3.1. Стены с облицовкой из кирпичной кладки

Влажностный режим рассматриваемых ограждающих конструкций не всегда благоприятный. Причинами переувлажнения конструкций в большинстве случаев является строительная влага, но иногда и влага внутренней конденсации, обусловленная повышенным влагопереносом из внутреннего воздуха помещений.

Увлажнение строительной влагой характерно для первых лет эксплуатации здания. Особенно сильно этот эффект проявляется в первую зиму эксплуатации здания после проведения мокрых работ в помещениях в осенний период. Натурные исследования показали, что влажность материалов конструкций в этом случае составляет: ячеистого бетона до 20%, минераловатного утеплителя до 70%, лицевого кирпича до 6% по массе. Такое переувлажнение материалов может привести к снижению долговечности конструкции.

Увлажнение влагой внутренней конденсации происходит вследствие переноса влаги из внутреннего воздуха помещения к наружной поверхности конструкции, с конденсацией и накоплением влаги в наружных слоях. Этот процесс проявляется при повышенной влажности в помещении, в сочетании с некачественной пароизоляцией конструкции с внутренней стороны. Следствием этого процесса является разрушение лицевого кирпича. Расчеты позволяют установить потенциальную возможность описанного явления, но количественные оценки не всегда верны.

Следует отметить сложность проектирования данных конструкций с целью обеспечения благоприятного влажностного режима, из-за отсутствия подходящего метода расчета в нормативных документах. Методы расчета, основанные только на диффузии влаги в пористой среде, не подходят из-за неучета высокой воздухопроницаемости конструкции. К таким методам относится и метод СНиП [1]. В методе СНиП имеется еще одно обстоятельство, делающее его непригодным для прогнозирования влажностного режима современных

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

ограждающих конструкций – неправильно указана толщина слоя теплоизоляции, для которого следует ограничивать приращение влажности за период года с отрицательными температурами, и устаревшие значения этого предельного приращения для различных материалов. Необходима разработка инженерного метода расчета, учитывающего, кроме диффузионного влагопереноса, фильтрационный, обусловленный воздухопроницаемостью конструкции. Такой метод должен быть инженерным, что позволит включить его в нормативные документы. «Первая редакция» такого метода разработана В.В. Козловым [6]. К сожалению, систематическое использование его пока не вошло в практику проектирования стен с облицовкой из кирпичной кладки.

3.2. Стены с навесными фасадными системами с тонким штукатурным слоем

Влажностный режим рассматриваемых конструкций оказывает существенное влияние на их долговечность [7]. Проблемы, обусловленные влажностным режимом, могут возникать в местах стыков плит утеплителя, в зоне оконных откосов, около головки дюбеля. В местах переувлажнения штукатурного слоя может наблюдаться трещинообразование, изменение цвета, обрастание биоорганизмами. Увеличение влажности утеплителя приводит к некоторому снижению теплозащитных свойств конструкции.

Прогнозирование их влажностного режима на основе методики СНиП [1] представляется абсолютно неверным. Прежде всего, потому, что в методике [1] в качестве слоя, проверяемого на переувлажнение, предполагается весь слой теплоизоляционного материала, в то время как в рассматриваемых конструкциях таким слоем является слой штукатурки и тонкий слой минеральной ваты непосредственно у штукатурки. Достаточно удобным и хорошо себя зарекомендовавшим методом расчета влажностного режима рассматриваемых ограждающих конструкций является усовершенствованный метод последовательного увлажнения, представленный в [8]. Этот метод является развитием метода расчета К.Ф. Фокина. Систематическому проведению расчетов влажностного режима конструкций по методу [8] препятствует то, что он не является инженерным, а также отсутствие необходимых теплофизических характеристик штукатурного слоя. Из всех этих характеристик систематически проводятся измерения только коэффициента паропроницаемости, причем различными специалистами, и эти данные никто не обобщает.

3.3. Стены с навесными фасадными системами с вентилируемой воздушной прослойкой

Наличие воздушной прослойки является большим преимуществом рассматриваемой конструкции по сравнению с другими. Назначение вентилируемой воздушной прослойки заключается в обеспечении нормального влажностного режима конструкции. Обеспечение ее нормального функционирования для вывода влаги из конструкции является одной из главных задач при проектировании и монтаже конструкции. Однако, хотя и достаточно редко, но встречаются случаи увлажнения таких конструкций.

При прогнозировании влажностного режима НФС с вентилируемой воздушной прослойкой необходимо учитывать следующие особенности:

1. Разным зонам по высоте стены соответствуют различные граничные условия влагообмена теплоизоляционного слоя в воздушной прослойке. Это объясняется тем, что воздух, двигаясь вверх по прослойке, насыщается водяным паром, вследствие чего разность парциальных

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

давлений водяного пара в воздухе прослойки и в утеплителе изменяется с высотой. То есть граничные условия влагообмена утеплителя в воздушной прослойке изменяются с высотой. Следовательно, и влажностный режим ограждающей конструкции будет меняться с высотой.

2. Возможная зона конденсации располагается не только в слое утеплителя, но и на внутренней стороне облицовки и на элементах подконструкции, то есть вне традиционного расчетного участка стены. Образование конденсата на облицовке и подконструкции происходит в том случае, когда давление водяного пара в воздухе прослойки становится равным давлению насыщенного водяного пара при температуре наружного воздуха. В этом случае начинает образовываться конденсат на наиболее холодных поверхностях в прослойке, к которым относится поверхность облицовки.

3. Повышенная воздухопроницаемость фасадной системы обуславливает возможность эксфильтрации, в результате чего водяной пар с воздухом проникает из помещения в слой утеплителя и увлажняет его. Повышенная воздухопроницаемость конструкции объясняется отсутствием плотного наружного конструкционного слоя, а также воздухопроницаемостью кладки, на которую крепится НФС. Проблема эксфильтрации особенно актуальна для верхних этажей высоких зданий, где давление в помещении превышает наружное давление (без учета влияния ветра).

Для прогнозирования влажностного режима НФС с вентилируемой прослойкой метод СНиП [1] совершенно непригоден. Не годятся и другие методы расчета влажностного режима конструкций [8], которые не учитывают перечисленные особенности.

Для расчета влажностного режима рассматриваемых конструкций разработаны специальные методики [9, 10], которые частично вошли в инструктивные документы [11]. В правильно спроектированной конструкции отсутствует влагонакопление в утеплителе и не происходит образование конденсата в воздушной прослойке. Таким образом, расчет влажностного режима позволяет обеспечить проектирование конструкции с заданными эксплуатационными свойствами.

4. Заключение

В настоящей статье не рассмотрены проблемы фильтрации воздуха, долговечность ограждающих конструкций, экономические проблемы их применения и ряд других. Но и рассмотренные вопросы позволяют сделать некоторые выводы.

Рассмотренные конструкции не удовлетворяют требованиям к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций здания как к отдельным элементам здания. Эти конструкции могут применяться только в том случае, когда здание удовлетворяет требованиям СНиП [1] к удельному расходу тепловой энергии на отопление здания. Реализация известных резервов для повышения приведенного сопротивления теплопередаче данных конструкций нуждается в проведении научных исследований и связана с большими затратами. На данном этапе развития строительства нецелесообразно проводить повышение требований к сопротивлению теплопередаче наружных стен зданий.

Необходимо восстановить практику экспериментального строительства. При отсутствии стадии экспериментального строительства, реализация решений

Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий

по дальнейшему повышению нормативных требований к теплозащите приведет к продолжению эксперимента по строительству зданий с ограждающими конструкциями, обладающими неизученными эксплуатационными свойствами.

При проектировании рассмотренных ограждающих конструкций необходимо снижать влияние теплопроводных включений. Необходимо включить в раздел проекта «Энергоэффективность» расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен.

Необходимо выполнить разработку инженерных методов расчета влажностного режима рассмотренных ограждающих конструкций для включения в нормативные документы.

Автор благодарит к.т.н. В.В. Козлова за проведение расчетов, которые были необходимы для составления доклада, и М.Г. Александрию за ряд полезных замечаний, сделанных по докладу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №08-08-13724).

Список литературы

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
2. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». М., 2004.
3. Малявина Е.Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий. // Журнал АВОК. 2009, №1, стр.4 – 7.
4. Козлов В.В. Влияние тарельчатого дюбеля на теплофизические свойства фасадной теплоизоляционной системы с наружным штукатурным слоем. // Стройпрофиль. 2009, №3, стр. 20-24.
5. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Журнал АВОК. 2004, №2 стр. 20-26, №3 стр. 20-26.
6. Козлов В.В. Метод инженерной оценки влажностного состояния современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты при учете паропроницаемости, влагопроводности и фильтрации воздуха. Автореферат дисс. к.т.н. М., НИИСФ. 2004.
7. В.Г. Гагарин «Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. Температурно-влажностные воздействия и долговечность систем с тонким штукатурным слоем». (По материалам статьи Н.М. Künzel, Н. Künzel, К. Sedelbauer «Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen», Bauphysik, 2006, Bd. 28, H. 3) // Журнал «АВОК», №6, 2007 г., стр. 82 – 90; №7, стр. 66 – 74.
8. Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий. М., Стройиздат, 1984, 168 С.
9. Гагарин В.Г., Козлов В.В. «Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада». // В кн. «Строительная физика в XXI веке». Научно-техническая конференция посвященная 50-летию НИИСФ РААСН. Москва, НИИСФ, 25-27 сентября 2006 г. с.73-80.
10. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Математическое моделирование влажностного состояния воздушной прослойки для стены вентилируемого фасада. // В кн. Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2007 году. Труды РААСН. М.-Белгород. 2008, том 2. стр.135-141.
11. Фасадные теплоизоляционные системы с воздушным зазором. Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции. М., Госстрой России, 2004. С.58.

Горшков А.С., Войлоков И.А. Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий

А.С. Горшков, к.т.н., докторант ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

И.А. Войлоков, доцент ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий

Под понятием энергоэффективности в жилищном строительстве будем понимать комплекс мероприятий, направленных на снижение потребления зданиями энергии и поддержание требуемых параметров микроклимата при экономическом обосновании их внедрения. Таким образом, понятие энергоэффективности неразрывно связано с вопросами энергосбережения.

Чем меньше здание теряет тепла, тем меньшее количество энергии требуется подвести для восполнения тепловых потерь. В этой связи, на первый взгляд, наиболее простым и рациональным способом экономии энергии на отопление выглядит способ увеличения теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Начиная с 70-х годов прошлого столетия в Европе, а с 2000 года и в России требования к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций были существенно увеличены (в России применительно к стенам и покрытиям – в 2-3 раза). Однако, несмотря на кажущуюся простоту решения проблемы, данный способ снижения энергозатрат и, как следствие, повышения энергоэффективности в принятой терминологии, имеет свои ограничения и, кроме того, не всегда оказывается эффективным с экономической точки зрения.

Во-первых, зависимость теплового потока (q) от сопротивления теплопередаче (R) $q = \Delta t/R$ представляет собой гиперболическую функцию, т.е. по мере увеличения сопротивления теплопередаче R тепловой поток через конструкцию и связанные с ним потери тепла убывают все медленнее. Как видно из рис. 1, при увеличении сопротивления теплопередаче с 0.5 до 1 м²·°С/Вт тепловой поток уменьшается на 46 Вт/м², а при увеличении с 2.5 до 3 м²·°С/Вт – всего на 3.1 Вт/м² и т.д. При этом следует отметить, что увеличение сопротивления теплопередаче приводит к пропорциональному увеличению стоимости квадратного метра стеновой конструкции. Это означает, что дальнейшее увеличение сопротивления теплопередаче снизит расходы на отопление, но с учетом высоких затрат на возведение стены по совокупности эксплуатационных и строительно-монтажных работ не даст экономического эффекта. Т.е. существует предел, при котором уменьшение теплотерь через ограждающую конструкцию не компенсирует затрат на ее возведение.

Во-вторых, при оценке экономической эффективности энергосберегающих мероприятий или внедрения энергосберегающих технологий необходимо учитывать срок их службы или эффективной эксплуатации. Основными строительными материалами, обеспечивающими снижение затрат энергии на отопление через стены, считаются так называемые эффективные утеплители (минеральная вата, пенополистирол, пено- и газобетон, а также ряд других, менее распространенных на современном строительном рынке материалов). Однако не все представители данного типа строительной продукции являются одновременно долговечными.

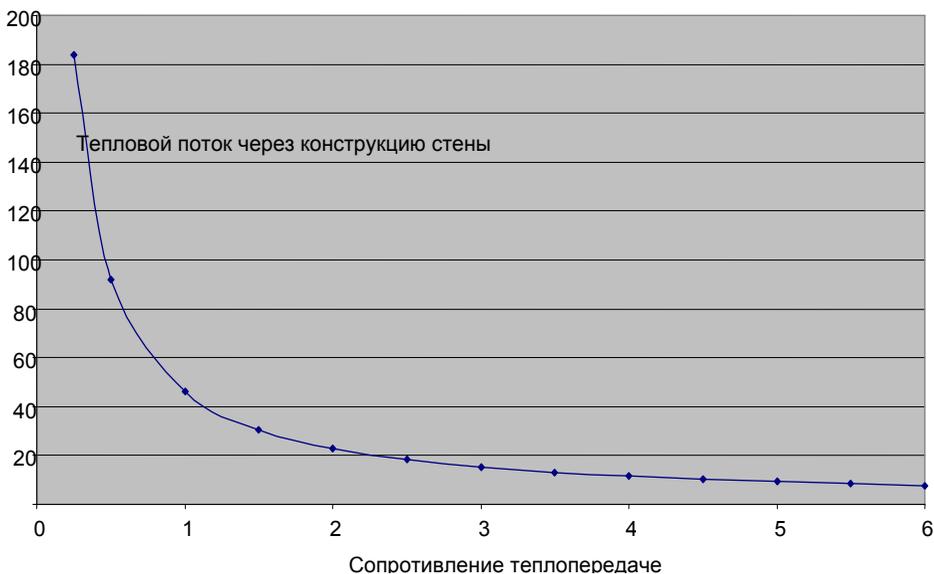


Рисунок 1. Зависимость теплового потока q [Вт/м²] от сопротивления теплопередаче R [м²·°С/Вт]

При использовании материалов с низким сроком службы могут сложиться экономические условия, при которых все сэкономленные в результате энергосбережения средства будут потрачены на их замену после выхода из работоспособного состояния. Следует учитывать, что затраты на проведение ремонтов (текущих, капитальных) представляют собой те же затраты энергии: на производство новых материалов, добычу полезных ископаемых для их изготовления, расход топлива при их перевозке, работу машин и механизмов и т.д.

В-третьих, нельзя забывать о таком важном параметре, как требуемый воздухообмен помещений (иначе говоря, их вентиляция), необходимый для поддержания требуемого уровня микроклимата в помещениях. При использовании вентиляции происходит удаление пыли, бактерий, лишней влаги, поддерживается уровень кислорода в необходимой для нормальной жизнедеятельности и работоспособности концентрации. В зимний и, в общем случае, в любой период, в течение которого производится отопление помещений, энергия затрачивается, в том числе, на подогрев входящего холодного воздуха, причем в достаточно значительных количествах. При этом требуемый уровень воздухообмена необходим как в «холодных» домах, так и в «теплых». Отсюда следует, что как бы мы не утепляли здание, а расходы тепла на вентиляцию без использования специальных инженерных методов уменьшаться от этого не будут, и чем теплее у здания будет «шуба», тем большими в относительном выражении будут затраты на вентиляцию. При составлении энергетических паспортов современных зданий расчетные затраты энергии на вентиляцию и инфильтрацию часто достигают 40÷50% от всех расходов энергии на отопление зданий.

Горшков А.С., Войлоков И.А. Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий

Подтверждением данного утверждения является следующий пример. В 2005 году сотрудниками ОАО «СПбЗНИИПИ» и ООО «НТЦ «Технологии XXI века» при участии одного из авторов публикации проводилось комплексное обследование здания в историческом центре города, в котором после реконструкции сопротивление теплопередаче было увеличено до $5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. При этом никаких инженерных решений по оптимизации затрат энергии на отопление, например, регулирования параметров теплоносителя по температуре воздуха, не производилось. В результате в здании зимой регулярно происходил перетоп. Для уменьшения последствий перетопки сотрудники, работающие в здании, также регулярно по приходу на работу открывали окна, и в прямом смысле слова отапливали улицу вокруг здания.

Таким образом, становится понятным, что рациональным и экономически целесообразным способом повышения энергоэффективности является только сочетание мероприятий по увеличению теплозащитных свойств ограждающих конструкций (при условии, что срок эффективной эксплуатации внедряемых материалов, технологий и конструкций превышает период их окупаемости) при одновременном использовании современных инженерных энергосберегающих методов и технологий.

Однако, как показывает практика, и этих мер может оказаться недостаточно. Связано это в первую очередь с тем, что во многих случаях фактические и расчетные параметры энергоэффективности могут существенно отличаться друг от друга. В расчетах закладываются одни значения теплотехнических параметров (например, того же сопротивления теплопередаче), а на практике с учетом качества строительно-монтажных работ получаются совершенно другими. Кроме того, не всегда совпадают расчетные и фактические параметры теплоносителя. В результате собственники жилых помещений вынуждены использовать для обогрева дополнительные источники энергии (электронагреватели, масляные радиаторы, тепловентиляторы и т.д.), дополнительно потребляя при этом энергию на отопление.

Для повышения степени соответствия расчетных и фактических затрат энергии на отопление зданий необходим контроль за энергопотреблением, достигаемый за счет совокупного выполнения следующих условий:

- обязательная установка во всех зданиях приборов учета всех видов энергии;
- наличие комплексной методики учета и контроля за потребляемой зданием энергией;
- разработка нормативов потребления энергии.

Что касается последнего условия из представленного перечня, то наиболее рациональным способом их установления является потребительский подход к оценке уровня теплозащиты. К настоящему времени в практике проектирования чаще применяется предписывающий подход, а именно установление заданных численных значений сопротивления теплопередаче. Однако этот метод не всегда оказывается эффективным, а часто и достаточно спекулятивным. Рассчитываемое сопротивление теплопередаче зависит от толщины стеновой конструкции и коэффициентов теплопроводности входящих в ее состав материалов. При этом чем меньше коэффициент теплопроводности (λ), тем выше термическое сопротивление (R_T) конструкции стены. В этих условиях производители строительных материалов соревнуются по принципу: у кого

Горшков А.С., Войлоков И.А. Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий

λ (лямбда) меньше. По сравнению с данными 20-30-летней давности практически для всех теплоизоляционных материалов численные значения коэффициентов теплопроводности при неизменной плотности уменьшились, что само по себе достаточно непонятно с физической точки зрения.

Для оценки коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов из них вырезаются фрагменты размером 250×250 мм, высушиваются и лишь затем испытываются. Наличие эксплуатационной влаги в порах материала учитывается расчетным путем. Но не учитывается наличие инфильтрации воздуха через конструкцию, смятие или разрыхление утеплителя в процессе эксплуатации, наличие теплопроводных включений и т.д. Более того, в рекламных материалах отдельных производителей до сих пор встречаются расчетные значения коэффициента теплопроводности меньше коэффициента теплопроводности воздуха.

Преимуществом потребительского подхода является более гибкий выбор материалов для ограждающих конструкций и инженерных методов для реализации требуемых параметров энергопотребления (удельных затрат энергии с квадратного метра площади или с кубического метра строительного объема здания). Кроме того, данный подход при наличии комплексной методики контроля и учета затрат энергии на отопление позволяет сравнивать расчетные и фактические параметры энергопотребления зданий, а после апробации и отработки системы контроля и учета регулировать нормы потребления в сторону их постепенного снижения, например, один раз в пять лет.

Таким образом, до сих пор, несмотря на увеличение требований по тепловой защите, энергоэффективность в нашей стране остается «бумажной».

Для реального уменьшения затрат энергии на отопление зданий необходимо:

- 1) разработать и установить нормативы энергопотребления в рамках потребительского подхода к уровню теплозащиты зданий;
- 2) установить требования к долговечности материалов и конструкций, применяемых в ограждающих конструкциях;
- 3) для утепления зданий применять долговечные, проверенные климатическими условиями района строительства, материалы;
- 4) более интенсивно и эффективно использовать инженерные методы и способы повышения энергоэффективности;
- 5) применять проверенные на практике архитектурные методы повышения энергоэффективности (например, уменьшение коэффициентов компактности зданий, регулирование планов при застройке кварталов и т.д.);
- 6) разработать эффективную методику комплексного учета и контроля энергии, расходуемой на отопление здания;
- 7) разработать методику ответственности застройщика при выявлении несоответствия между расчетными и фактическими параметрами энергопотребления зданий;
- 8) по мере внедрения и апробации системы контроля и учета потребляемой зданиями энергии, при условии соответствия расчетных и фактических параметров энергопотребления, постепенно, с заданной регулярностью, снижать нормативы энергопотребления.

Дацюк Т.А., Меллех Т.Х. Расчет теплопотерь через неоднородные ограждающие конструкции

Т.А. Дацюк, д.т.н., профессор, декан ФИЭС ГОУ СПбГАСУ

Т.Х. Меллех, ассистент ГОУ СПбГАСУ

Расчет теплопотерь через неоднородные ограждающие конструкции

Получение достоверных данных о теплопотерях через неоднородные ограждающие конструкции связано с точностью определения термического сопротивления конструкций. Расчетные и фактические значения сопротивления теплопередаче, как известно, различаются.

Чаще всего это связано с тем, что при расчете термического сопротивления конструкций и определении толщины утеплителя не учитывается зависимость коэффициентов теплопроводности от влагосодержания, особенно при отрицательных температурах, не учитываются расположение арматуры, крепления и конструктивные элементы, рассчитывается одномерное температурное поле. В этом случае локальные значения термического сопротивления конструкций при эксплуатации зданий могут отличаться от расчетных величин в 1.5–2 раза, что в свою очередь, приводит к выпадению конденсата в местах наличия теплопроводных включений.

Например, наличие теплопроводного включения (крепление рекламного щита) в конструкции наружной стены общественного здания, стены которого выполнены из сэндвич-панелей, привело к локальному снижению расчетного значения термического сопротивления в 3 раза.

Повышенное влагосодержание ограждающих конструкций, характерное для зданий Северо-западного региона, также приводит к увеличению теплопотерь через ограждающие конструкции. Особенно в зимний период, когда имеют место фазовые переходы влаги в порах строительных материалов, что оказывает существенное влияние не только на теплозащитные свойства, но и на долговечность конструкций.

Наиболее точным методом определения термического сопротивления ограждающих конструкций признаны измерения в климатической камере при контролируемых параметрах воздушной среды в теплом и холодном отсеках. Однако методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче неоднородной ограждающей конструкции в ГОСТ 26602.1 и ГОСТ 26254 отличаются. Кроме того, при исследовании неоднородной ограждающей конструкции достаточно сложно точно определить однородные зоны для расположения датчиков даже на базе тепловизионной съемки. Это, в свою очередь, сказывается на точности оценки приведенного сопротивления теплопередаче.

Термическое сопротивление «однородных» зон конструкции определяется в климатической камере с достаточной точностью (не более 5%) с использованием аппаратуры типа «СИСТОК». По результатам измерений согласно ГОСТ 26602.1 или ГОСТ 26254 рассчитывается приведенное термическое сопротивление конструкции и приведенное сопротивление теплопередаче.

Для контроля правильности разбивки исследуемой конструкции на однородные зоны и достоверности результатов, получаемых в климатической камере, следует выполнить математическое моделирование процесса передачи теплоты через всю конструкцию или ее типовой узел. При моделировании

Дацок Т.А., Меллех Т.Х. Расчет теплотерь через неоднородные ограждающие конструкции

целесообразно использовать коэффициенты теплопроводности, рассчитанные по изменениям в климатической камере. Обработка результатов расчета позволяет по среднему значению теплового потока с учетом общепризнанных значений коэффициентов теплоотдачи и тепловосприятости рассчитать приведенное сопротивление теплопередаче неоднородной конструкции. Анализ экспериментальных и расчетных данных позволит более точно оценить приведенное сопротивление теплопередаче неоднородной конструкции.

Значительно больше проблем возникает при измерении термического сопротивления неоднородных ограждающих конструкций в натуральных условиях. Это связано с тем, что процесс теплопередачи через ограждающие конструкции нестационарный, вследствие значительных колебаний наружной температуры в зимний период. Для Санкт-Петербурга, например, характерны скачки температуры в течение суток до 10°C . Однако обязательным условием, согласно ГОСТ 26254-84, для получения достоверных результатов при определении фактических значений приведенного термического сопротивления является соблюдение стационарных условий измерения. Продолжительность измерений должна составлять не менее 15 суток «в периоды, когда разность среднесуточных температур наружного и внутреннего воздуха и соответствующий тепловой поток обеспечивают получение результата с погрешностью не более 15%».

В качестве примера, на рис. 1 представлена запись изменения теплового потока через кирпичную стену толщиной 0.38 м в течение 13 суток. Из графиков видно, что достаточно сложно выбрать стационарный участок.

То есть, приступая к измерению термического сопротивления ограждающих конструкций в натуральных условиях в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 26254-84, нельзя гарантировать, что через две недели необходимые данные будут получены.

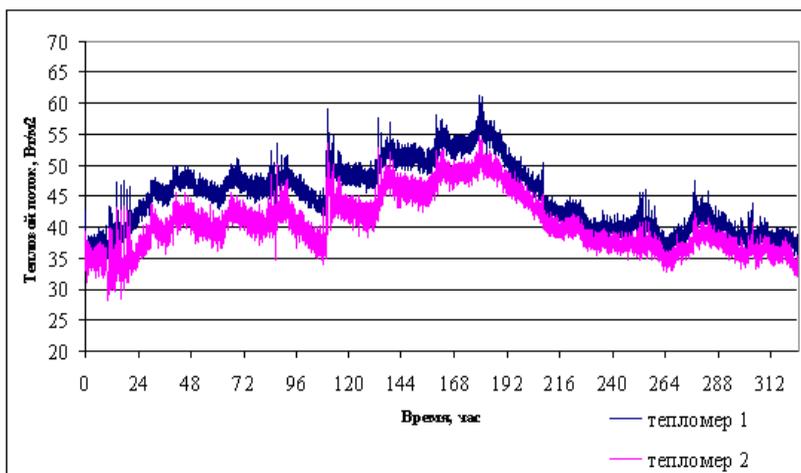


Рисунок 1. Запись изменения теплового потока; стена из кирпича, толщиной 0.38м.

Дацок Т.А., Меллех Т.Х. Расчет теплотерь через неоднородные ограждающие конструкции

Следовательно, фактические значения термического сопротивления конструкций в натуральных условиях при контактных измерениях достаточно сложно определить с погрешностью не более 15%.

На точность определения термического сопротивления конструкций в натуральных условиях существенно влияет также выбор места расположения датчиков. Такой выбор, как правило, проводят по результатам тепловизионной съемки внутренней поверхности конструкции. Не всегда, к сожалению, выбранный для установки датчиков участок конструкции оказывается характерным для данной конструкции.

Самая большая сложность при проведении натуральных измерений связана с достижением стационарного режима теплопередачи. В течение одного или нескольких дней практически не представляется возможным проведение измерений в стационарном режиме. Кроме того, достаточно сложно оставлять дорогостоящую аппаратуру на объекте на длительный срок. Существуют также проблемы с обеспечением бесперебойного питания приборов от электросети. Учитывая перечисленные выше сложности, в СПбГАСУ разработана методика определения термического сопротивления конструкций по начальному участку записи изменения теплового потока. Запись начального участка сопоставляется с результатами измерений различных конструкций в климатической камере. Как пример, на рис. 2 приведена запись теплового потока, полученная при испытаниях фрагмента панели в климатической камере.

Используя базу данных по испытаниям различных конструкций в климатической камере, можно с достаточной степенью точности оценить термическое сопротивление рассматриваемой конструкции по начальному участку записи теплового потока.

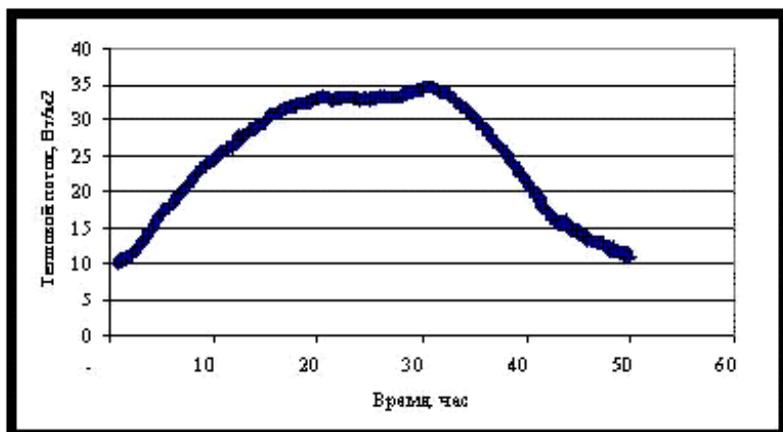


Рисунок 2. Запись изменения теплового потока при испытании фрагмента панели в климатической камере

Дацок Т.А., Меллех Т.Х. Расчет теплотерь через неоднородные ограждающие конструкции

На основании обширного опыта проведения энергоаудита зданий (аккредитованная лаборатория по сертификации строительных конструкций СПбГАСУ, №РОСС RU.0001.21СЛ96) для оценки теплотерь через ограждающие конструкции зданий предложен следующий подход на базе разработанной методики определения сопротивления теплопередаче:

- фактические значения термических сопротивлений элементов ограждающих конструкций определяются в климатической камере, где конструкция находится в стационарных условиях (значения температур аналогичны расчетным -26°C и 18°C , наружная влажность 70%, внутренняя 50-55%) при нормируемом влагосодержании строительных материалов;
- выполняется анализ влияния теплопроводных включений на температурное поле ограждающих конструкций на ЭВМ, что позволяет более точно определить приведенное сопротивление теплопередаче, которое используется для определения удельной тепловой характеристики здания;
- контроль фактических значений термических сопротивлений ограждающих конструкций проводится на объекте, где фиксируется начальный участок записи теплового потока. Обработка полученных на объекте данных проводится методом математической статистики с использованием имеющейся базы данных.

Предложенный подход позволит получать корректную информацию, направленную на повышение точности оценки энергоэффективности зданий.

Дацок Т.А., Ярошенко С.Д. Повышение энергоэффективности зданий старой жилой застройки

*Т.А. Дацок, д.т.н., профессор, декан ФИЭС ГОУ СПбГАСУ
С.Д. Ярошенко, ГОУ СПбГАСУ*

Повышение энергоэффективности зданий старой жилой застройки

Проблема энергосбережения для Санкт-Петербурга весьма актуальна, так как в сложных климатических условиях городское хозяйство оказывается достаточно энергоемким. Основная часть жилищного фонда Санкт-Петербурга, сформированного в 1950-1985 гг., имеет невысокие теплозащитные свойства ограждающих конструкций, которые, в свое время, компенсировались низкой стоимостью энергоресурсов. Сопротивление теплопередаче однослойных наружных стен зданий практически не превышают 0.8–1.1 м²К/Вт (в настоящее время в соответствии с требованиями СНиП 23-02-2003 сопротивления теплопередаче R наружных стен должно быть не менее 3 м²К/Вт). Трансмиссионные теплопотери через наружные стены панельных зданий составляют порядка 60% от общих теплопотерь здания. Существенным оказывается также расход тепла на инфильтрацию и вентиляцию. Кроме того, большая часть жилых зданий не имеет оснащенных современным оборудованием и приборами контроля тепловых пунктов, позволяющих осуществлять локальную регулировку потребления тепловой энергии, что также приводит к ее повышенному расходу.

Утепление фасадов зданий и установка оконных блоков позволит, несомненно, значительно повысить энергоэффективность зданий. Однако установка оконных блоков в газифицированных зданиях имеет как положительные, так и отрицательные моменты. С одной стороны, повышается звукоизоляция наружных конструкций и сокращаются теплопотери (трансмиссионные и инфильтрационные), с другой стороны, снижается эффективность естественной вентиляции, особенно на последних этажах. Концентрации продуктов сгорания газа в помещениях кухонь нередко превышают предельно допустимые значения, оказывая негативное воздействие на здоровье людей.

Оценка эффективности мероприятий по снижению энергопотребления за счет утепления фасадов зданий проводилась для одного из микрорайонов Санкт-Петербурга. На территории микрорайона расположены здания серийной застройки 137, 504, 600. Удельное энергопотребление рассчитывалось для модуля зданий по расчетным и фактическим значениям термического сопротивления наружных стен.

Расчетные значения термического сопротивления наружных стен определялись в соответствии со СНиП 23-02-2003. Фактические значения термического сопротивления определялись экспериментально с использованием аппаратуры «СИСТОК» в натуральных условиях в соответствии с ГОСТ 26254-84.

Расчетные и фактические значения сопротивления теплопередаче и удельные теплопотери зданий типовых серий приведены в табл. 1.

Из табл.1 видно, что фактические удельные теплопотери зданий старого жилого фонда превышают значения, рассчитанные по СНиП 23-02-2003 на 10-20%. Фактические значения сопротивления теплопередаче зданий старого жилого фонда практически в 3 раза ниже современных требований.

Дацок Т.А., Ярошенко С.Д. Повышение энергоэффективности зданий старой жилой застройки

Таблица 1. Сравнение расчетных и фактических значений сопротивления теплопередаче наружных стен и удельные теплототери зданий типовых серий

Серия	Расчетные величины, СНИП 23-02-2003		Фактические значения (натурные измерения)	
	Сопротивление теплопередаче R , $K \cdot m^2 / \text{Вт}$	Удельные теплототери, $\text{Вт} / m^2$	Сопротивление теплопередаче R , $K \cdot m^2 / \text{Вт}$	Удельные теплототери, $\text{Вт} / m^2$
137 (керамзитобетон)	0,95	48.4	0.82	56.0
600 (газобетон)	1.08	42.6	0.87	52.9
Кирпичная кладка, 0.55м	0.84	54.8	0.76	60.5
504,507 (керамзитобетон)	1.16	39.7	0.98	46.9

Примечание: температура наружного воздуха $t_n = -26^\circ\text{C}$.

Анализ различных способов утепления наружных стен показал, что экономически наиболее выгодным является наружное утепление зданий по системе «BOLIX».

Теплопотребление за отопительный период зданий старого жилого фонда до и после утепления фасадов рассчитанное для типового модуля здания приведено в табл. 2.

Таблица 2. Снижение теплопотребления за отопительный период зданий старого жилого фонда после утепления фасадов (модуль здания)

Серия здания	Потребность в тепловой энергии			
	До утепления фасадов		После утепления фасадов	
	R_ϕ , $K \cdot m^2 / \text{Вт}$	q , $\text{КДж} / m^3 \cdot \text{град} \cdot \text{сут}$	R , $K \cdot m^2 / \text{Вт}$	q , $\text{КДж} / m^3 \cdot \text{град} \cdot \text{сут}$
137 (керамзитобетон)	0.82	52	3.39	29
600 (газобетон)	0.87	51	3.37	29
Кирпичная кладка, 0.55м	0.76	55	3.26	29
504, 507 (керамзитобетон)	0.98	47	3.48	28

Примечание: R_ϕ – фактическое значение сопротивления теплопередаче, $K \cdot m^2 / \text{Вт}$. Отопительный период для Санкт-Петербурга – 220 суток

Дацок Т.А., Ярошенко С.Д. Повышение энергоэффективности зданий старой жилой застройки

Из табл. 2 следует, что утепление фасадов зданий старого жилого фонда по системе «BOLIX» позволяет практически на 50% сократить энергопотребление зданий.

Замена оконных блоков позволит также сократить потребление энергоресурсов. Сокращение энергопотребления за счет замены оконных блоков для модуля типовых серий приведено в табл. 3.

Таблица 3. Снижение теплотребления за отопительный период зданий старого жилого фонда после замены оконных блоков (модуль здания)

Серия здания	Потребность в тепловой энергии			
	До замены оконных блоков		После замены оконных блоков	
	R_{ϕ} , К·м ² /Вт	q , КДж/м ³ ·град·сут	R , К·м ² /Вт	q , КДж/м ³ ·град·сут
137 (керамзито-бетон)	0.35	52	0.56	43
600 (газобетон)	0.37	51	0.56	42
Кирпичная кладка, 0.55м	0.34	55	0.56	46
504, 507 (керамзито-бетон)	0.36	47	0.56	38

За счет замены светопрозрачных конструкций на оконные блоки ($R=0.56$ К·м²/Вт) сокращение энергопотребления зданий составляет 16-17%.

Для разработки и внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности зданий целесообразно внедрение в ЖКХ энергетического менеджмента. Это, однако, достаточно сложная задача, которая должна решаться поэтапно. Требуется не только решение отдельных вопросов, направленных на сокращение энергопотребления зданиями, но и разработка системы управления энергопотреблением зданий и микрорайонов в целом.

Поэтапное внедрение энергетического менеджмента в ЖКХ предполагает:

- оценку состояния тепловой защиты ограждающих конструкций старых зданий, которая должна быть выполнена экспериментально;
- паспортизацию зданий (разработку энергетических паспортов зданий с учетом фактических значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций);
- разработку мероприятий по повышению энергоэффективности старых зданий;
- разработку методики проведения энергоаудита зданий и контроля потребления энергии.

Кнатько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

М.В. Кнатько, к.ф.-м.н., зам. генерального директора по науке ОАО «СПБЗНИИПИ» (ранее ЛенЗНИИЭП)

И.И. Пестряков, руководитель Испытательного центра ОАО «СПБЗНИИПИ»

А.С. Горшков, к.т.н., докторант ГОУ СПбГПУ

П.П. Рымкевич, к.ф.-м.н., профессор ВИКА им. А.Ф.Можайского

Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

Под долговечностью наружных ограждающих конструкций следует понимать срок их службы с сохранением в требуемых пределах эксплуатационных характеристик в данных климатических условиях при заданном режиме эксплуатации зданий. При этом срок службы отдельных элементов и заполнений ограждающих конструкций должен быть не ниже срока службы всей конструкции.

Ограждающие конструкции зданий (стены, кровля, окна) подвергаются воздействию внешних климатических и техногенных воздействий и обеспечивают поддержание в зданиях требуемых параметров микроклимата. Очевидно, что в процессе эксплуатации вследствие негативного влияния факторов окружающей среды (знакопеременные температурные воздействия, периодические увлажнения и высушивания конструкций, воздействие агрессивных сред окружающей среды, солнечной радиации и пр.) происходит постепенная деградация (снижение) эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций. При достижении показателей, количественно отражающих остаточный ресурс эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций, принимаются меры по их восстановлению (в ходе текущего и капитального ремонтов), а в случае значительного износа – по сносу или реконструкции здания.

Объективная оценка долговечности стеновых ограждающих конструкций позволяет, с одной стороны, рассчитать затраты на проведение текущих и капитального ремонтов здания, и как следствие, численные значения ежегодных амортизационных отчислений, а с другой стороны, позволяет произвести оценку эффективности мероприятий, связанных с внедрением энергосберегающих технологий.

Если фактический срок службы до первого капремонта ограждающей стеновой конструкции окажется меньше периода окупаемости мероприятий, направленных на повышение ее энергоэффективности, все сэкономленные в результате уменьшения затрат энергии на отопление здания материальные средства будут потрачены на проведение его текущих и капитального ремонтов. При этом нельзя забывать, что затраты на проведение последующих ремонтов здания фактически означают те же затраты энергии: на демонтаж и утилизацию вышедших из строя конструктивных элементов здания, на производство новых материалов (добыча полезных ископаемых, доставка их на завод, переработка и т.д.), на доставку материалов к объекту строительства, на работу машин и механизмов и т.д.

Кнатько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

Таким образом, срок службы (долговечность) ограждающих стеновых конструкций является систематическим и комплексным критерием их энергоэффективности.

В нашей стране значительный вклад в развитие учения о прогнозировании долговечности различных строительных материалов и конструкций внесли многие видные ученые [1-8]. Среди исследований последних лет следует выделить следующие работы [9-17].

Методика проведения испытаний

В настоящей работе описывается методика оценки эксплуатационного срока службы двухслойной стеновой конструкции по аттестованной во ФГУП «ВНИИФТРИ» методике выполнения измерений МВИ 23-5117-2005 [18]. Одновременные лабораторные и натурные испытания проводились в течение 4,5 лет в Испытательном Центре (руководитель Пестряков И.И.) ОАО «СПбЗНИИПИ» (ранее ЛенЗНИИЭП) под общим руководством заместителя генерального директора по науке Кнатько М.В.

Предлагаемая методика проведения испытаний на долговечность [18] базируется на интегральном механизме накопления повреждений. В основе методики лежит модель, согласно которой эксплуатационный срок службы (долговечность) испытываемой стеновой конструкции зависит от интенсивности, амплитуды и времени воздействия на конструкцию знакопеременных температурных колебаний наружного воздуха. Однако в отличие от распространенных методик оценки морозостойкости различных строительных материалов (ГОСТ 10060.0-4, ГОСТ 31359 и др.) данная методика учитывает конкретные параметры климатической активности выбранного региона, а также более точно моделирует процессы воздействия внешних и внутренних параметров окружающей среды на материал стены. При испытании на морозостойкость материал обычно подвергается объемному замораживанию, а в процессе испытания в климатической камере – одностороннему, т.е. так же, как и в реальных условиях эксплуатации, что более объективно отражает процессы разрушения материалов в результате изменения фазового состояния накопленной ими влаги.

При воздействии отрицательных температур на внешнюю поверхность стены в различные периоды времени года с отрицательными температурами происходит постоянное перемещение по толщине стены фронта отрицательных температур. При замерзании влаги происходит ее увеличение в объеме, что может приводить к разрушению межпоровой структуры материала. В результате появляются центры концентрации напряжений в материале (микродефекты), которые при последующем попадании в них влаги и замораживании с неопределенной вероятностью могут разрастаться, а в общем случае и объединяться с другими такими же центрами. Кроме того, при одностороннем замораживании-оттаивании различные слои испытываемой стеновой конструкции неравномерно изменяются в объеме по толщине (чего при объемном замораживании практически не происходит). В результате неравномерного по толщине изменения объема материала появляются дополнительные механизмы разрушения стеновой конструкции на границе раздела фазового состояния влаги в поровом пространстве материала стены.

Княтько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

Описание испытываемой стеновой конструкции

Объектом исследования является стеновая конструкция, состоящая из внутреннего слоя, сложенного из газобетонных блоков автоклавного твердения марки по плотности D500 (толщиной 400 мм), облицованных снаружи силикатным одинарным пустотелым лицевым кирпичом (в полкирпича). Слои скреплены между собой посредством гибких металлических связей (не менее 3 штук с площадью поперечного сечения связей не менее $0,5 \text{ см}^2$ на 1 м^2 поверхности стены в соответствии с требованиями СТО 501-52-01-2007). С внутренней стороны стена оштукатурена. Суммарная толщина конструкции составляет 540 мм.

Выбор испытываемой стеновой конструкции обусловлен широким применением ее в практике строительства в выбранном климатическом регионе. Схематично разрез испытываемой стеновой конструкции показан на рис. 1.

Характеристики газобетонных блоков (из паспорта изделия):

- размер изделия: $400 \times 250 \times 625 \text{ мм}$;
- проектный класс – В2;
- прочность – 3,4 МПа;
- морозостойкость – F35;
- нормируемая объемная масса – 500 кг/м^3 .

Характеристики облицовочного силикатного кирпича (в соответствии с данными, приведенными в сертификате качества):

- условное обозначение изделия СОПЛ 150/75;
- размер изделия: $250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$;
- водопоглощение – 11,7 %;
- коэффициент теплопроводности – $0,67 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$.

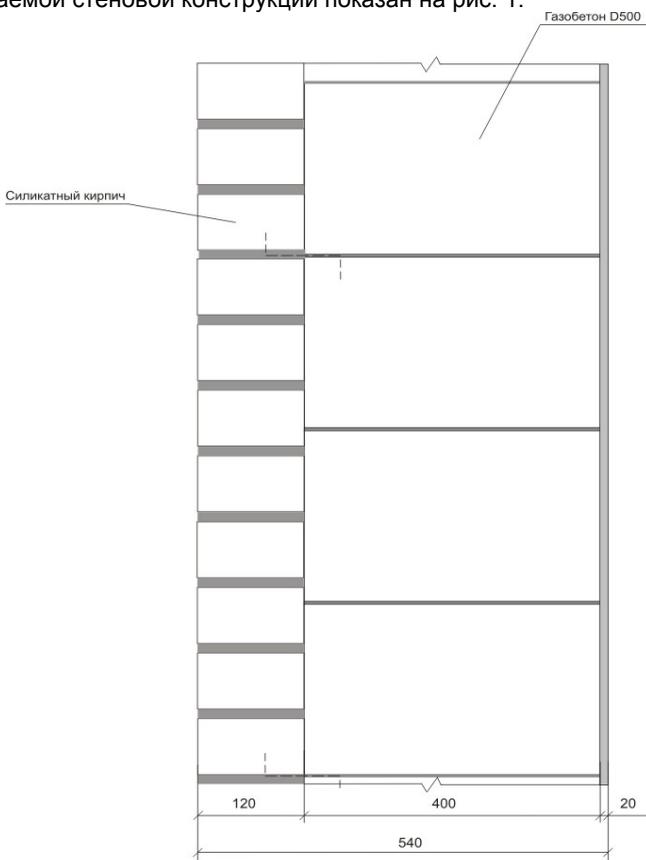


Рисунок 1. Схематическое изображение испытываемой конструкции

Кнатько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

Условия проведения испытаний

Для повышения достоверности результатов испытаний одновременно испытываются два фрагмента стеновой конструкции: один в лабораторных условиях, другой – в натуральных. С этой целью фрагмент стеновой конструкции, аналогичный испытываемому в лабораторных условиях, размещается в проеме существующего здания (фото 1). В течение всего периода проведения испытаний на натурном фрагменте в различные периоды времени года исследуются процессы распределения влажности и температуры по его толщине. Полученные на основании натуральных исследований данные используются, в том числе, для корректировки лабораторных испытаний.



Фото 1



Фото 2

Достоверность полученных в ходе лабораторных исследований данных существенным образом зависит также от степени адекватности лабораторных условий реальным эксплуатационным воздействиям. Сложившаяся к настоящему времени практика проведения таких исследований основана на использовании климатических камер. В климатических камерах осуществляется моделирование эксплуатационных воздействий на крупноразмерные фрагменты стеновых конструкций (КФСК). Фрагменты стеновых конструкций изготавливаются в виде прямоугольных параллелепипедов (фото 2), при этом их размеры (длина и ширина) в соответствии с ГОСТ 26254 не менее чем в четыре раза превышают их толщину и составляют не менее 1500×1000 мм.



Фото 3

Испытания проводятся в климатической камере (фото 3), состоящей из двух отсеков – теплого и холодного, в которых имитируются, соответственно, температурно-влажностные условия помещений квартиры и улицы в наиболее неблагоприятные с точки зрения эксплуатационных воздействий периоды года.

Для удобства работы и обработки информации климатическая камера оснащается автоматизированной системой

Княтько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

управления (фото 3), а также компьютерной системой сбора, обработки и накопления измерительной информации.

Эксплуатационные воздействия

В «теплом» отсеке климатической камеры поддерживается температура воздуха $20 \pm 1^\circ\text{C}$ и влажность 45...60%. Климатические и техногенные воздействия в «холодном» отсеке камеры моделируются в лабораторных условиях путем проведения следующих видов испытаний:

- попеременное дождевание-высушивание, в том числе в агрессивной среде, характерной для воздушной среды Санкт-Петербурга;
- попеременное охлаждение-нагревание, моделирующее влияние на строительные конструкции суточных и сезонных колебаний температуры воздуха в кратковременные периоды времен года – заморозков в осенний период и оттепелей в весенне-зимний период;
- глубокое замораживание-оттаивание, моделирующее влияние на строительные конструкции самых низких отрицательных температур окружающего воздуха, характерных для выбранного региона строительства (в данном случае – для климатических условий Северо-Запада).

Для составления программы испытаний стеновой конструкции на долговечность были использованы результаты обработки метеорологических данных климатической активности в Санкт-Петербурге за последние 15 лет, собранные в Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова.

Параметры дождевания испытываемой стеновой конструкции были рассчитаны на основании сбора информации об объемах осадков, выпадающих в течение двух месяцев, предшествующих началу заморозков. С учетом данных об объемах осадков и средней скорости ветра за рассматриваемый период времени была вычислена доля осадков, которые увлажняют во время прохождения дождей вертикальные поверхности стен. Полученные таким образом данные были использованы впоследствии для расчета производительности дождевальной установки.

В состав воды для дождевания добавляются химические вещества. Состав и концентрация добавок в водный раствор соответствуют их количественным и качественным показателям в дождевой влаге рассматриваемого района строительства. Состав для дождевания готовится из смеси дистиллированной воды и соответствующих агрессивных веществ, оказывающих разрушающее действие на материале испытываемой стеновой конструкции.

Контролируемые параметры

Эксплуатационными (контролируемыми в процессе проведения испытаний) параметрами испытываемой стеновой конструкции являются основные факторы, обеспечивающие безопасность и комфортные условия проживания, а именно

1. Прочность. В процессе проведения циклических испытаний прочность определяется отдельно для каждого слоя стеновой конструкции с использованием неразрушающих методов контроля (метода ударного импульса (фото 1, 2) для облицовочного слоя из силикатного кирпича, метода вырывания анкерного устройства (фото 4) для газобетонной части стеновой конструкции), и кроме того, малоформатные

Княтько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

- фрагменты стеновой конструкции испытываются на прессе до разрушения.
2. Сопротивление теплопередаче. Сопротивление теплопередаче определяется после каждого цикла испытаний, соответствующего определенному периоду эксплуатации испытываемой конструкции.



Фото 4

Обработку результатов измерений выполняют после проведения соответствующих циклов испытаний образцов, вычисляя значение контролируемого параметра как среднее арифметическое результатов для всех образцов с точностью до одного знака после запятой, и границы его доверительного интервала при надежности 0,95.

Для оценки достоверности полученных результатов используются методы статистической обработки результатов испытаний. Достоверность разницы между средними арифметическими значениями какого-либо контролируемого параметра, измеренного методами неразрушающего контроля после проведения заданного количества циклических климатических и техногенных воздействий, подсчитывается по следующей эмпирической формуле (с поправкой на малое число измерений):

$$\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \geq 3 + \frac{6}{n - 4}, \quad (1)$$

где M_1 и M_2 – средние арифметические значения контролируемого параметра, например, прочности, измеренной с помощью приборов неразрушающего контроля, до (M_1) и после (M_2) заданного количества циклов воздействий;

m_1 и m_2 – средние ошибки средних арифметических M_1 и M_2 соответственно;

n – число наблюдений (при различном числе наблюдений в формулу подставляют меньшее значение);

$6/(n-4)$ – поправка на малое число наблюдений.

Численные значения эксплуатационных параметров (прочности, сопротивления теплопередаче) определяются до начала проведения испытаний, а также после заданного количества циклических климатических воздействий, соответствующих определенному количеству лет эксплуатации испытываемой стеновой конструкции. Параметры соответствия моделируемых климатических воздействий и заданного срока эксплуатации испытываемой конструкции (например, соответствующего одному году эксплуатации) приведены в МВИ 23-5117-2005 [18]. Испытания проводятся до тех пор, пока достоверность

Княтько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

изменения контролируемого параметра во времени не достигнет заданного уровня, достаточного для объективной оценки эксплуатационного срока службы конструкции. После обработки результатов испытаний строится регрессионная зависимость, характеризующая степень снижения контролируемого параметра в зависимости от заданного количества циклов испытаний, т.е. от времени эксплуатации.

При построении регрессионной модели были использованы следующие виды функциональных зависимостей:

- линейная;
- степенная;
- экспоненциальная;
- полиномиальная 3-й степени;
- логарифмическая.

В качестве критерия при окончательном выборе регрессионной зависимости с целью последующей оценки на ее основе долговечности испытываемой стеновой конструкции был принят минимум среднеквадратического отклонения функции регрессии от фактических (измеренных в процессе проведения испытаний) эксплуатационных параметров.

При достижении численным значением эксплуатационного параметра заданного критического уровня производится оценка долговечности (эксплуатационного срока службы, например, до первого капремонта) в условных годах эксплуатации. В качестве критического уровня может быть выбрана та или иная степень снижения несущей способности стеновой конструкции или уменьшения сопротивления теплопередаче до допустимого нормами уровня (минимально допустимого для заданного климатического района – $1.94 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$).

Результаты испытаний

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Испытываемая конструкция (или ее часть, фрагмент)	Параметр, по которому производится оценка долговечности	Приближенная оценка эксплуатационного срока службы (до первого капремонта) стеновой конструкции, в условных годах эксплуатации (УГЭ)
1	2	3	4
1.	Стеновая конструкция (в целом)	Сопротивление теплопередаче R	> 100 лет
2.	Наружный облицовочный слой из силикатного кирпича	Прочность (методом ударного импульса)	87 лет
3.	Кладка из газобетона (часть кладки, обращенной в сторону внутреннего помещения) $\approx \frac{2}{3}$ толщины	Прочность (методом вырывания анкерного устройства)	> 100 лет
4.	Кладка из газобетона (часть кладки в месте примыкания ее к наружному	Прочность (методом вырывания	60 лет

Княтько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

	облицовочному слою) $\approx \frac{1}{3}$ толщины	анкерного устройства)	
5.	Стеновая конструкция (в целом)	Прочность (при испытаниях фрагментов стены на прессе)	Достоверность результатов недостаточна для оценки долговечности с требуемой надежностью

Обсуждение результатов испытаний

Испытания показали, что кладка из газобетонных блоков разрушается неравномерно (см. рис. 2 и данные таблицы 1): внутренняя ее часть ($\approx 2/3$ толщины) подвергается разрушению менее интенсивно по сравнению с ее наружной частью ($\approx 1/3$ толщины), которая примыкает непосредственно к наружному облицовочному слою. Более интенсивное разрушение наружной части кладки из газобетона происходит вследствие накопления повышенного содержания влаги на этом участке стеновой конструкции в зимний период эксплуатации (до 16 % по массе). В результате совместного воздействия влаги и знакопеременных температур наружная часть стеновой конструкции разрушается более интенсивно. Накопление влаги связано с различием коэффициентов паропроницаемости газобетона и силикатного кирпича. Примыкание силикатного кирпича к кладке из газобетона создает дополнительный барьер на пути движения водяного пара в результате его диффузии из помещений наружу. При этом влажность внутренних слоев газобетона не превышает 3-4%. Средняя, равновесная по толщине газобетонной части стеновой конструкции, весовая влажность по окончании первого отопительного периода составила 12,2%, по окончании второго – 7,1%, т.е. с течением времени происходит уменьшение равновесного содержания влаги в поровом пространстве материала. Однако тенденция к более интенсивному накоплению влаги на границе раздела сред с различными коэффициентами паропроницаемости сохраняется.

Оценка эксплуатационного срока службы (долговечности)

На основании полученных результатов прогнозируемый срок службы испытанной стеновой конструкции до первого капремонта составит 60 лет (в УГЭ). Данное положение основано на следующем предполагаемом механизме разрушения стеновой конструкции, аналогичной испытываемой:

- в результате снижения прочности той части кладки из газобетона, которая примыкает к наружному облицовочному слою (см. рис. 2), еще до исчерпания окончательного ресурса наружной облицовкой из силикатного кирпича (≈ 87 лет в соответствии с результатами испытаний) может произойти отделение отдельных фрагментов облицовки от газобетонной части стены;
- в результате частичного обрушения наружного облицовочного слоя могут возникнуть благоприятные условия для дальнейшего обрушения облицовки; кроме того, на отдельных участках стеновой конструкции уменьшится ее толщина, что приведет к снижению теплозащитных свойств данной ограждающей конструкции.

Таким образом, основным разрушающим критерием испытываемой стеновой конструкции, по которому следует в данном случае производить оценку ее эксплуатационного срока службы до первого капремонта, применительно к

Кнатько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натурных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

выбранной модели разрушения следует принять долговечность кладки из газобетона, конкретнее, той ее части, которая примыкает к наружному облицовочному слою.

При этом следует отметить, что при правильной эксплуатации, т.е. при условии ненакопления влаги в наружной части газобетонной кладки, ресурс стены из газобетонных блоков составит 100 и более лет эксплуатации.

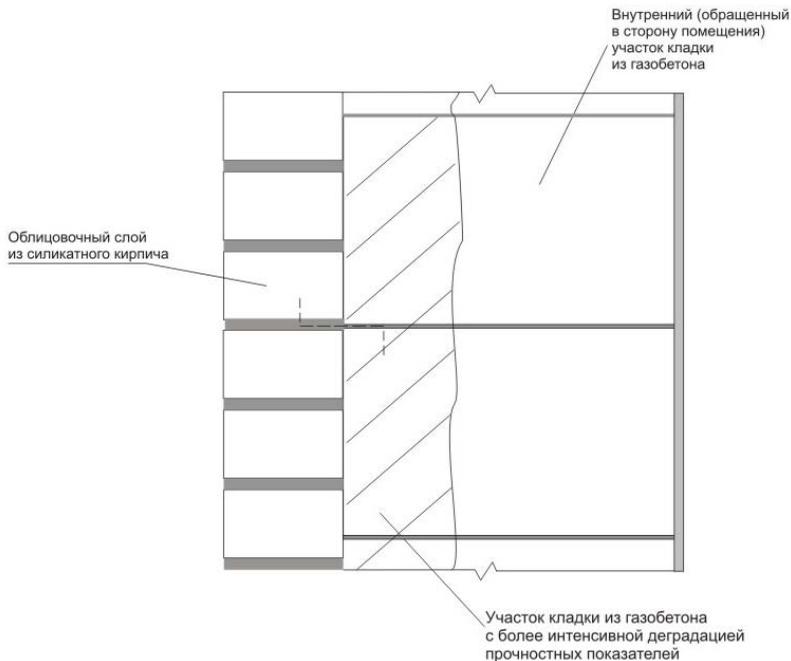


Рисунок 2. Схема разрушения испытываемой стеновой конструкции

Выводы

Эксплуатационный срок службы до первого капремонта стеновой конструкции из газобетона, облицованной снаружи силикатным кирпичом, без воздушного зазора между слоями составляет 60 лет.

Ресурс (долговечность) при правильной эксплуатации испытанной стеновой конструкции составляет более 100 лет.

Для увеличения срока службы стеновой конструкции из газобетонных блоков с кирпичной облицовкой необходимо создавать условия для эффективного удаления влаги, особенно с той ее части, которая примыкает к облицовочному слою. Для этого в процессе проектирования и возведения кладки необходимо предусматривать воздушный вентилируемый зазор между слоями кладки (20-40 мм). Кроме того, для крепления облицовочного слоя к кладке из газобетонных блоков необходимо использовать гибкие металлические связи со сроком эксплуатации не менее 50 лет.

Княтько М.В., Пестряков И.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы

Список литературы

1. Власов О.Е. и др. Долговечность ограждающих и строительных конструкций (физические основы). М.: Стройиздат, 1963. 115 с.
2. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
3. Колотилкин Б.М. Долговечность жилых зданий. М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. 254 с.
4. Колотилкин Б.М. Проблемы долговечности и надежности жилых зданий. М.: Изд-во «Знание», 1969. 46 с.
5. Александровский С.В. Метод прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций. – В кн. Исследования по строительной теплофизике (Сб. трудов НИИСФ). М.: Госстрой СССР, 1984. С. 81-95.
6. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: РААСН, 2004. 332 с.
7. Бобров Ю.Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. М.: Стройиздат, 1987. 168 с.
8. Бобров Ю.Л., Рябчиков С.Л. Инженерный метод прогнозирования долговечности минераловатных изделий в ограждающих конструкциях. М.: МИСИ, 1983. 263 с.
9. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли А.В. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций // Строит. материалы. 2002. №5. С. 33-35.
10. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // Строит. материалы. 2008. №4. С. 56-59.
11. Ананьев А.А., Козлов В.В., Дуденкова Г.Я., Ананьев А.И. Долговечность лицевого кирпича и камня в наружных стенах зданий // Строит. материалы. 2007. №2. С. 56-58.
12. Ананьев А.А., Дуденкова Г.Я., Козлов В.В. Долговечность керамического кирпича и камня в наружных стенах. – Жилищное строительство. 2007. №3. С. 13-15.
13. Батрак В.Е., Бобряшов В.В., Бобряшов В.М. Метод оценки долговечности теплоизоляции при действии эксплуатационных нагрузок // Труды I Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования». Санкт-Петербург, 26-27 июня 2008 г. С. 76-85.
14. Батрак В.Е., Бобряшов В.В., Бобряшов В.М. Метод оценки работоспособности полимерных заполнителей трехслойных панелей при действии длительных эксплуатационных нагрузок // Кровельные и изоляционные материалы. 2009. №1. С. 57-59.
15. Инчик В.В. Влияние метеорологических факторов на долговечность зданий и сооружений Санкт-Петербурга // Труды I Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования». Санкт-Петербург, 26-27 июня 2008 г. С. 102-107.
16. Бессонов И.В. Фасады тонкие, но стойкие...// Строительство. 2008. №10. С. 123-125.
17. Бессонов И.В., Алехин С.В. Оценка стойкости к климатическим воздействиям фасадных систем наружного утепления с тонким штукатурным слоем // Кровельные и изоляционные материалы. 2009. №1. С. 12-15.
18. МВИ 23-5117-2005 «Ограждающие стеновые конструкции. Метод определения сопротивления климатическим воздействиям и оценка долговечности при ускоренных испытаниях». СПб.: СПбЗНИИПИ, 2006. – 29 с.

Кнатько М.В., Щербакова Е.В., Зеленая Е.В., Лаздовская М.А. Эффективные утеплители на основе торфа

В.М. Кнатько, д.т.н., профессор СПбГУ

Е.В. Щербакова, директор департамента ООО «НТЦ «Технологии XXI века»

Е.В. Зеленая, аспирант СПбГУ

М.А. Лаздовская, старший преподаватель СПбГУ

Эффективные утеплители на основе торфа

В последнее время все большую актуальность приобретает использование в жилищном домостроении строительных материалов из природных материалов, обеспечивающих экологичность жилища человека. Чрезмерное увлечение в строительной индустрии пластиками, синтетическими утеплителями, безусловно, высокотехнологичными и эффективными строительными материалами, не обеспечено знаниями их воздействия на среду обитания человека. При этом традиционные строительные материалы в значительной мере оказались вытесненными из арсенала строителей более современными, но потенциально опасными и малоизученными. Осознание этого процесса приводит к необходимости возврата к традиционным строительным материалам и развитию новых на основе природных материалов. К ряду таких материалов относятся утеплители, широко применяемые при строительстве современных домов.

ООО «НТЦ «Технологии XXI века» разработана технология производства утеплителей на основе торфа, отличающихся высокими теплоизоляционными и прочностными свойствами. Развитие применения торфяных утеплителей позволит обеспечить экологичность жилища, удешевить строительство жилья и стимулировать развитие местных производств, использующих собственные возобновляемые природные ресурсы.

В основу предлагаемой технологии положен комплексный физико-химический метод рационального использования волокнистой природы торфа и учет повышенной исходной влажности торфяной массы. Технология основана на переработке волокнистых торфов малой степени разложения путем введения в состав минеральных вяжущих. Комплекс минеральных вяжущих вводится в виде воздушно-сухих порошковых добавок, включающих кальцинированную глину, фосфогипс, соли фторидов, взаимодействие которых с избыточной водой торфа приводит к формированию коллоидно-дисперсной и золь-гелевой фаз, обеспечивающих процессы синтеза кристаллогидратов кальций-магний-феррум-алюмосиликатных вяжущих веществ, обеспечивающих прочность и водоустойчивость сформованных торфоблоков. При этом содержание жидкой фазы в обработанной указанным образом торфяной массе оказывается оптимальным для прессования торфоблоков. Необходимо упомянуть, что реакция среды материала (торфоблоков) устанавливается щелочной (рН 9-10), что исключает процессы биоразложения органических компонентов торфа, а добавки фосфогипса и фторидов оказывают дезатерическое действие против жизнедеятельности грызунов в торфоблоках. Возможность введения в состав смеси специальных добавок – антипиренных составов, входящих в материал наряду с минеральными связующими, обеспечивает огнестойкость этого материала. Варьирование минеральных составляющих торфяного утеплителя позволяет менять в широком диапазоне потребительские свойства продукции. Последующая сушка изделия до влажности 15–25% обеспечивает удаление свободной и слабосвязанной воды, что обеспечивает низкие удельные энергозатраты на процесс сушки.

Кнатько М.В., Щербакова Е.В., Зеленая Е.В., Лаздовская М.А. Эффективные утеплители на основе торфа

Получаемый материал торфоблоков характеризуется следующими важными для широкого практического использования показателями:

- плотность: $250-400 \text{ кг/м}^3$;
- теплоемкость: $0,047-0,08 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$;
- предел прочности при сжатии: $5-20 \text{ кГ/см}^2$;
- влажность: $15-25\%$;
- температура применения: $-50 \div +120 \text{ }^\circ\text{C}$;
- удельная теплоемкость: $2,3 \text{ КДж/кг }^\circ\text{C}$.

Надиевский С.Ю., Алексеева Л.В. Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра

С.Ю. Надиевский, ст.н.с. ГП «НИИСМИ»

Л.В. Алексеева, зав сектором перлита ГП «НИИСМИ»

Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра

ГП «Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий «НИИСМИ», г. Киев, Украина

Вспученный перлит представляет собой лёгкие пористые гранулы насыпной плотностью 50...150 кг/м³. Вспученный перлит получают из вулканических алюмосиликатных горных пород, содержащих химически связанную (структурную) воду. В результате термообработки такой горной породы происходит ее вспучивание. Процесс удаления из перлитовой породы структурной воды (термообработка) происходит в специальных тепловых агрегатах при температуре 800...1200°C.

В течение 50 последних лет и сегодня перлитовая тематика — ведущее научное направление деятельности института «НИИСМИ». Институт занимается исследованиями технологических свойств и промышленными испытаниями перлитового сырья разных стран и месторождений. В «НИИСМИ» созданы и создаются новые технологии и оборудование для производства вспученного перлита и перлитовых материалов. «НИИСМИ» — базовая организация по стандартизации вспученного перлита, перлитовых материалов и изделий. Разработаны Межгосударственные стандарты: ГОСТ 25226 «Щебень и песок перлитовые для производства вспученного перлита», ГОСТ 10832 «Песок и щебень перлитовые вспученные», ГОСТ 30566 «Порошок перлитовый фильровальный», а также нормативные документы Украины на перлитовые материалы и изделия.

Вспученный перлит — основа эффективных негорючих и экологически чистых изоляционных материалов. Перлитовые материалы идут на смену небезопасным полимерным и композитным утеплителям, а традиционным материалам придают ранее недостижимые теплозвукоизоляционные свойства. Перлитовые материалы способны улучшать физические свойства уже существующих конструкций, что привело к широкому их применению при ремонтных работах. Регулирование влажности конструкций и микроклимата помещений — одна из особенностей материалов на основе перлита.

В строительстве и для производства строительных материалов используется, в основном, вспученный перлитовый песок:

- насыпная плотность 50...150 кг/м³;
- фракционный состав 0,16...5,0 мм;
- теплопроводность 0,043...0,058 Вт/(м·К);
- температура применения от -200оС до +900оС.

Месторождения перлитового сырья есть во многих странах: в Греции, Турции,

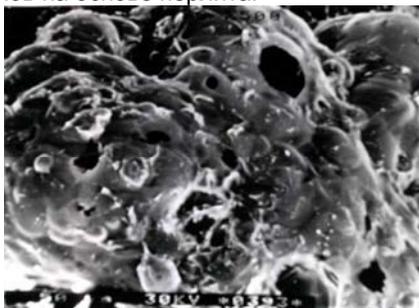


Рисунок 1. Структура зерна вспученного перлита (частица размером 0,6 мм, увеличение 500*)

Надиевский С.Ю., Алексеева Л.В. Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра

Венгрии, Болгарии, Италии, США, Монголии. Есть они в Украине и России. Производство вспученного перлита также развито во всем мире. Перлит применяется, прежде всего, там, где необходима эффективная изоляция, пожаробезопасность, долговечность и экологическая чистота. Поэтому первоначально перлитовые материалы применялись в высокотехнологических отраслях. Ужесточение норм по теплоизоляции и экологии в последнее время приводит к мощному продвижению перлита в строительную сферу. Если раньше перлит использовался только в пищевой промышленности (фильтровальные порошки), агротехнике (растительные субстраты), криогенной технике (изоляция блоков глубокого холода), металлургии (изоляционные смеси при разливке стали), в сорбентах для очистки сточных вод и водоемов от нефтяных загрязнений и многом другом, то в настоящее время перлит широко используется при утеплении фасадов, кровель, перекрытий, на основе перлита выпускают теплоизоляционные штукатурки, кладочные растворы и даже клеевые составы.

В этой статье представлен опыт применения вспученного перлита в строительстве разных стран.



Рисунок 2. Перлит в мешках для создания тёплых подготовок под полы на грунте



Рисунок 3. Применение засыпной перлитовой изоляции (Германия)

Перлит в мешках. Самый простой вид теплоизоляции. Применяется в США и в Украине. В Украине мешки предварительно подпрессовываются. Применяется для утепления холодных чердаков и создания тёплых подготовок под полы.

Засыпная изоляция. Широко применяется в США (более 60% выпускаемого вспученного перлита) и странах Европы, развивается этот вид изоляции и в России. Засыпная изоляция используется для стен из пустотелых бетонных и керамических камней, для изоляции перекрытий, плоских крыш и создания тёплых полов на грунте. Для предотвращения накопления влаги вспученный перлит может обрабатываться кремнийорганическими составами. Преимущества засыпной перлитовой изоляции:

- равномерно заполняет все пустоты и полости конструкции;
- не уплотняется в процессе эксплуатации;
- повышает степень теплозащиты конструкции в 3 и более раз;
- повышает огнестойкость конструкции в 2...4 раза;
- не подвержена биовоздействию (гниение, насекомые и грызуны);
- может быть выполнена без специального обучения или оборудования.

Надиевский С.Ю., Алексеева Л.В. Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра

Эффективность засыпной перлитовой изоляции подтверждены опытом её применения в Германии, Австрии, США и испытаниями КиевЗНИИЭП (Украина).



Рисунок 4. Применение битумоперлита (США)

Битумоперлит. Сухой гранулированный материал, состоящий из зёрен перлита, покрытых битумом. Используется для изоляции и ремонта плоских крыш. Высыпается на покрытое битумом основание и прикатывается катком. Свойства:

- насыпная плотность — 180 кг/м^3 ;
- плотность в уплотнённом состоянии — 250 кг/м^3 ;
- теплопроводность — $0,067 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- прочность при сжатии — $0,35 \text{ МПа}$.

Применяется в строительной практике США.

Перлитцементные сухие смеси. Применяются в Европе, Украине и России в виде теплоизоляционных штукатурных смесей, облегчённых подготовок под полы и кладочных растворов. Могут использоваться как при строительстве новых, так и в реконструкции старых зданий, не отвечающих современным требованиям по теплозащите.

Штукатурки. Пригодны для нанесения как вручную, так и штукатурными машинами. За один проход можно наносить слой толщиной до 50 мм, общая толщина теплоизоляционной штукатурки до 100 мм. Характеристики:

- плотность — $400 \dots 700 \text{ кг/м}^3$;
- прочность на сжатие — $0,5 \dots 2,5 \text{ МПа}$;
- теплопроводность — $0,09 \dots 0,15$

$\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

В Украине и России такие штукатурки — основа систем утепления, включающих также армирующую сетку (из стекловолокна или керамическую) и финишную декоративно-защитную штукатурку.

Облегчённые кладочные растворы. Основная цель их использования — достижение теплотехнической однородности кладки из эффективных стеновых материалов: поризованной керамики, перлитобетонных блоков или стеклоблоков. Характеристики:

- плотность — $900 \dots 1250 \text{ кг/м}^3$;
- марка по прочности на сжатие — $50 \dots 100$;
- теплопроводности — $0,19 \dots 0,32 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

По прочности и деформативным свойствам облегчённые перлитовые растворы рекомендованы ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (Москва) для кладки из керамического кирпича и крупноформатного пустотелого керамического камня.



Рисунок 6. Теплоизоляционные перлитовые штукатурки

Нацевский С.Ю., Алексеева Л.В. Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра

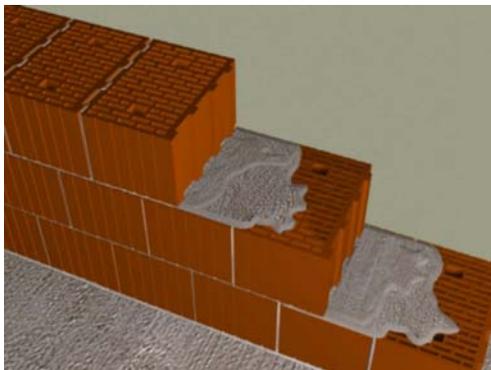


Рисунок 6. Облегчённые кладочные растворы: а – для керамических камней из поризованной керамики; б – для стеклоблоков



Рисунок 7. Стены из монолитного перлитобетона (Украина)

Монолитный перлитобетон.

Может изготавливаться как в виде товарного бетона, так и виде сухой смеси, затворяемой водой непосредственно на стройплощадке. Характеристики:

- плотность – $600 \dots 800 \text{ кг/м}^3$;
- прочность на сжатие – $2,5 \dots 5,0 \text{ МПа}$;
- теплопроводность — $0,11 \dots 0,16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.



Рисунок 8. Реализованная на практике схема утепления непроходного чердака поризованным перлитобетоном (Санкт-Петербург)

Перлитобетонные стеновые блоки. Полнотелые стеновые блоков плотностью $500 \dots 700 \text{ кг/м}^3$ изготавливаются методом вибропрессования и применяются в Украине для строительства малоэтажных, многоэтажных и высотных зданий. Благодаря зернистой структуре и наличию стеклофазы перлитового заполнителя, перлитобетон имеет лучшие теплотехнические показатели, чем автоклавный ячеистый бетон аналогичной плотности.

Надиевский С.Ю., Алексеева Л.В. Вспученный перлит в строительстве. Вчера, сегодня, завтра

Теплоизоляционные плиты в оболочке. Перспективная разработка специалистов Украины – негорючие теплоизоляционные плиты из вспученного перлита на неорганическом связующем в оболочке с эффектом отражающей изоляции. Технология производства – подпрессовка, вакуумирование или формование в модифицированной газовой среде. Характеристики:

- плотность – $200 \dots 250 \text{ кг/м}^3$;
- теплопроводность (подпрессованных изделий) – $0,05 \dots 0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- теплопроводность (при использовании вакуума или модифицированной газовой среды) – $0,02 \dots 0,03 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- прочность на сжатие – $0,2 \dots 0,3 \text{ МПа}$.

Преимущества: возможность применения в наклонных и вертикальных конструкциях, в том числе в слоистых стенах; достаточная прочность для применения в горизонтальных конструкциях (перекрытия, покрытия); стабильность физико-технических свойств во времени.

Как показывает анализ практики использования перлита в разных странах, у перлитовых материалов большое будущее. Дело за малым – совместными усилиями развивать это направление в России и Украине.



Рисунок 9. Применение перлитобетонных стеновых блоков (Украина)



«ПетроПерлит»

Общество с ограниченной ответственностью

Производство и продажа:

- Сухие строительные смеси «Юнимикс[®]» на основе вспученного перлита, в том числе:
 - легкие кладочные растворы,
 - теплоизоляционные штукатурные смеси,
 - теплоизоляционные клеи для ячеистых блоков,
 - легкие бетонные смеси,
 - смеси для тепло-звукоизоляции,
 - смеси для утепления полов и т.д.
- Теплоизоляционная засыпка «Гермо»,
- Кирпичная ткань Stauss;
- Песок перлитовый вспученный, плотность М75;
- Сорбент ПетроСорб для сбора нефти и нефтепродуктов с воды и твердых

Адрес: 192289, г. Санкт-Петербург, Грузовой проезд, 13

Тел/факс: (812) 336-50-27, 336-50-28, 336-55-13

E-mail: petroperl@mail.ru [Http://www.petroperl.ru](http://www.petroperl.ru)

Легкие стальные ограждающие конструкции монолитных жилых зданий

В настоящее время в России активно ведется строительство зданий с использованием каркаса из металлоконструкций, которые демонстрируют себя как универсальные, прочные, легкие и быстровозводимые.

Главное преимущество каркасного строительства из легких стальных конструкций – максимальная заводская готовность изделий. Строительство на основе легких стальных конструкций – это в основном монтаж конструкций (механическая сборка) и отсутствие «мокрых» процессов.

Имеются предложения и первоначальный опыт применения тонкостенных профилей в ограждающих конструкциях многоэтажных каркасных жилых зданий (ООО «Евродом Холдинг», Rannila OY, ООО «Сталдом», ООО «АрсеналСТ» и другие), но без достаточного теоретического и экспериментального обоснования.

Целью данной работы являлась научно-техническая разработка легких стальных ограждающих конструкций монолитных жилых зданий с выработкой практических методов расчета.

Для легкой стальной ограждающей конструкции из холодногнутых тонкостенных термопрофилей несколькими расчетными методами, а также экспериментально установлены взаимосвязи параметров рациональных конструктивных решений и теплотехнических параметров (сопротивления теплопередаче, теплоустойчивости, воздухопроницаемости и паропроницаемости). Полученные зависимости облегчают проектирование легких стальных ограждающих конструкций монолитных жилых зданий.

Результаты экспериментальных исследований сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции толщиной теплоизоляционного слоя 150 мм совпадают с расчетными, что свидетельствует о правильности принятых расчетных предпосылок.

Расчетно и экспериментально исследованы усилия, возникающие в узлах крепления к перекрытию, несущая способность, деформативность легкой стальной ограждающей конструкции. Установлены зависимости перемещений, коэффициента использования сечения элементов конструкции, усилий в узлах крепления от основных конструктивных параметров (сечения и шага расстановки термопрофилей).

Показана конструктивная реализуемость и экономическая эффективность легких стальных ограждающих конструкций для монолитных жилых зданий. Предложено использовать такие конструкции в массовом строительстве. Обосновано конструктивное решение легких стальных конструкций монолитных жилых зданий. В основе таких решений лежит: шаг расстановки термопрофилей 600 мм с толщиной стенки 2,0 мм и высотой 150 мм, толщина стенки обрешетки 1,0 мм, вентилируемый зазор 50 мм.

Предложена методика расчета легких стальных ограждающих конструкций, заключающаяся в подборе геометрических характеристик элементов конструкции по сопротивлению теплопередаче на основании полученных автором зависимостей с последующей проверкой прочности и устойчивости подобранных сечений.

Выполненные технические разработки позволяют рационально проектировать легкие стальные ограждающие конструкции, имеющие высокие

Кузьменко Д.В. Легкие стальные ограждающие конструкции монолитных жилых зданий технико-экономические показатели, что имеет существенное значение для экономики страны.

Список литературы

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» / Госстрой России. М., 2004.
2. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» Госстрой России. М., 2004.
3. Жмарин Е.Н. Технология будущего – строительство облегченных зданий и сооружений с применением термопрофилей и легких балок / Стройпрофиль, 2004, №5(35). С.83.
4. Кузьменко Д.В. Ограждающая термopанель с каркасом из термопрофилей / Жилищное строительство. 2009. №4. С 2-4.
5. Кузьменко Д.В. Ограждающая конструкция на базе легких стальных конструкций. / Строительные материалы. 2009 г. № 4. С. 2-4.
6. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Обоснование нового типа ограждающей конструкции на базе ЛСТК. / Наука и инновации в технических университетах. Материалы Всероссийского Форума студентов, аспирантов и молодых ученых. 28-31 октября 2008г., СПб., с. 111-112.
7. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Термopанель – новый тип энергосберегающей ограждающей конструкции. / Стройметалл № 4 (6) 2008г, с. 40-45.

Тепловлажностный режим ограждающих конструкций при наружном и внутреннем утеплении

Формирование жилищного фонда Санкт-Петербурга происходило на протяжении 300 лет. В настоящий момент доля домов первых массовых серий, т.е. домов, построенных в 1956-65гг., составляет 29,8%, в 1966-75гг. – 13,9%, в 1976-86гг. – 5,5%. Жилая площадь панельных и блочных домов составляет 46.23%, кирпичных – 44.68%. В качестве основных материалов для объемных зданий использовался керамзитобетон ($\rho=1000-1200 \text{ кг/м}^3$) и газобетон объемной массой $\rho = 600-700 \text{ кг/м}^3$. При формировании основной части жилищного фонда Санкт-Петербурга (1950-1985 гг.), невысокие теплозащитные свойства ограждающих конструкций компенсировались низкой стоимостью энергоресурсов (термические сопротивления R практически не превышали $1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$).

Зарубежный и отечественный опыт по повышению теплозащиты зданий позволяет сформулировать основные направления по уменьшению энергозатрат на обогрев зданий. Так как основные трансмиссионные потери тепла осуществляются через наружные стены, то, прежде всего, необходимо увеличить теплозащиту ограждающих конструкций (ОК). В настоящее время, согласно существующим стандартам [1,2] термические сопротивления R ОК должны быть не менее 2,5-3,1 $\text{м}^2\text{К/Вт}$. Для жилых зданий термическое сопротивление ограждающих конструкций в Санкт-Петербурге должно быть не менее 3,1 $\text{м}^2\text{К/Вт}$. Таким образом, для снижения энергопотребления необходимо повышение теплозащиты ОК.

Повышение теплозащитных свойств ОК заключается в увеличении сопротивления теплопередаче до значений, определяемых действующими нормами. Это достигается утеплением теплоизоляционными материалами внутренних и наружных поверхностей стеновых ограждающих конструкций, в некоторых случаях утепление производится с обеих сторон стены одновременно. В среднем толщина утеплителя не зависит от расположения утепляющего слоя, и для основных серий жилых домов С-Петербурга должна составить 10 – 12 см (табл. 1).

Таблица 1

Серия жилых домов	Термическое сопротивление, $R_0, \text{ м}^2\text{К/Вт}$	Толщина утеплителя, мм (при $\lambda=0,05 \text{ Вт/ м}^2\text{К}$)
137	0,951	110
600, ГИ	1,081	100
528 (толщ. 550мм)	0,837	120

Наиболее приемлемый вариант утепления наружных ОК выбирается на основе сравнительного анализа возможных способов их устройства с учетом их достоинств и недостатков, а также оценки экономической целесообразности. Например, согласно [1] нормативный срок окупаемости энергосберегающих мероприятий составляет 12.5 лет.

Результаты расчета ограждающих конструкций показывают, что для всех конструкций стен при нормативных параметрах микроклимата в помещениях при внутреннем утеплении необходима пароизоляция. Зона возможной конденсации распространяется на утеплитель и основной слой конструкции. Кроме того, несущая (самонесущая) часть стены, хорошо аккумулирующая тепло,

Леонтьева Ю.Н. Тепловлажностный режим ограждающих конструкций при наружном и внутреннем утеплении

располагается в зоне отрицательных температур, что снижает тепловую инерцию ограждения.

При наружном утеплении хорошо аккумулирующие тепло слои конструкции расположены в зоне положительных температур. Это повышает теплозащитные свойства ОК при нестационарной теплопередаче: колебания температуры наружного воздуха сказываются на внутреннем климате не столь ощутимо, кратковременные притоки холодного воздуха не приводят сразу к охлаждению помещения. Зона возможной конденсации практически превращается в плоскость или отсутствует, т.е. конструкция остается сухой.

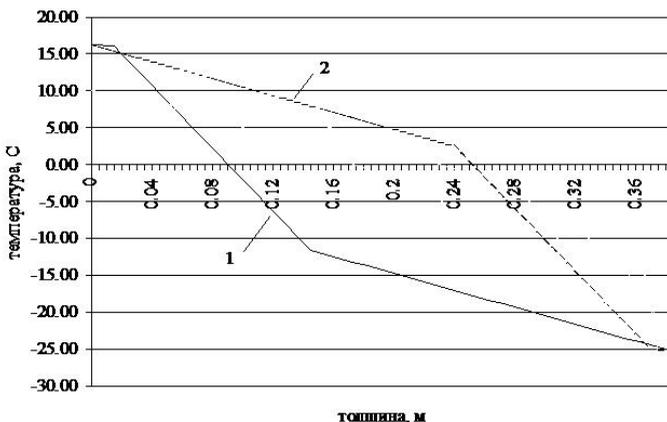


Рисунок 1. Распределение температуры при различных вариантах расположение утеплителя

- 1 – утепление с внутренней стороны ограждения
- 2 – утепление с наружной стороны ограждения

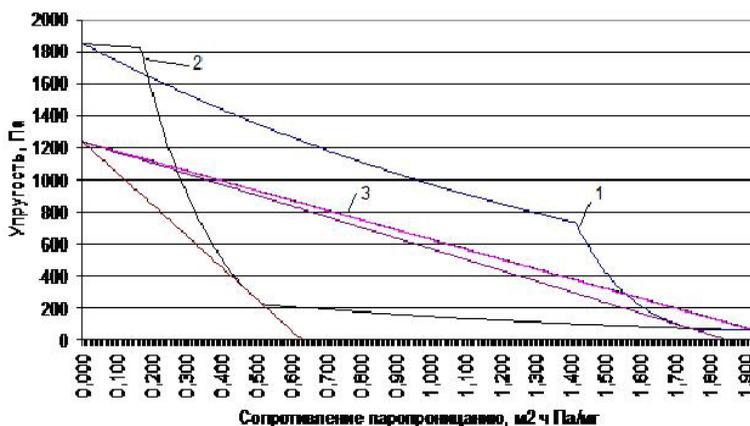


Рисунок 2. Распределение упругостей водяных паров при различных вариантах расположение утеплителя

- 1,2 – максимальная упругость (1 – утеплитель наружный, 2 – утеплитель внутренний),
- 3 – фактическая упругость

Леонтьева Ю.Н. Тепловлажностный режим ограждающих конструкций при наружном и внутреннем утеплении

На рис. 1 и 2 представлены распределения температуры и распределения упругостей водяных паров для стены 600 серии из газобетона толщиной 240 мм с наружным и внутренним утеплением.

Утепление внутренних поверхностей стеновых ограждающих конструкций производят креплением плитных или листовых теплоизоляционных материалов. Достоинства этого способа утепления:

- не требуется дополнительная защита теплоизоляционного материала от агрессивного воздействия внешней среды, как правило, не имеющего достаточной способности к сопротивлению этим воздействиям;
- производство работ может производиться в любое время года независимо от погодных условий;
- низкие затраты на подмости.

Недостатки расположения утеплителя со стороны помещения:

- уменьшение площади помещений;
- необходимость отселения жителей;
- в местах примыкания перегородок и опирания плит перекрытий требуется дополнительная теплозащита;
- обязательная пароизоляция утеплителя;
- утепление конструкции не исключает вредных воздействий на ограждение (не устраняет промерзание конструкции и протечки), требуется дополнительная герметизация стыков панелей и ремонт фасадов;
- дополнительные затраты на изменение облика фасада здания;
- повышение затрат за счет замены или переноса отопительных приборов и стояков отопления.

Утепление наружных поверхностей стеновых ограждающих конструкций осуществляют в настоящее время, как правило, путем крепления плитных теплоизоляционных материалов или напылением (набрызгом) утепляющих составов из эффективных утеплителей (полимерных пенопластов).

Расположение теплоизоляционных слоев с наружной стороны стены обладает существенными достоинствами:

- создание сплошной изоляции без «мостиков холода»;
- отсутствие специальных пароизоляционных слоев;
- одновременный ремонт фасадов и герметизация стыков панелей;
- возможность изменения архитектурного облика;
- не меняется внутренний объем помещений;
- не требуется отселения жильцов;
- технологичность.

Недостатки этого способа утепления:

- необходимость защиты утепляющих слоев от внешних воздействий окружающей среды и антивандальная защита;
- высокие затраты на подмости (применение лесов, подвесных и телескопических подмостей).

Анализ известных методов теплоизоляции наружных стеновых ограждающих конструкций при строительстве, реконструкции и ремонте зданий позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным и технологичным методом повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций является метод

Леонтьева Ю.Н. Тепловлажностный режим ограждающих конструкций при наружном и внутреннем утеплении

механизированного нанесения на их наружные поверхности современных эффективных полимерных материалов — напыляемых пенопластов, обладающих высокими теплоизоляционными характеристиками, стабильностью физико-механических свойств, долговечностью, атмосферостойкостью. Впервые такой метод был экспериментально опробован в Москве в 1982 г.

Результаты натурных обследований [4] показали, что теплоизоляция наружных стен, выполненная без учета состояния конструкции ограждения, здания в целом, инженерных сетей, учета «слабых мест» здания и условий его эксплуатации может быть малоэффективной и даже ухудшить микроклимат помещения.

Список литературы

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, 2004, 26с.
2. СП 23-101-2000. Проектирование тепловой защиты зданий. М.: Госстрой России, 2004, 96с.
3. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Справочное пособие. Под редакцией М.Д. Бойко.-М.: Стройиздат.-1993.-208 с.
4. Калинина Л.С. Протасевич А.М. Некоторые результаты натурального обследования жилых зданий с теплоизолированными фасадами / Сб. док. 5-ая научно-практическая конференция 26-28 апреля 2000.-С.143 – 147.

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

О.И. Лобов, д.т.н., председатель Президиума Правления РОИС

А.И. Ананьев, д.т.н., академик ВИА, директор научного центра РОИС, главный научный сотрудник НИИСФ РААСН

В.П. Абарыков, начальник научно-технического управления Минмосoblстроя

А.Е. Синютин, к.т.н., генеральный директор «Главтвeрьстрой», председатель Тверского отделения РОИС

Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

Для обеспечения тепловой защиты жилых зданий применяются многослойные, трёхслойные и сплошные конструкции фасадных систем. Приведены основные положения проектирования фасадных систем зданий.

Во всех типах слоистых фасадных систем присутствуют металлические связи. Наличие стальных ($\lambda=58 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) и алюминиевых ($\lambda=221 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) связей с теплопроводностью, которая в 1450 и 5500 раз превышает теплопроводность теплоизоляционных материалов, приводит к значительному изменению теплотехнической однородности, снижению теплозащитных качеств, ухудшению влажностного режима стен и концентрации напряжения в узлах фасадной системы.

Влияние коэффициента теплотехнической однородности γ на теплозащитные качества стеновых систем учитывается введением в формулу для расчёта приведённого сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$ в качестве поправочного коэффициента k условному сопротивлению теплопередаче ($R_0^{\text{усп}}$, замеренному (рассчитанному) в участках стен, не содержащих теплопроводные включения, т.е. $R_0^{\text{пр}} = \gamma \times R_0^{\text{усп}}$. Значение γ определяется расчётом трёхмерного температурного поля (рис. 1).

Коэффициент γ является переменной величиной, снижающейся при повышении R_0 стены в результате усиливающегося теплового потока через теплопроводные включения, обусловленного применением более теплоэффективного теплоизоляционного материала [1].

Это значит, что не всегда целесообразно располагать высокоэффективные материалы вокруг стальных и алюминиевых связей без устройства промежуточного слоя. Значение γ фасадной системы в целом зависит от наличия эркеров, лоджий, оконных откосов и влияния ряда других конструктивных

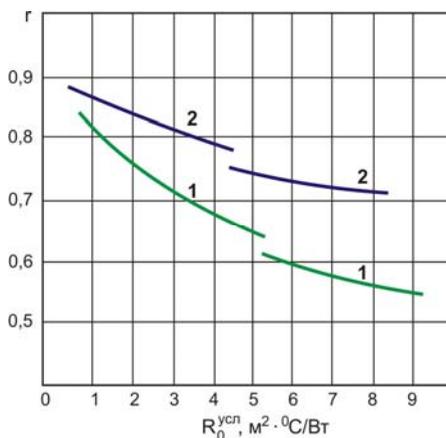


Рисунок 1. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности в трехслойной железобетонной панели от условного сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{усп}}$: 1 – с пенополистирольными плитами $\lambda=0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$; 2 – с минераловатными плитами с $\lambda=0,08 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

элементов. Поэтому для получения достоверных данных о R_0^{np} фасадных систем расчёты необходимо выполнять для каждого проектного решения.

Для приведения теплотерь фасадных систем с металлическими связями в соответствие с однородными без теплопроводных включений с тем же требуемым уровнем теплоизоляции ($R_0^{np}=3,2-5,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$) необходимо увеличивать толщину теплоизоляционного слоя (таблица 1). Толщина наружных панелей фасадных систем будет составлять для г. Тверь и Московской области, соответственно, 345 и 480 мм, а для г. Якутска – 535 и 700 мм [2].

Таблица 1. Зависимость толщины утеплителя от условий теплоизоляции

Градусосутки отопительного периода (ГСОП), название города	Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче из условий энергосбережения R_0^{np} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	Требуемая толщина утеплителя в панели δ , мм. В числителе при $\lambda=0,042 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, в знаменателе при $\lambda=0,08 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$	
		Без теплопроводных включений $r=1$	С влиянием теплопроводных включений $r=var$
5000 – г. Тверь, Москва, Московская обл.	3,20	$\frac{125}{240}$	$\frac{180}{315}$
7200 – г. Ханты-Мансийск, г. Енисейск, Улан-Удэ	3,92	$\frac{155}{300}$	$\frac{260}{400}$
9000 – г. Ленск, г. Уренгой	4,55	$\frac{180}{345}$	$\frac{310}{480}$
10400 – г. Якутск	5,04	$\frac{200}{380}$	$\frac{370}{550}$

Решение проблемы энергосбережения за счёт увеличения толщины утеплителя вступает в противоречие с долговечностью стен. Поэтому до принятия окончательного решения необходимо на стадии проектирования оценить роль уровня теплоизоляции различных вариантов конструкций наружных стен в энергетическом балансе здания. Приведённые на рис. 2 результаты исследований энергетического баланса жилого 9-этажного здания с естественной вентиляцией показывают, что увеличение R_0^{np} наружных стен фасадных систем в г. Тверь и Московской области сверх требуемого по санитарно-гигиеническим условиям, например до $2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, приводит к снижению энергозатрат на отопление на 17%. Увеличение R_0^{np} до $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, т.е. ещё на $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ приводит к экономии тепла на отопление дополнительно на 8,6%.

В г. Якутске увеличение R_0^{np} стен до $2,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – сверх требуемого по санитарно-гигиеническим условиям ($1,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$) сокращает теплотери здания на 12%, до $3,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – на 4,6%, ещё на $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – на 3,9% (рис. 2).

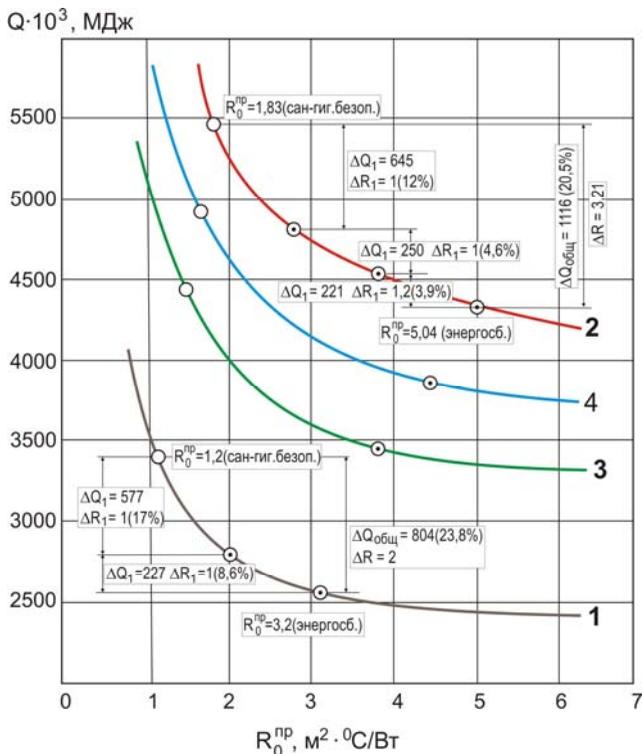


Рисунок 2. Снижение теплотерь жилого 9-этажного дома при увеличении теплозащитных качеств наружных стен: о – значение R_0^{pp} наружных стен из условий обеспечения санитарно-гигиенической безопасности; о – значение R_0^{pp} наружных стен из условий энергосбережения; 1 – г. Тверь (ГСОП = 5014); 3 – г. Ханты-Мансийск (ГСОП = 7200); 2 – г. Якутск (ГСОП = 10394); 4 – г. Ленск, г. Уренгой (ГСОП = 9000)

Более целесообразно решать проблему энергосбережения при эксплуатации зданий с естественной вентиляцией за счёт снижения энергозатрат на подогрев вентилируемого воздуха [3]. Энергозатраты на компенсацию теплотерь через стены составляют 38,2% в энергетическом балансе здания, на подогрев вентилируемого воздуха – 38,5%. Увеличение R_0^{pp} стен до 3,2 м² · °С/Вт приводит к перераспределению этих составляющих соответственно до 19 и 50%. В северных регионах страны (г. Якутск) увеличение R_0^{pp} до нормативного значения 5,04 м² · °С/Вт приводит к перераспределению энергозатрат соответственно до 14,7 и 58,5% (рис. 3).

Значительно снизить расходы энергии на подогрев вентилируемого воздуха можно в результате устройства механической или комбинированной вентиляции с установкой рекуператоров и герметичных окон. Выполнение этих мероприятий для климатических регионов страны с расчётной температурой наиболее холодной пятидневки ниже –30°С уже в настоящее время следует считать обязательным. Это приведёт к снижению общих теплотерь зданий, повысит роль наружных стен в энергетическом балансе до 40% и увеличит

целесообразность применения наружных стен с повышенным уровнем теплоизоляции. При этом необходимо иметь в виду, что при увеличенной толщине утеплителя в стенах существенно возрастают усадочные и температурно-влажностные деформации, что приводит к образованию трещин, разрывам контактных зон с конструкционными материалами. Но самое главное в том, что повышается объём влаги в стене и узлах сопряжений. В северных регионах страны, где лето холодное и короткое, стены и узлы сопряжений, насыщенные металлом, не успевают войти в квазистационарное влажностное состояние в годовом цикле эксплуатации. Систематическое накопление влаги приводит к ускоренному морозному разрушению, снижению срока службы и частым капитальным ремонтам наружных стен фасадных систем.

$Q \cdot 10^3$, МДж

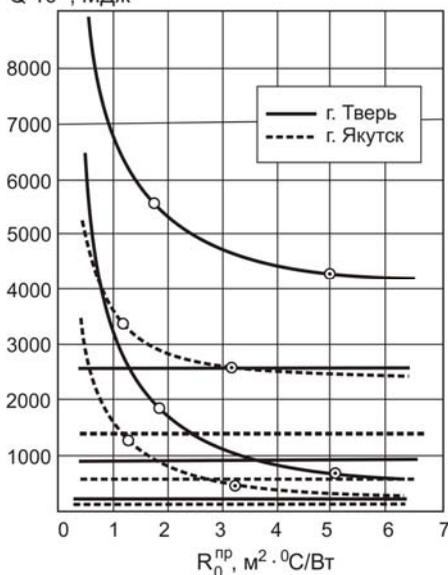


Рисунок 3. Теплопотери 9-этажных домов в Твери и Якутске в зависимости от приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен (R_0^{np}): о – значение R_0^{np} наружных стен из условий обеспечения санитарно-гигиенических безопасности; o – значение R_0^{np} наружных стен из условий энергосбережения; 1 – общие теплопотери; 2 – теплопотери через наружные стены; 3 – теплопотери на вентиляцию помещений; 4 – теплопотери через окна; 5 – теплопотери через перекрытия верхнего и 1-го этажей.

обеспечиваться изменением требований к физическим свойствам материалов. Например, требования к морозостойкости лицевого керамического кирпича в СНиП 22-81*[6] остались прежними, отвечающими уровню теплоизоляции стен,

В фасадных системах в связи с повышением уровня теплоизоляции стен изменяется также и температурный режим. На рис. 4 показана зависимость средней температуры облицовочного кирпичного слоя фасадной системы с вентилируемой воздушной прослойкой и без неё от повышения сопротивления теплопередаче стены от 1,2 до 4,2 $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ при заморозках и оттепелях в зимне-весенний интервал года.

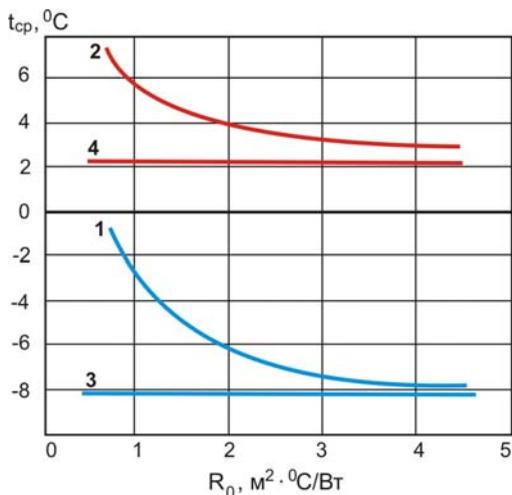
В стенах с $R_0 = 1,2 m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ при заморозках облицовочный кирпичный слой в Москве промерзает до $-2,7^\circ C$, с $R_0 = 2,2 m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ до $-6,8^\circ C$ и при $R_0 = 3,2 m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ до $-7,5^\circ C$. Значит, чем выше уровень теплоизоляции наружных стен фасадной системы, тем больше образуется льда в порах материалов облицовочного слоя и тем быстрее он разрушается. Чем тоньше облицовочный слой, например штукатурный, тем большому количеству циклов перехода наружной температуры через $0^\circ C$ он подвержен в осенне-зимний и зимне-весенний периоды [4, 5].

Происшедшее качественное изменение физических процессов в наружных ограждающих конструкциях в связи с повышением требований к уровню теплоизоляции должно

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

действовавшему до 1995 г. Это относится и ко многим другим материалам и физическим характеристикам.

Рисунок 4. Зависимость средней температуры облицовочного слоя (t_{cp}) из керамического лицевого кирпича от повышения сопротивления теплопередаче стены ($R_{0пр}$): 1 – при заморозках ($t_{в}=20^{\circ}\text{C}$, $t_{н.ср.}=-4,7^{\circ}\text{C}$), $t_{н.з.}=-9,1^{\circ}\text{C}$, $P_3=5,4$ сут., $A_{тн.з.}=4,4^{\circ}\text{C}$; 2 – при оттепели ($t_{в}=20^{\circ}\text{C}$, $t_{н.ср.}=-4,7^{\circ}\text{C}$), $t_{н.о.}=2,3^{\circ}\text{C}$, $P_3=7,6$ сут., $A_{тн.з.}=4,4^{\circ}\text{C}$; 3 – при заморозках облицовочного слоя с вентилируемой воздушной прослойкой; 4 – то же при оттепели



Отсутствие комплексного подхода к решению проблемы энергосбережения и привлечение профессионально неподготовленных рабочих для возведения стен с новыми конструктивными решениями привели к преждевременным разрушениям облицовочных слоёв, а некоторых случаях и к аварийному состоянию [7]. Ускорению процесса разрушения способствуют физические процессы, обусловленные различием конструктивных решений фасадных систем зданий. Поэтому каждое конструктивное решение необходимо оценивать с учетом не только его вклада в экономию тепла на отопление, но и обеспечения долговечности, обуславливающей затраты на текущие и капитальные ремонты.

Например, наиболее рациональными конструкциями для тепловой защиты зданий являются многослойные фасадные системы с металлическими дюбелями, с тонким штукатурным слоем, нанесённым мокрым способом. При соответствующем им коэффициенте теплотехнической однородности $\gamma=0,9$ достигается наибольший уровень теплоизоляции. Но такие фасады имеют наиболее низкую долговечность. Основным физическим фактором, влияющим на снижение долговечности, является расположение плоскости максимального увлажнения на границе утеплителя с наружным штукатурным слоем.

В течение годового цикла эксплуатации в фасадной системе не происходит накопления влаги. Влага, накопившаяся за отопительный период, полностью удаляется в весенне-летний период. Поэтому считается, что по влажностному режиму фасадная система удовлетворяет требованиям СНиП 23-02-2003 [8]. Но определяющим фактором в долговечности облицовочного слоя является его влажностное состояние в осенне-зимний и зимне-весенний интервалы года, в течение которого происходит наибольшее количество переходов температуры наружного воздуха через 0°C . Увлажнённый штукатурный слой, имеющий низкое значение термического сопротивления и тепловой инерции, промерзает даже при суточных похолоданиях.

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

Количество циклов замораживания-оттаивания штукатурного слоя, нанесённого на теплоизоляционный слой, значительно превышает количество тех же циклов слоя штукатурки, нанесенного, например, на кирпичные или блочные стены. Поэтому на 5–7 году эксплуатации в штукатурном слое появляются трещины, что приводит к необходимости проведения ремонтных работ.

Наиболее слабым элементом в многослойной фасадной системе является наружный отделочный (штукатурный) слой. Имеющиеся в нашей стране нормативные данные по сроку службы штукатурных слоёв относятся к слоям, нанесенным непосредственно на кирпичные стены. В другом варианте – к слоям, нанесенным по закреплённой металлической сетке. В обоих случаях обеспечивается надёжное сцепление с кирпичной стеной. Безремонтный срок эксплуатации в этих случаях – 30 лет [10]. В многослойных фасадных системах штукатурный слой, нанесённый по стекловолоконной или металлической сетке, если даже прикрепляется к утеплителю с соблюдением ТУ, уже через 5–7 лет требует проведения ремонтных работ. С применением некачественных материалов и нарушением технологического регламента безремонтный срок эксплуатации сокращается до 2–4 лет.

Многослойные фасадные системы нашли широкое применение в ряде европейских стран (Великобритании, Германии, Дании, Италии, Нидерландах, Португалии, Финляндии, Франции). В «Основных положениях для применения внешней теплоизоляции сложных систем со штукатуркой по европейскому опыту» установлен срок эксплуатации данных систем в климатических условиях этих стран не менее 25 лет. [9]. Отмечается, что должны строго выполняться технические условия на производство работ и требования правил технической эксплуатации. Через каждые 6–7 лет следует выполнять расшивку и шпатлёвку появившихся трещин и заново окрашивать фасад. Поэтому, если фасадные системы с наружным штукатурным слоем, выполненные в климатических условиях России, часто с нарушением технических условий, придётся через 25–30 лет капитально ремонтировать, к этому следует отнести как закономерному явлению.

В целях повышения долговечности многослойных фасадных систем облицовочный слой стали выполнять из лицевого пустотелого керамического кирпича с опиранием непосредственно на край монолитного железобетонного перекрытия или на металлические уголки, прикреплённые к перекрытию. Прочность и устойчивость облицовочного слоя обеспечивается металлическими связями с конструктивной частью фасадной системы.

Лицевой керамический кирпич в облицовочном слое многослойной стены поставлен в эксплуатационные условия, не соответствующие его области применения. Он предназначен для облицовки сплошных кирпичных стен. Посредством тычковых рядов облицовочный слой связывает несущую часть стены в единую монолитную систему кладки, которая обеспечивает равномерное распределение температуры и влаги во всей стене. В таких стенах безремонтный срок службы облицовочного слоя из лицевого керамического кирпича составляет 50–80 лет, а в некоторых зданиях и более 100 лет.

В многослойных фасадных системах облицовочный слой отделён плитным утеплителем от конструктивной части стены, что ухудшает его температурный режим и повышает число циклов замораживания и оттаивания. Пар, диффундирующий из помещения, встречая на пути низкое сопротивление

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

паропроницанию утеплителя из минераловатных плит, перемещается к более холодному облицовочному кирпичному слою и конденсируется на нём. Поглощённая кирпичами влага, при заморозках переходя в твёрдое состояние (лёд), разрушает кирпич [11]. Аналогичны причины разрушения и лицевых кирпичей, расположенных на металлических уголках, на которых при резком наступлении потепления после мороза образуется иней. Представляет большие проблемы обеспечение надёжного соединения облицовочного слоя, удалённого на 150–250 мм от основной части стены, т.е. за мягким утеплителем, гибкими металлическими связями.

В усложнённых температурно-влажностных условиях слоистых фасадных систем применение лицевого пустотелого керамического кирпича с маркой по морозостойкости F35 [6] не может обеспечить безремонтный срок службы, равный 30–50 годам [10]. Для установления требуемой марки по морозостойкости лицевого кирпича для облицовочного слоя слоистых фасадных систем были обобщены результаты натурных исследований долговечности облицовочных слоёв наружных стен зданий, эксплуатируемых более 50 лет, а также определено количество циклов замораживания-оттаивания, которым они подвергались за этот период. Согласно разработанной программе спрогнозированы требуемые значения марки по морозостойкости и других физических параметров лицевого керамического кирпича для слоистых фасадных систем, обеспечивающих требуемую продолжительность эксплуатации до первого капитального ремонта и срок службы в целом. Для обеспечения безремонтного срока службы облицовочного слоя не менее 50 лет следует применять полнотелый или пустотелый керамический кирпич с маркой по морозостойкости F50–F75.

Особые эксплуатационные условия в облицовочном слое слоистых фасадных систем складываются при наличии вентилируемой воздушной прослойки. Они обусловлены двусторонним контактом с наружным воздухом, что приводит к повышенному влагосодержанию кладочного раствора и кирпича в пасмурную погоду и при дожде. Влажность кирпича может достигать значения, близкого к максимальному водопоглощению. Лицевой керамический кирпич разрушается при заморозках и оттепелях с обеих сторон. Поэтому предлагается облицовочный слой при наличии вентилируемой воздушной прослойки выполнять только из полнотелого кирпича с маркой по морозостойкости F100, независимо от уровня теплоизоляции фасадной системы.

В сложившихся условиях в строительстве, когда для выполнения работ повышенной ответственности используются профессионально неподготовленные рабочие, слоистые фасадные системы с облицовочным слоем из мелкоштучных элементов могут представлять большую опасность для людей, находящихся около здания. Вероятность их разрушения и падения во много раз выше аварийных случаев, происходящих с облицовочными панелями или блоками. Для повышения надёжности фасадных систем и обеспечения лучшей вентиляции воздушной прослойки в многоэтажных зданиях следует применять более крупные облицовочные элементы, например, виброкирпичные панели, плиты из керамогранита, природных каменных материалов, оцинкованной стали, алюминия, сэндвич-панели и цементно-волокнистые плиты (ЦВП).

Для крепления крупноформатных облицовочных элементов используется металлическая подконструкция, она состоит из кронштейнов, соединённых с конструктивной частью стены, и направляющих. Наиболее ответственными элементами в подконструкции являются кронштейны. От качества крепления

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

кронштейнов к стене зависит надёжность фасадной системы. Учитывая высокую теплопроводность металлических кронштейнов по сравнению с кирпичной и бетонной стеной, обычно между ними устанавливают теплоизолирующие прокладки. С одной стороны, это способствует снижению теплового потока через них и улучшению температурного режима конструктивной части стены. С другой стороны, в результате снижения температуры кронштейнов существенно ухудшается теплотехническая однородность слоя из плитного утеплителя и, соответственно, системы в целом.

Требуемое количество кронштейнов определяется из условия массы квадратного метра облицовочного элемента и толщины воздушной прослойки. От их числа в основном зависит значение коэффициента теплотехнической однородности вентилируемой фасадной системы (γ). Так, железобетонная или кирпичная стена ($\delta=20-25$ см) с плитным эффективным утеплителем, с воздушной прослойкой и облицовочным слоем, масса 1 м^2 которого составляет не более 20 кг, и подконструкцией, прикреплённой к стене двумя стальными кронштейнами, имеет значение $\gamma=0,85$. Если кронштейны выполнены из алюминия при тех же одинаковых условиях, $\gamma=0,70$. Увеличение массы облицовочного слоя до 30 кг и количества кронштейнов до 3 штук приводит к снижению γ соответственно до 0,8 и 0,6. Увеличение массы облицовочного слоя выше 30 кг/м^2 и количества кронштейнов более 4 приводит к снижению коэффициента γ (от 0,55 до 0,30) [12].

Учитывая тот факт, что конструктивное решение металлических подконструкций в большинстве случаев обеспечивает замену облицовочных элементов, определяющей характеристикой в долговечности таких фасадных систем следует считать долговечность самих подконструкций. В преобладающем объёме используются кронштейны и направляющие из оцинкованной стали, реже – из алюминиевых сплавов. Из нержавеющей стали подконструкции в жилищном строительстве применяются в редких случаях. Учитывая большой разброс в толщинах кронштейнов и направляющих подконструкций, можно сделать вывод, что они принимаются без достаточного научного обоснования. Алюминиевые кронштейны принимаются толщиной от 3 до 8 мм, направляющие – от 1,5 до 4 мм. Стальные, соответственно, от 1,5 до 3 мм, направляющие – от 1,2 до 2 мм. [13]. Уменьшение толщины металлических элементов в результате коррозии даже на 30% может привести к полной потере несущей способности и явиться причиной аварийного состояния фасадной системы.

Подконструкции фасадных систем эксплуатируются в более влажной и, самое главное, в закрытой среде по сравнению с обычными металлоконструкциями. Помимо воздействия воздушной среды, содержащей азот, углекислый газ, аммиак, сероводород, различные аэрозоли, газообразные оксиды азота и серы, они периодически увлажняются конденсационной влагой. В отличие от металлических конструкций, находящихся на открытом воздухе, кронштейны и направляющие более длительное время находятся в увлажнённом состоянии. При наличии в воде углекислого газа, аммиака, солей срок службы цинковых покрытий на стали не превышает 8 лет. После этого усиливается процесс электрохимической коррозии и ускоряется процесс разрушения стальной подконструкции.

Этот процесс хорошо просматривается при эксплуатации кровель из оцинкованной стали. В первую очередь, цинковое покрытие разрушается в местах, где более длительное время не высыхает вода и содержится дисперсные

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

твёрдые частицы. Такими местами являются горизонтальные и вертикальные фальцы. После разрушения цинкового покрытия процесс коррозии ускоряется, и на одиннадцатом году эксплуатации в регионах со слабоагрессивной средой в этих местах появляются сквозные щели и отверстия, приводящие к протечкам и необходимости проведения капитального ремонта кровли. Цинковое покрытие на открытых участках кровельных листов находится в хорошем состоянии, что позволяет при соответствующей обрезке краёв повторно эксплуатировать эти кровельные листы. В регионах с нормальными условиями эксплуатации этот процесс происходит более медленно. Необходимость проведения капитального ремонта сдвигается с 10 до 15 лет.

Повысить безремонтный срок службы стальных подконструкций на 6–10 лет можно нанесением на оцинкованные кронштейны и направляющие лакокрасочного покрытия. Использование для этих целей полимерных защитных покрытий продлит этот срок ещё на 3–5 лет. Необходимо сделать всё, чтобы безремонтный срок стальных подконструкций составлял 40–50 лет или, в крайнем случае, не менее чем безремонтный срок службы применённого плитного утеплителя. Более надёжным способом для этого следует считать увеличение толщины металлических элементов до рациональных величин. Алюминиевые подконструкции, особенно анодированные, более устойчивы к агрессивной среде. Тем не менее, на них тоже следует наносить лакокрасочное или полимерное покрытие.

Фасадные системы из трёхслойных стеновых панелей с полужёсткими и жёсткими минераловатными плитами и из плит беспрессового пенополистирола в нашей стране стали применять начиная с 1970–1972 гг. Масса 1 м² панели составляет 450–500 кг. Наружный армированный бетонный слой толщиной 50–60 мм, облицованный керамической плиткой, надёжно защищает утеплитель от атмосферных воздействий. Внутренний несущий железобетонный слой, вместе с отделочным слоем имеет сопротивление паропроницанию не ниже 1,6 м²·ч·Па/мг, что существенно превышает аналогичный параметр наружного слоя панели. Поэтому за годовой цикл эксплуатации не происходит накопления влаги. Влага, накопившаяся за отопительный период, полностью удаляется в течение весенне-летнего сезона.

В результате обеспечения рациональной паропроницаемости и тепловой инерции наружного бетонного облицовочного слоя трёхслойная панель устойчива к температурно-влажностным воздействиям в осенне-зимний и зимне-весенний интервалы года. Это на протяжении почти 40 лет обеспечивает удовлетворительное состояние утеплителя. Результаты проведённых натурных обследований показывают, что заложенный в трёхслойных стеновых панелях ресурс обеспечит им безремонтный срок службы не менее 50 лет [10].

На основании экспертной оценки имеющейся базы данных по долговечности трёхслойных железобетонных панелей есть основания для прогнозирования пятидесятилетнего безремонтного срока эксплуатации и современных трёхслойных панелей с повышенным уровнем теплоизоляции и толщиной теплоизоляционных плит не более 200 мм.

Современные фасадные системы из трёхслойных панелей, созданные на базе накопленного многолетнего опыта крупнопанельного домостроения, содержат объёмные элементы ограждений, эркеров, лоджий и других частей зданий, изготавливаемых на ДСК. Благодаря этому архитектура современных панельных зданий намного выразительнее по сравнению с безликими плоскими

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

панельными строениями прошлых лет. Надёжность и долговечность современных фасадных систем зданий из трёхслойных элементов обеспечивает безопасные санитарно-гигиенические условия для проживания и окружающей среды.

При проектировании тепловой защиты фасадных систем с эффективными утеплителями коэффициенты теплопроводности λ , определенные по ГОСТ 7076 [14], для минераловатных и пенополистирольных плит следует увеличивать для применяемых в вентилируемых конструкциях на 20%, а в невентилируемых – на 30%. Необходимость повышения λ вызвана тем, что начиная с 1995 г. их расчетные значения стали принимать по результатам лабораторных испытаний на образцах размером 250×250×50 мм при температуре 25°C без учета влияния замерзшей влаги, фильтрации воздуха и качества работ при возведении стен и изготовлении панелей. Поэтому они стали в лучшую сторону отличаться от значений λ , полученных для аналогичных утеплителей по ГОСТ 26254 [15] в натуральных условиях в панелях стен при отрицательной температуре наружного воздуха равной –20°C, т.е. в условиях, соответствующих фактическим теплопотерям в зимнее время [16]. Тем более, что другие теплоизоляционные материалы, например из ячеистого бетона, легкого керамзитобетона, пористой керамики и т.п., на основании требований ГОСТ 26254 определяют в натуральных условиях эксплуатации стен или в климатической камере на крупноразмерном фрагменте, в приближенных к натурным температурно-влажностном и воздушном режимах.

Сплошные фасадные системы из конструкционно-теплоизоляционных материалов стали более широко применять после освоения отечественной промышленностью, например ОАО «Победа ЛСР», пустотелых крупноформатных камней из пористой керамики плотностью 750–800 кг/м³. Камни 1,4 НФ; 10,7 НФ и 4,5 НФ размером 510×250×219 мм, 380×250×219 мм, 250×250×140 мм имеют марку по прочности М75, М100, лицевые кирпичи – марку по морозостойкости F50, F75, F100, по прочности М125–М250 [17].

Фасадная система, возведенная из крупноформатных керамических камней с облицовочным слоем из лицевого керамического кирпича, соединенного с основной частью стены тычковыми рядами, представляет совместно с растворными швами единую сплошную систему, расход раствора на возведение 1 м³ кладки не превышает 0,1 м³. Масса 1 м² стены составляет от 400 до 700 кг. Соединение облицовочного слоя со стеной осуществляется также гибкими металлическими связями с тщательным заполнением кладочным раствором образующегося воздушного зазора. Коэффициент теплотехнической однородности таких кирпичных систем составляет 0,98–0,95. При толщине стены в два с половиной кирпича (640 мм) значение коэффициента теплопроводности составляет: $\lambda_0=0,14–0,15$, $\lambda_A=0,19–0,21$, $\lambda_B=0,21–0,23$ Вт/м·°С. Этим обеспечивается приведенное сопротивление теплопередаче стены (R_0^{np}) в условиях эксплуатации Б, равное от 2,4 до 3,2 м²·°С/Вт.

Мелкие поризованные керамические камни 2,1 НФ и 1,8 НФ размером соответственно 250×140×120 мм и 250×120×88 мм имеют несколько большую плотность – от 800 до 1200 кг/м³. Марка по морозостойкости F75, по прочности М125–М175. Масса 1 м² стены толщиной 640 мм вместе с облицовочным слоем из пустотелого лицевого кирпича составляет 700–800 кг. Теплопроводность

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

кирпичной кладки в условиях эксплуатации Б составляет 0,35–0,48 Вт/м·°С. Сопротивление теплопередаче стены толщиной 640 мм $R_{0,нр}^{нр} = 1,5–2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

В целях повышения долговечности и прочности стен из крупноформатных камней кладку ведут в сочетании с 2,1 НФ и 1,8 НФ и одинарным пустотелым кирпичом. Приведенное сопротивление теплопередаче таких комбинированных стен толщиной 640 мм составляет 2,0 – 2,7 м²·°С/Вт. Масса 1 м² стены находится в пределах 450–770 кг.

Таблица 2. Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{0,нр}^{нр}$ фасадных систем из условий энергосбережения и долговечности

Продолжительность эксплуатации фасадных систем до первого капитального ремонта (в годах) из таблицы 16 СТО 00044807-001-2006, лет	Расчетная температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92t _н , °С					
	-10	-20	-25	-30	-40	-50
	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче фасадных систем $R_{0,нр}^{нр}$					
80; 75; 70	0,74	0,99	1,11	1,24	1,48	1,73
65	0,88	1,18	1,32	1,48	1,75	2,05
60	0,95	1,27	1,42	1,60	1,89	2,21
55	1,00	1,33	1,50	1,73	2,00	2,32
50	1,05	1,40	1,57	1,79	2,10	2,44
45	1,15	1,53	1,72	1,93	2,30	2,68
40	1,20	1,60	1,80	2,00	2,40	2,80
35 и менее	1,40	1,80	2,00	2,20	2,60	3,00

Крупноформатные и мелкие пустотелые камни из пористой керамики применяют для возведения сплошных фасадных систем многоэтажных зданий из монолитного железобетона, каркасных металлических и сборных железобетонных, блочных и кирпичных зданий средней этажности, а также в малоэтажном индивидуальном строительстве.

Такой широкий диапазон востребованности керамических стеновых материалов в жилищном строительстве объясняется высокой экологичностью. Глины, из которых изготавливают керамические стеновые материалы, не подвергаются загрязнению в результате миграции влаги. При обжиге случайно попавшие в глину вещества преобразуются в безвредные материалы.

Керамический кирпич и поризованные камни – единственный стеновой материал, который после изготовления находится в абсолютно сухом состоянии. Благодаря заложенным при обжиге свойствам керамических материалов фасадные системы имеют влажность зимой, в период максимального накопления в условиях эксплуатации Б, не превышающую 1,4%. Пониженное влагосодержание стен при увеличенной марке морозостойкости лицевого кирпича до F 50–F 75 продлевает на 30 лет безремонтный срок службы сплошных фасадных систем по сравнению с возведенными из обыкновенного керамического кирпича стенами.

По сравнению со сроком службы слоистых фасадных систем безремонтный срок эксплуатации сплошных систем из керамических материалов выше в несколько раз.

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

В соответствии с законом «О техническом регулировании» в целях обеспечения безопасности проживания, отдыха и работы граждан в помещениях целесообразно использовать при проектировании двухуровневый принцип нормирования теплозащитных качеств фасадных систем зданий.

1. По санитарно-гигиеническим условиям, не допускающим образования конденсата и плесени на внутренней поверхности фасадных систем, а также морозного разрушения в результате переувлажнения. Ниже этого уровня теплозащитные качества фасадных систем принимать запрещается.
2. Из условий энергосбережения и долговечности второй уровень устанавливается с целью экономии энергозатрат на отопление зданий и снижения расходов на капитальные ремонты фасадных систем (таблица 2). Превышать рациональный уровень теплозащитных качеств фасадных систем из условий энергосбережения и долговечности нецелесообразно из экономических условий. Но не запрещается в соответствии с законом «О техническом регулировании». Второй уровень со временем необходимо корректировать и приводить в соответствие с изменениями цен на энергоносители, стоимостью трудозатрат на строительные работы и социальными факторами.

Для сплошных фасадных систем из пористой керамики уровень теплоизоляции не ограничивается при условии применения стеновых материалов с маркой по морозостойкости не ниже F25, лицевых не ниже F50 при общей толщине стен, не превышающей 640 см. Теплозащитные качества сплошных фасадных систем из керамического кирпича и камня, в отличие от возведённых с применением мягких утеплителей, будут оставаться на постоянном уровне 100–150 лет. Это подтверждается опытом эксплуатации кирпичных зданий, возведённых ещё в дореволюционное время. Вложенные средства в их дополнительную теплоизоляцию в результате применения пористой керамики через 20–30 лет будут выглядеть незначимой суммой. За этот срок они окупятся и начнут приносить доход в виде сэкономленных энергетических ресурсов, цена на которые значительно возрастёт к тому времени.

Поэтому к повышенному расходу тепловой энергии при производстве долговечного керамического кирпича и крупноформатного камня нельзя относиться как к безвозмездно потерянным энергетическим затратам. Процесс обжига керамического кирпича и камня следует рассматривать как сохранение тепловой энергии для постепенного возвращения её при длительной безремонтной эксплуатации здания в большем количестве и по более высоким ценам в виде сэкономленного тепла на отопление и ремонты. Поэтому, из условий энергосбережения при возведении зданий, особенно капитальных, со сроком службы 100 и более лет, необходимо отдавать предпочтение долговечным керамическим обжиговым материалам.

Список литературы

1. Лобов О.И., Ананьев А.И., Кувшинов Ю.Я., Бегоулев С.А. и др. Взгляд на энергосбережение сквозь стены // Строительный эксперт: № 5(168). 2004.
2. Лобов О.И., Ананьев А.И., Кувшинов Ю.Я. Приведение нормирования теплозащитных качеств наружных стен зданий в соответствие с

Лобов О.И., Ананьев А.И., Абарыков В.П., Синютин А.Е. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий

- федеральным законом «О техническом регулировании» // Сб. докладов Международной научно-техн. конф. МГСУ, 2005.
3. Лобов О.И., Ананьев А.И., Вязовченко П.А., Синютин А.Е., Бобров Ю.Л., и др. В защиту отечественного строительства и промышленности строительных материалов // Строительный эксперт. № 10 (101), № 11 (102) 2001.
 4. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // Строительные материалы. № 4. 2008.
 5. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. № 8. 2008.
 6. СНиП П-22-81¹ Каменные и армокаменные конструкции. М., 2004 г.
 7. Адресный перечень жилых домов, возведенных с применением облегченной кирпичной кладки, фасады которых находятся в аварийном состоянии (всего 53 дома, г. Москва). Правительство Москвы ДЖКХ и Б., декабрь 2007 г.
 8. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М. 2003.
 9. Каталог систем наружной теплоизоляции «Бауколер». 1997.
 10. ВСН 58-88(р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования. М., 1990.
 11. Ананьев А.А. Повышение долговечности лицевого керамического кирпича и камня в наружных стенах зданий. Автореф. канд. дисс... М., 2007.
 12. Стандарт РОИС. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. М., 2006.
 13. Николаева И.Л., Гаврилов-Кремичев Н.Л. Подконструкции вентилируемых фасадов: алюминий или сталь? // Фасадные системы. № 3. 2007.
 14. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. М.: Госстрой РФ. 1999.
 15. ГОСТ 26254. Здания и сооружения. Метод определения теплопередаче ограждающих конструкций. М.: Госстрой СССР. 1984.
 16. Ананьев А.И. О нормативных требованиях, занижающих теплозащитные свойства и долговечность кирпичных стен зданий // Строительные материалы. № 2. 2007.
 17. Межгосударственный стандарт ГОСТ 530-2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М., 2007.

О долговечности окон

В работе [1] проблема долговечности рассматривалась с общетехнических, в том числе строительных позиций на основе положений ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», так как теория долговечности технических объектов представляет собой частный случай теории надежности [2].

Напомним основные понятия надежности по ГОСТ 27.002-89:

- надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от значения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств;
- безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки;
- долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;
- ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта;
- сохраняемость – свойство объекта сохранять заданные пределы значений параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Терминология по надежности, включая долговечность, распространяется на любые технические объекты. Материалы среди объектов не фигурируют, хотя бы оттого что, в общем случае, не обладают «ремонтпригодностью».

В работе [3] Г.П. Сахаров отмечает: «Сам по себе материал не является исполнителем роли, принадлежащей конечной продукции, сделанной из этого материала... Поэтому при выборе и разработке материалов с требуемыми свойствами упор следует делать не исключительно на материал, а скорее на область его применения и выявление некоторой «серой зоны», в которой происходит взаимоналожение свойств материала и конечной продукции на его основе».

Очень часто понятие «стойкости» материала к тем или иным воздействиям подменяется понятием «долговечности». Тем самым, методически неправильно объединяются в одно стойкость собственно материала (его образцов) в определенных стандартных условиях и долговечность конструкции, изготовленной с применением этого материала при внешних воздействиях на него [3], поскольку «исчерпание рабочего ресурса конструкций происходит вследствие естественного старения материалов, обусловленного происходящими

в них физико-химическими процессами и внешними воздействиями – механическим давлением и истиранием, атмосферным загрязнением и осадками, солнечной радиацией, микроорганизмами, изменением температуры и влажности окружающей среды» [4]. Таким образом, проблема долговечности, в конечном счете, заключается в изменчивости свойств материалов в конструкциях во времени при заданных режимах и условиях их эксплуатации [3]. Следовательно, «высокий уровень реализации исправного и работоспособного состояния конструкций зависит от качества исходных (сырьевых) материалов, соответствия составов и структуры изготавливаемых материалов служебным свойствам изделий и конструкций режимам и условиям их эксплуатации, налаженности и стабильности технологического процесса их изготовления, монтажа и технического обслуживания в период эксплуатации» [3].

Сложнее ситуация с долговечностью окон. ГОСТ 23166-99 «Блоки оконные. Общие технические условия» наряду с определениями понятий «окна» и «оконного блока» дал свое определение термина «долговечность».

Согласно ГОСТ 23166-99, см. приложение А:

- окно – это элемент стеновой или кровельной конструкции, предназначенный для сообщения внутренних помещений с окружающим пространством, естественного освещения помещений, их вентиляции, защиты от атмосферных, шумовых воздействий и состоящий из оконного проема с откосами, оконного блока, системы уплотнения монтажных швов¹, подоконной доски, деталей слива и облицовок;
- оконный блок – светопрозрачная конструкция, предназначенная для естественного освещения помещения, его вентиляции и защиты от атмосферных и шумовых воздействий;
- долговечность – характеристика (параметр) изделий, определяющая их способность сохранять эксплуатационные качества в течение заданного срока, подтвержденная результатами лабораторных испытаний и выражаемая в условных годах эксплуатации (срока службы).

Хотя в ГОСТ 23166-99 употребляется понятие «узла примыкания оконных блоков к стенам», но определение его отсутствует. Впервые оно расшифровывается в ГОСТ 30971-2002 «Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия» как «конструктивная система, обеспечивающая сопряжение стенового оконного проема (в том числе элементов наружного и внутреннего откосов) с коробкой оконного блока, включающая в себя монтажный шов, подоконную доску, слив, а также облицовочные и крепежные детали».

В работе [5] авторы, обосновывая применение в ГОСТ 23166-99 и связанных с ним других оконных документах термина «долговечность» с отличной от ГОСТ 27.002-89 формулировкой, ссылаются на его п. 2.2:

«Приведенные определения можно при необходимости изменять, вводя в них производные признаки, раскрывая значения используемых в них терминов, указывая объекты, входящие в объем определяемого понятия. Изменения не должны нарушать объем и содержание понятий, определенных в данном стандарте».

¹ Вернее сказать «заполнения монтажных зазоров».

Однако, если тщательно сравнить два определения «долговечности», их идентичность не становится очевидной. Из определения долговечности в ГОСТ 23166-99 исчезло положение об установленной системе технического обслуживания и ремонта, вместо которого появилось требование подтверждения способности сохранения эксплуатационных свойств, выражаемой в условных годах эксплуатации (у.г.э), результатами лабораторных испытаний. Причем у.г.э. – это единица измерения долговечности стеклопакетов и ПВХ-профилей. Возникает вопрос, а что такое «долговечность ПВХ-профилей»? ГОСТ 30673-99 «Профили поливинилхлоридные для оконных дверных блоков. Технические условия» раскрывает это понятие формулировкой, весьма близкой к определению долговечности по ГОСТ 23166-99. В разделе 3 ГОСТ 30673 читаем:

«Долговечность – характеристика (параметр) профилей, определяющая их способность сохранять эксплуатационные свойства в течение заданного срока, подтвержденная результатами лабораторных испытаний и выражаемая в условных годах эксплуатации (срока службы)». Все бы ничего, но в ГОСТ30673-99 отсутствует упоминание об эксплуатационных свойствах ПВХ-профиля, вероятно, потому, что сами по себе ПВХ-профили не эксплуатируются².

В работе [5] изменение основных свойств при оценке долговечности ПВХ-профилей связывается со временем старения. В области науки, занимающейся физико-химией полимеров, исследования в этой области нормативно обеспечены. Достаточно упомянуть такие документы, как:

- ГОСТ 9.710-84 «Старение полимерных материалов. Термины и определения» (взамен ГОСТ 17050-71 с тем же названием);
- ГОСТ 9.707-81 «Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на старение при воздействии естественных и искусственных факторов»;
- ГОСТ 9.708-83 «Пластмассы. Методы испытаний на старение при воздействии естественных и искусственных климатических факторов».

Особенность вышеперечисленных нормативных документов в том, что методически материалы, детали и узлы из них в ходе испытаний находятся в ненапряженном состоянии, то есть не испытывают всего комплекса эксплуатационных воздействий, как того требует ГОСТ 27.002-89. Поэтому, в этом случае, показатели будут определять не «долговечность», а просто стойкость к старению. Ранее, в СК №4 за 2008 г. мы отметили, что в теории долговечности используется термин «отказ» [1]. Среди прочих, ГОСТ 27.002-89 определяет и деградационный отказ, как отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Кстати, в 2003 году вступил в действие ГОСТ Р51910-2002 «Методика исследования и проверки ускоренными методами влияния внешних воздействующих факторов на долговечность и сохраняемость технических изделий. Разработка и построение». Документ создан в ТК 341 «Внешние воздействия»; в нем предусмотрены как климатические, так и механические внешние воздействующие факторы.

² По ГОСТ 27.002-89 понятие «эксплуатация» включает в себя, помимо применения по назначению, техническое обслуживание, ремонт, хранение и транспортирование.

Тем не менее, в ГОСТ 30673-99 нормируются показатели физико-механических свойств профилей, см. табл. 3 этого нормативного документа. Согласно п. 5.3.7 ГОСТ 30673-99 профили должны быть долговечными (стойкими к длительным климатическим воздействиям), 40 у.г.э. Кроме того, по п. 5.3.11, профили должны быть стойкими к слабоагрессивному кислотному, щелочному и соляному воздействию. Эта стойкость должна, согласно п. 7.21, определяться по ГОСТ 12020-72 «Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред» и еще по каким-то методикам.

С 1 июля 2003 г. вступил в действие ГОСТ 30973-2002 «Профили поливинилхлоридные для оконных и дверных блоков. Методы определения сопротивления климатическим факторам и оценки долговечности». По этому документу действие климатических факторов совмещается с влиянием слабоагрессивных химических сред. Однако признать показатели стойкости профилей к воздействию комбинации этих факторов за долговечность вряд ли правомерно, так как профили не испытывали механических нагрузжений, испытываемых оконным блоком в процессе функционирования в составе окна³.

Вернемся, однако, к ГОСТ 23166-99. В табл. 4 приводятся нормируемые эксплуатационные характеристики оконных блоков. Если следовать определению долговечности по этому ГОСТ, то именно способность оконного блока сохранять эксплуатационные качества в течение заданного срока и есть долговечность, то есть способность сохранять значения показателей приведенного сопротивления теплопередаче, воздухопроницаемости, общего коэффициента светопропускания и звукоизоляции. Вместо этого, читаем внизу табл. 4, что долговечность оконного блока распадается на долговечность его составляющих. Стоило ли вводить свое определение «долговечности», чтобы его же и не использовать?

Кстати, ГОСТ 30777-2001 «Устройства поворотные, откидные и поворотно-откидные для оконных и балконных дверных блоков. Технические условия» выгодно отличается от вышеупомянутых документов тем, что оперирует общетехнической терминологией для подтверждения срока службы: изделия испытываются на безотказность: термин соответствует нормам ГОСТ 27.002-89.

Еще одним элементом оконного блока, по которому определяется его, так сказать, «долговечность», является стеклопакет. ГОСТ 24866-99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия» в п. 4.1.8 ассоциирует долговечность со стойкостью к длительным циклическим воздействиям:

«4.1.8 Стеклопакеты должны быть долговечными (стойкими к длительным циклическим климатическим воздействиям). Долговечность (надежность) стеклопакетов должна составлять не менее 20 у.г.э.»⁴ Использование выделенного в скобках термина «надежность» непонятно. Стойкость стеклопакетов к воздействию климатических факторов в сочетании со слабоагрессивными средами оценивается по ГОСТ 30779-2001 «Стеклопакеты строительного назначения. Метод определения сопротивления атмосферным воздействиям и оценки долговечности». Критерий стойкости – отсутствие

³ Любопытно, что в случае «Оконных блоков деревянных со стеклопакетами» (ГОСТ 24700-99) о долговечности деревянных брусков-профилей речь не идет.

⁴ п.4.1.7 ГОСТ 24866-99 определяет требования к стеклопакетам, называя их физическими. Лучше называть их техническими, так как под физическими характеристиками обычно понимают плотность, теплоемкость, теплопроводность и т. д.

Миков В.Л. О долговечности окон

разгерметизации и сохранение величины точки росы. По существу это испытания, подтверждающие качество изготовления изделия из качественных материалов.

Весьма близка к вышерассмотренной и ситуация с долговечностью уплотняющих прокладок. Есть ГОСТ 30778-2001 «Прокладки уплотняющие из эластичных материалов для оконных и дверных блоков. Технические условия». В п. 4.2.10 определена долговечность уплотнений, ассоциируемая с их стойкостью к климатическим воздействиям и устойчивостью к многократному и длительному статическому сжатию. Для оценки этой стойкости введен в действие соответствующий ГОСТ 31362-2007 «Прокладки уплотняющие для оконных и дверных блоков. Метод определения сопротивления эксплуатационным воздействиям».

Рассматривая вопросы долговечности, нельзя не коснуться еще одного момента. Все ГОСТы, касающиеся оконной продукции, содержат раздел «Гарантии изготовления». По ГОСТ 23166-99 гарантийный срок хранения оконных блоков не менее одного года со дня отгрузки изделий, а гарантийный срок службы – не менее трех лет со дня отгрузки. Аналогичные нормы содержатся в ГОСТ 24700-99 «Блоки оконные деревянные со стеклопакетами» и в ГОСТ «Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей». Однако по ГОСТ 30673-99 «Профили поливинилхлоридные для оконных и дверных блоков» гарантийный срок службы профилей в готовых оконных и дверных блоках не менее 5 лет со дня выпуска изделий, то есть этих оконных блоков. Получается, что оконный блок уже не на гарантии, а профиль еще на гарантии. У стеклопакетов (по ГОСТ 30778-2001) гарантийный срок также 5 лет, а у фурнитуры по ГОСТ 30777-2001 – только три года, точнее – не менее 36 месяцев со дня передачи изделия, то есть поворотных устройств, потребителю. А кто это – изготовитель оконных блоков или их конечный пользователь? Из текста неясно.

Согласно СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»⁵:

«Долговечность ограждающих конструкций следует обеспечивать применением материалов, имеющих надлежащую стойкость (морозостойкость, влагостойкость, биостойкость, стойкость против коррозии, высокой температуры, циклических температурных колебаний и других разрушающих воздействий окружающей среды), предусматривая в случае необходимости специальную защиту элементов конструкции выполненных из недостаточно стойких материалов». В этом предложении не упоминается долговечность материалов, а говорится только об их стойкости к тем или иным воздействиям. В этом смысле представления СНиП 23-02-2003 о долговечности корреспондируют с нормами ГОСТ 27.002-89.

Если взглянуть на проблему долговечности с точки зрения светопрозрачных ограждений (окон), то нельзя не упомянуть об узле примыкания, обеспечивающем сопряжения светопрозрачной конструкции (оконного блока) со стеновым проемом.

Однако ГОСТ 30971-2002, уже упоминавшийся выше и определивший понятие узла примыкания оконного блока к стеновому проему, также использует понятие «долговечности», но уже применительно к материалам, см. п. 5.5.3: «Долговечность материалов (срок службы), применяемых для устройства монтажного шва, должна быть не менее 20 условных лет эксплуатации». Можно

⁵ Ранее, в [1] мы уже цитировали этот документ, но лучше еще раз напомнить, т.к. «*Repetito mater alma*» - «Повторение - мать учения».

предположить, что представление о долговечности одинаково в ГОСТ 23166-99 и в ГОСТ 30971-2002. Но по определению долговечности по ГОСТ 23166-99 речь идет о сохранении эксплуатационных качеств изделий – оконных блоков и их составляющих: стеклопакетов и т.д. Эксплуатационные характеристики, если верить ГОСТ 30971-2002, есть и у монтажного шва, см. п. 4.1:

- сопротивление теплопередаче;
- воздухопроницаемость;
- водопроницаемость;
- звукоизоляция;
- паропроницаемость и даже
- стойкость к силовым эксплуатационным воздействиям.

Эти характеристики присущи конструкциям, по ним ГОСТ 30971-2002 их и классифицирует. Ясно, что ни у наружного, ни у центрального или внутреннего слоев монтажного шва нет такой характеристики как сопротивление теплопередаче или звукоизоляция, как, впрочем, нет сопротивления теплопередаче, даже приведенного, и у собственно монтажного шва.

Таким образом, согласно п. 5.1.3 ГОСТ 30971-2002:

«**Конструкции** монтажных швов должны быть устойчивы к различным эксплуатационным воздействиям: атмосферным фактором, температурно-влажностным воздействиям со стороны помещения, силовым (температурным, усадочным и др.) деформациям». Налицо соответствие вышеназванной норме СНиП 23-02-2003. К этому можно добавить, что по п. 7.6.11 «Долговечность (срок службы) монтажного шва (но не материалов, как в п.5.3.3) определяют по НД и методикам...».

Исходя из конструктивного устройства монтажного шва по ГОСТ 30971, наружный слой обеспечивает водоизоляцию и паропропускание, центральный – теплоизоляцию, а внутренний – пароизоляцию. Поэтому естественно, что для обеспечения 20-летней долговечности материалов монтажного шва, установленной этим ГОСТ, наружный слой должен сохранять в необходимых пределах водоизоляцию и паропропускание, а центральный – теплоизоляционные свойства, которые, очевидно, обеспечиваются поддержанием теплопроводности материала центрального слоя на соответствующем уровне.

На практике оценка «долговечности» предварительно сжатой паропроницаемой уплотняющей ленты (ПСУЛ), которая используется в качестве наружного слоя монтажного шва, осуществляется по величине остаточной деформации, усилению при растяжении и относительному удлинению при разрыве адгезионной прочности, гибкости на брусе, изменению внешнего вида [6]. Образцы ПСУЛ в сжатом на 80% состоянии подвергались воздействию искусственных эксплуатационных факторов. А как же эксплуатационные характеристики, определяющие назначение наружного слоя? Может быть, установлена корреляционная зависимость между изменением внешнего вида и водонепроницаемостью?

Аналогичная ситуация сложилась и с «долговечностью» теплоизоляционного слоя, роль которого исполняет отвердевшая монтажная пена. Оказывается, сохранение теплотехнических свойств центрального слоя состоит в сохранении механической прочности и влагостойкости [7].

Возникает вопрос: если «долговечность» оконного блока определена в ГОСТ 23166-99 сроком в 40 условных лет эксплуатации, долговечность стеклопакета и монтажного шва – в 20 условных лет эксплуатации, то как

обеспечить долговечность или срок службы окна в 40 уже обычных (безусловных) лет?

Сравнивая определение окна, оконного блока и узла примыкания, легко заметить, что окно представляет собой оконный блок с узлом примыкания. Резонно предположить, что ограждающей конструкцией будет являться окно, а не его элемент – оконный блок. И эксплуатационные характеристики имеют смысл только применительно к окну, так как оконный блок независимо (отдельно) от окна не эксплуатируется. У оконного блока имеются некоторые технические показатели, однако отличающиеся численно от эксплуатационных показателей окна в целом, может быть даже более высокие, чем у окна. Точно так же, как, например, у стеклопакета термическое сопротивление в центре выше, чем на периферии, а приведенное сопротивление теплопередаче стеклопакета в целом ниже, чем в его центре.

Рассмотрим вопросы надежности светопрозрачных ограждений (окон) с позиции ГОСТ 27.002-89. Из всех характеристик, определяющих надежность, в нормативных документах по данной тематике употребляются только понятия «долговечность» и «безотказность»⁶, хотя, как выше установили, у «долговечности» по ГОСТ 23166-99 несколько иной смысл, нежели в ГОСТ 27.002-89.

Среди характеристик надежности присутствует безотказность. Ее отличие от долговечности заключается в том, что безотказность характеризует способность объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени, а долговечность определяет сохранение работоспособности при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Поэтому когда речь заходит о стеклопакетах с долговечностью 20 лет, ремонт и техническое обслуживание которых по ГОСТ 248669-99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия» не определены, целесообразнее использовать понятие безотказности стеклопакета, а не долговечности⁷. То же самое относится и к уплотняющим прокладкам для оконных и дверных блоков по ГОСТ 30788-2001: к ним также лучше применять понятие безотказности и сохраняемости, так как их ремонт соответствующими нормативами не предусмотрен.

Согласно ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету», п. 1.2, основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций, является безотказность их работы – способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы.

Вообще говоря, высказанные предложения не отличаются особой новизной; скорее, это возврат к хорошо забытому, но, тем не менее, правильному старому. По стандарту СЭВ (СТ СЭВ 3285-8) «Двери деревянные. Метод испытаний надежности» оценка надежности этой конструкции производилась на основе контроля безотказности. Признаком отказа (см. п. 2.2 СТ) считалось возникновение повреждений, нарушающих работоспособность дверей (например,

⁶ Термин «безотказность» использован в ГОСТ 23166-99 для характеристики оконных приборов и петель.

⁷ Соответствующие коррективы следовало бы внести и в ГОСТ 30779-2001 «Стеклопакеты строительного назначения. Метод определения сопротивления атмосферным воздействиям и оценки долговечности».

отрыв петель от створки или коробки, смещение или изгиб петель, отрыв облицовки, смещение деталей створки, недопустимые изменения формы створки, разрушение стекла и др.). Нарботка измерялась в циклах, а безотказность оценивалась по достижении контрольной наработки Т.

Чем отличается окно от двери с точки зрения надежности, определить, вероятно, затруднительно. И если после выявления отказа окно допускает проведение ремонта, приводящего к восстановлению работоспособности, т.е. эксплуатационных показателей, то тогда можно говорить о его долговечности.

Эксплуатационные качества такого окна (технические показатели оконного блока) могут быть восстановлены путем ремонта или замены изношенных частей новыми. Тогда первый этап долговечности объекта оценивается сроком его службы с момента установки до капитального ремонта, следующие (промежуточные) этапы определяются сроком службы между капитальными ремонтами, а последний этап – сроком службы со времени капитального ремонта до полного износа всех конструктивных элементов. Если объект состоит из конструктивных элементов с примерно одинаковыми характеристиками долговечности, то необходимость капитального ремонта отпадает. При этом целесообразно обеспечить примерно такой же уровень долговечности узлов сопряжения. В этом случае требуется лишь регулярные профилактические ремонты, продлевающие срок их службы. Долговечность конструкций в конечном итоге обеспечивается долговечностью ее элементов и узлов сопряжений [8].

Надо сказать, что надежность – категория не только техническая, но и экономическая, поскольку снижение количества ремонтов в течение срока службы эквивалентна экономии (раньше говорили экономическому эффекту) [9].

Поэтому основная задача создания светопрозрачного ограждения (окна) – обеспечение его безотказной работы, а также минимальных затрат времени и средств на техническую эксплуатацию и ремонт. За установленный срок службы, то есть при установленной долговечности.

Основные факторы, определяющие надежную (безотказную) работу окна, условно можно разделить на три группы: проектные, строительные и эксплуатационные. Как показывают статистические данные, не только отечественные, но и зарубежные, наибольшее значение для безотказного функционирования имеет качество производства строительных работ (применительно к окнам – их монтажа).

В работе [9] приведены эти основные факторы влияния. Среди них следующие.

1. Недостаточный учет конкретных условий производственной среды и эксплуатационных факторов при проектировании.
2. Отсутствие экспериментальных данных о фактических темпах износа и действительных физико-механических свойствах некоторых строительных материалов в период эксплуатации.
3. Низкий производственный уровень контроля качества сырья и материалов, поступающих на заводы строительной индустрии, нарушение режима изготовления изделий.
4. Отсутствие надлежащего авторского надзора за качеством производства работ.
5. Нарушение технических условий при производстве строительных работ.
6. Отступление от проектных решений.

Миков В.Л. О долговечности окон

7. Отклонение или неправильная установка элементов при монтаже, некачественное выполнение стыков, отсутствие монтажных связей.
8. Несоблюдение технических условий производства работ в зимнее время.
9. Коррозия металлических закладных деталей здания и металла стыков, разрушение кирпичной кладки, образование трещин в железобетонных элементах (особенно для объектов, которые долгое время находились в ряду незавершенных).
10. Отсутствие должной системы планово-предупредительных ремонтов эксплуатируемого здания.
11. Возраст здания, большие износы несущих и ограждающих конструкций.
12. Нарушение правила эксплуатации.

Необходимо отметить, что результаты исследований надежности строительных конструкций не позволяют пока выявить закономерности для прогнозирования их долговечности [9].

Итак, чтобы светопрозрачные ограждения (окна) были долговечными, материалы, из которых они изготовлены, должны обладать определенной стойкостью по отношению к воздействию внешней среды. Долговечность их обеспечивается также соответствующими конструктивными решениями, предусматривающими в случае необходимости специальную защиту элементов, выполненных из недостаточно стойких материалов.

В заключение хотелось бы процитировать авторов работы [10]:

«Возникновение проблем вызывается, как правило, не самим материалом, а его неправильным применением, неудачной конструкцией окна или чрезмерными требованиями к его прочностным или термическим свойствам».

Список литературы

1. Миков В.Л. Куренкова А.Ю. «К вопросу о долговечности...» «Светопрозрачные конструкции», 2008, № 2, с. 12-15, № 4, с. 14-17
2. Александровский С.В. долговечность наружных ограждающих конструкций. – М.: НИИСФ., 2003.-322с
3. Сахаров Г.П. Материаловедческие и технологические аспекты повышения качества и надежности строительных материалов, изделий и конструкций. ч.1 «Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века», 2008, № 6, с. 62-64
4. Бойко Д.Т. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Учебн. пособие для ВУЗов. – Л.: Стройиздат, 1986
5. Шведов Н.В., Третьяков В.И. Проблемы нормирования долговечности строительных изделий. – «Светопрозрачные конструкции»; 2002, № 5-6, с. 3-6
6. Куренкова А.Ю. Как не потерять имидж в погоне за дешевизной.- «Светопрозрачные конструкции»- 2007, № 6, с. 56-57
7. Серебренникова Н.Д., Бояринов С.И., Жеглова Е.Л. Исследование эксплуатационной стойкости монтажных пен для узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. –«Светопрозрачные конструкции» – 2007, № 5, с. 54-59
8. Лысова А.И., Шарлыгина К.А. реконструкция зданий. – Л., Стройиздат, ЛО., 1979-304с.
9. Рогонский В.А. и др. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. – СПб.: Стройиздат СПб, 2004, 172 с.
10. Менк Х., Зайферт Э. Окна для реконструируемых зданий. –М.: Стройиздат, 1992-208с.

Миков В.Л., Куренкова А.Ю. «Человеческий фактор» и проблемы теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждений

В.Л. Миков, к.ф.-м.н, ведущий специалист НИУПЦ «Межрегиональный институт окна»

А.Ю. Куренкова, директор НИУПЦ «Межрегиональный институт окна»

«Человеческий фактор» и проблемы теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждений

Может показаться странным увязывание освещаемых тем конференции и «человеческого фактора». В пленарном выступлении на 3-й Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» 11-13.11.2009 проф. В.Г. Гагарин рассказал о теплотехнических проблемах, возникающих при проектировании стеновых ограждений, о соотношении норм и их реализации. Но ведь нормы устанавливают и принимают люди, проектные расчёты делают они же, люди. Известно, что основная причина дефектов строительства – недостатки проектных решений и плохое качество строительно-монтажных работ. Следовательно, «человеческий фактор» присутствует.

В СССР окна представляли собой один из видов ограждающих конструкций – светопрозрачные. Проектная документация включала в себя ведомость заполнения оконных проёмов, а установка окон регламентировалась СНиП.

В проёмах каменных домов коробки окон крепили ершами и гвоздями. Зазоры между коробками и проёмами конопатили просмоленной паклей или минеральным войлоком. Окнопачивание осуществляли сухим или мокрым способом. В последнем случае паклю смачивали в гипсовом растворе. Со стороны улицы (см. СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции», п.3.73) в зазор между коробкой оконного заполнения и стеной наносилась нетвердеющая мастика.

В настоящее время применение светопрозрачных ограждений, а точнее, окон и балконных дверей регламентируется нормативными документами двух типов. Проектировщики пользуются СНиП, хотя уже появились и СТО (стандарты организации), а изготовители или поставщики – совокупностью так называемых «оконных» ГОСТ. Хотя основополагающий ГОСТ 23166-9 «Блоки оконные. Общие технические условия», главным образом, ориентирован на производителей оконных конструкций, он полезен и проектировщикам зданий, так как содержит информацию об устройстве современных оконных блоков, их классификацию, рекомендует условные обозначения конструкций, которые целесообразно использовать в проектной документации, например, в ведомости заполнения проёмов. Однако этот документ может ввести неискушённого проектировщика и в заблуждение. ГОСТ 23166-99 разделил понятия «окно» и «оконный блок». Оконный блок является заполнением светового проёма и в сочетании с узлом примыкания формирует окно.

Согласно СНиП II-3-79* с Изменением №4, СНиП 23-02-2003, СТО РОИС «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий», нормируемое значение приведённого сопротивления теплопередаче устанавливается в зависимости от градусоток отопительного периода региона строительства и вида здания и помещения. Это необходимое условие, но не достаточное. СНиП 23-02-2003, п.п. 5.9–5.10, ограничивает температуру внутренней поверхности оконных откосов и внутренней поверхности непрозрачных элементов

Миков В.Л., Куренкова А.Ю. «Человеческий фактор» и проблемы теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждений

оконных блоков температурой точки росы при расчётных температурах наружного и внутреннего воздуха и относительной влажности внутреннего воздуха 55%; допуская, впрочем, температуру плюс 3°C (т.е. выпадение конденсата) на внутренней поверхности остекления. Вообще говоря, конденсат на стекле потребителю (жильцу) не нравится. Причина появления п. 5.10 в том, что расположение оконного блока по толщине стены и конструкция последней снижают приведённое сопротивление теплопередаче оконного блока. Известно, что сертификационное значение этого показателя не обеспечивает отсутствие температуры точки росы на внутренней поверхности переплётов оконного блока.

Невольно возникает «греховная» мысль: исключить нормирование приведённого сопротивления теплопередаче в зависимости от градусо-суток отопительного периода, установив одну санитарно-гигиеническую норму для окна, согласно п. 5.10 СНиП 23-02-2003.

В чём конкретно может проявиться «человеческий фактор»? На наш взгляд, прежде всего, в невежестве, некомпетентности, а ещё в «агрессивном маркетинге».

Иногда очень трудно установить «невежество» это или некомпетентность, или может, что-то ещё? Цитируем по ТР152-05:

«2.1. Низкое качество изоляции узлов примыкания оконных блоков приводит к появлению трещин и конденсата на внутренней стороне стеклопакета, наружных и внутренних откосах окна, к образованию плесени и грибка в месте примыкания оконного блока к стене, к снижению звукоизоляции и термического сопротивления монтажного шва. Эти дефекты связаны в основном с неправильным устройством изоляции монтажных швов узлов примыкания оконных блоков к стеновым проёмам.

2.2. Основные причины проявления дефектов в узлах примыкания оконных блоков к стеновым проёмам:

- недостаточно отлаженная работа систем воздухообмена и вентиляции помещений, а в ряде случаев ошибки в проектировании».

Примером агрессивного маркетинга, который присущ производителям и поставщикам материалов для монтажа оконных конструкций, можно назвать ГОСТы на швы монтажные. Сейчас в наличии их три. Исходным является ГОСТ 30971-2002 «Швы монтажные узлов примыканий оконных блоков к стеновым проёмам. Общие технические требования».

Наличие ГОСТов очень способствует росту объёмов продаж монтажных материалов. Забавная ситуация: есть ГОСТы на швы монтажные, но нет нормативных документов на материалы, используемые при монтаже. (Впрочем, наконец-то появился ГОСТ на предварительно сжатую уплотнительную ленту). На монтажную пену, основной материал, используемый в России для заполнения монтажных зазоров, нормативного документа нет, а в Украине уже есть. И снова можно привести примеры некомпетентности.

Если основное назначение пены в монтажном зазоре – теплоизоляция, то исследование эксплуатационной стойкости монтажных пен для узлов примыкания должно быть ориентировано на определение времени сохранения величины теплопроводности. В работе [1] читаем: «Согласно ГОСТ 30971-2002 «Швы монтажные узлов примыканий оконных блоков к стеновым проёмам. Общие технические требования», в принятой трёхслойной системе устройства монтажных швов центральный слой является утепляющим слоем, который на протяжении многих лет должен сохранять свои теплотехнические свойства, то

Миков В.Л., Куренкова А.Ю. «Человеческий фактор» и проблемы теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждений

есть сохранять механическую прочность и влагостойкость». Каким образом механическая прочность стала теплотехническим свойством? А чуть дальше по тексту, водостойкость подменяется на водопоглощение. Но ведь это же разные показатели.

Аналогичная ситуация с предварительно сжатой уплотнительной лентой (ПСУЛ). Её назначение – наружный слой монтажного шва, обеспечивающий защиту монтажной пены от ультрафиолета и атмосферной влаги. ПСУЛ должна быть паропроницаемой и водонепроницаемой (до известных пределов давления – 600Па). То есть ПСУЛ в период эксплуатации в составе монтажного шва должна сохранять паропроницаемость и водонепроницаемость. Что же оценивают при определении срока службы ПСУЛ?

И снова цитата [2]: «Испытания на долговечность проводились по методике, разработанной ГУП «НИИМосстрой» и утверждённой Департаментом градостроительной политики, развития и реконструкции города Москва: «Методика определения срока службы паропроницаемых уплотнительных лент (прокладок) типа ПСУЛ строительного назначения».

В качестве основных эксплуатационных показателей при определении срока службы уплотняющих лент принимали величину остаточной деформации, усилие при растяжении и относительное удлинение при разрыве, прочность сцепления с основанием (адгезионная прочность), гибкость на брусе, изменение внешнего вида». Является ли внешний вид эксплуатационным показателем в данном случае?

А вот пример, как нам представляется, «невежества», взятый из журнала «Технология строительства» (см. № 3(37), 2006г., с.27): «Размеры молекул воды намного больше размеров молекул водяного пара...». Этим тезисом в публикации объясняют, почему водяной пар проходит через ПСУЛ, а вода нет.

Теперь о долговечности окон.

Долговечность (по ГОСТ 27.002-89 «Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения») – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Понятие долговечности распространяется на любые технические объекты. Материалы среди объектов не фигурируют, хотя бы потому, что, в общем случае, не обладают ремонтпригодностью и не обслуживаются. Для них – сохраняемость.

Уже упоминавшийся ГОСТ 23166-99 определил долговечность оконного блока (на наш взгляд, ошибочно) как параметр изделия, определяющий его способность сохранять эксплуатационные качества, подтверждённые результатами лабораторных испытаний, в течение заданного срока. А затем «долговечность» оконного блока свели к долговечности ПВХ профилей и стеклопакетов. А что такое «долговечность» ПВХ профилей в свете формулировки термина по ГОСТ 27.002-89?

Можно приводить ещё множество подобных примеров. Но все они подтверждают уже сложившееся в строительной среде мнение [3]: «...появилось недоверие к современным нормативным документам: правильно ли всё написано, правомерны ли изложенные нормы, и, как следствие этих сомнений, кто их лоббирует, кому они выгодны».

Миков В.Л., Куренкова А.Ю. «Человеческий фактор» и проблемы теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждений

Список литературы

1. Серебрянникова Н.Д., Бояринов С.И., Жеглова Е.Л. Исследование эксплуатационной стойкости монтажных пен для узлов примыкания оконных блоков к стеновым проёмам // Светопрозрачные конструкции, №5, 2007. С.54-59.
2. Куренкова А.Ю. Как не потерять имидж в погоне за дешевизной // Светопрозрачные конструкции, №6, 2007. С56-57.
3. Комаров Ю.Т. Законодательство и проектная деятельность // Жилищное строительство, №12, 2006. С.21-25.

Павлова М.О., Захаров В.А., Павленко М.Н. Инновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из керамического кирпича

Павлова М.О., к.т.н., зав. сектором надежности фасадов зданий ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Захаров В.А., старший научный сотрудник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Павленко М.Н., инженер ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Инновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из керамического кирпича

В связи с повышением требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций в качестве наружных стен широкое распространение получили многослойные конструкции с облицовкой из пустотелого керамического кирпича, отличающиеся быстротой и сравнительно низкой стоимостью возведения.

Низкое качество строительно-монтажных работ и недостатки проектирования в последние годы приводят к обрушениям облицовки фасадов зданий.

Специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко проведено обследование нескольких десятков зданий и установлены характер и причины появления повреждений в облицовке.

Изучение проектной документации выявило разнообразие принятых конструктивных решений фасадов наружных стен. Были установлены типичные причины возникновения дефектов и повреждений, которые включают комплекс вопросов, связанных с недостатками проектирования и качеством строительно-монтажных работ.

Использование конструктивных решений без соответствующего научного обоснования приводит к созданию аварийных ситуаций. Требования по проектированию и ремонту к облицовке из кирпичной кладки толщиной 120 мм в существующей нормативной базе отражены в общем виде.

Сборники узлов наружных стен, вошедшие в МТСК, требуют корректировки с учетом особенностей условий работы облицовочного слоя.

По результатам анализа проектных решений обследованных зданий, фасады которых получили повреждения, было отмечено, что расчет конструкций на температурно-влажностные воздействия не проводился.

В процессе производства работ не выполнялись требования, указанные в СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции» и СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».

На большинстве обследованных зданий гибкие связи между внутренним и облицовочным слоями отсутствовали, либо находились в непроектном положении. Закрепление наружного слоя имеет первостепенное значение при восстановлении эксплуатационной надежности облицовки.

Павлова М.О., Захаров В.А., Павленко М.Н. Инновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из керамического кирпича

Устранение недостатков проектирования и дефектов строительства при проведении ремонтных работ является сложной задачей, требующей индивидуального подхода. Кроме того, на сегодняшний день отсутствует методика ремонта подобных конструкций.

Гибкие спиралевидные ремонтные стержни (рис. 1) в последние 30 лет широко применяются в различных странах при ремонте и усилении кирпичной кладки, а также устройстве вертикальных деформационных швов в облицовке зданий.

Спиралевидные связи представлены широкой номенклатурой типоразмеров из различных классов аустенитных хромоникелевых сталей и обладают рядом преимуществ.

В настоящее время специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко выполняется комплекс исследований, направленных на изучение технических характеристик гибких спиралевидных связей и уточнение особенностей их работы в строительных материалах отечественного производства.

Испытания проводились в Лаборатории испытания конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко на экспериментальных образцах столбов, выполненных из ячеистого бетона класса по прочности В25 с использованием лабораторного оборудования. Установка связей выполнялась в соответствии с регламентом по закреплению фирмы-производителя. В зависимости от глубины заделки гибких ремонтных связей изменялась максимальная нагрузка вырыва: при $L=100, 150, 200$ мм в образцах из ячеистого бетона нагрузка соответственно равна 2,0 кН; 3,4кН; 3,6 кН (рис. 2).

Для сравнения были проведены испытания связей, установленных в тот же материал с применением химического состава ВIT-PE. Максимальная нагрузка при вырыве гибкой ремонтной связи $d=9$ мм, установленной с глубиной заделки $L=150$ мм и применением химического состава ВIT-PE в образцах из ячеистого бетона, составляет 1,7 кН.

По результатам испытаний построены графики зависимостей деформаций от нагрузки для связей, установленных «насухо» и с использованием химического состава ВIT-PE (рис. 2, 3).



Рисунок 1. Общий вид гибкого спиралевидного ремонтного стержня из нержавеющей стали, установленного в ячеистый бетон

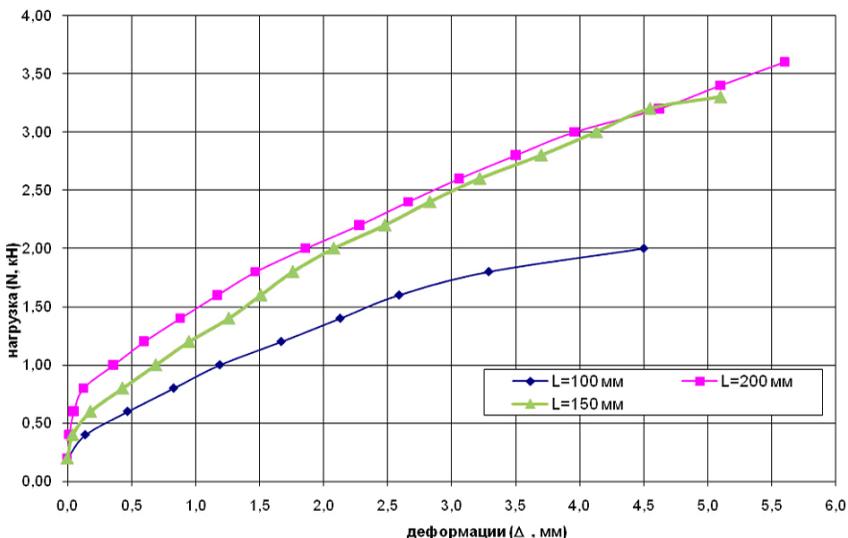


Рисунок 2. График зависимости деформаций от нагрузки для гибких связей из нержавеющей стали BIT-ThorHelical, $d=9$ мм, $L_{ан}=100$ мм, $L_{ан}=150$ мм и $L_{ан}=200$ мм при действии продольных относительно оси связи сил (усилие вырыва)

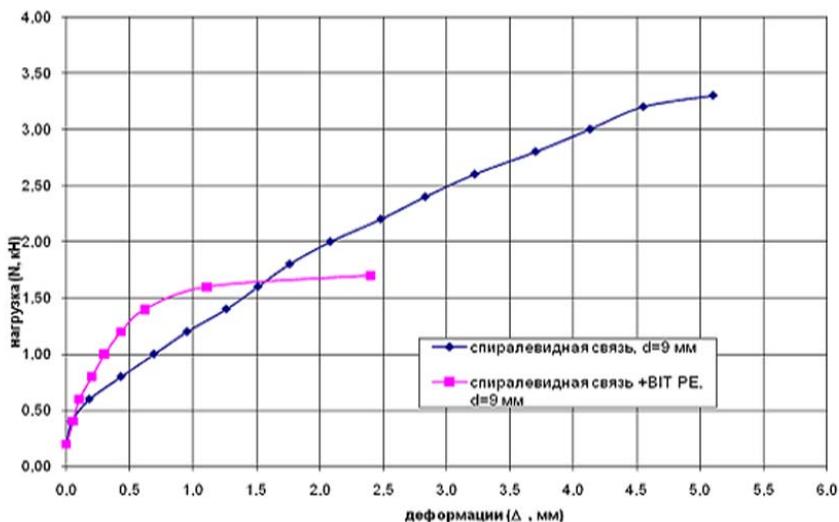


Рисунок 3. График зависимости деформаций от нагрузки для спиралевидных связей $d=9$ мм, $L_{ан}=150$ мм установленных «насухо» и с применением химического состава BIT-PE при действии продольных относительно оси связи сил (усилие вырыва)

На основе анализа результатов испытаний можно сделать следующие выводы:

Павлова М.О., Захаров В.А., Павленко М.Н. Инновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из керамического кирпича

- специальная геометрическая форма обеспечивает закрепление в материале основания с большей несущей способностью при установке в ячеистый бетон «насухо», чем с применением химического состава (рис. 3);
- с учетом полученных данных о несущей способности при различных величинах закрепления, увеличение глубины заделки больше оптимальной даёт незначительное увеличение несущей способности соединения;
- после проведения ремонтных работ с применением гибких спиралевидных ремонтных связей внешний облик здания остаётся практически без каких-либо следов ремонта;
- результаты анализа зарубежного опыта по ремонту и реконструкции зданий подтверждают высокую эффективность применения гибких спиралевидных ремонтных связей;
- внедрение и использование современных технологий в области каменных конструкций открывают новые возможности для восстановления, ремонта и усиления кладки стен, возведенных из штучных материалов;
- подход к проектированию узлов многослойных ограждающих конструкций (как на стадии проекта, так и при ремонте) должен быть комплексным;
- в связи с широким применением подобного типа конструкций необходима разработка нормативных документов по проектированию, возведению и техническому обслуживанию наружных стен зданий, основанных на научных изысканиях в данной области.

Список литературы

1. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».
2. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
3. СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции».
4. СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции»
5. Ишук М.К. Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки //Жилищное строительство, 2008, №3, стр. 28–31.
6. Лифшиц Д.В., Павлова М.О., Простяков А.В. Технологии современного строительства последнего десятилетия. Технологии строительства, №1, 2009.
7. Павлова М.О., Моськина О.Ю., Пыхяла Я.Э. Современные исследования и разработки способов ремонта, реконструкции, реставрации и мониторинга каменных конструкций в России и Европе. Технологии строительства, №3, 2009.
8. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. Госстроя СССР. М.1984.
9. Методические рекомендации по усилению каменных конструкций. НИИСП Госстроя УССР. Киев, 1985.
10. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. М., 1988.
11. ВСН 58–88(р) «Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий объектов коммунального и социально-культурного назначения».

Пономарев О.И., Ломова Л.М., Стульева И.В. Современные кладочные стеновые материалы в несущих и ограждающих конструкциях энергоэффективных зданий

О.И. Пономарев, к.т.н., зам. директора ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Л.М. Ломова, зав. сектором ЛКБПЗ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

И.В. Стульева, ст. научный сотрудник ЛКБПЗ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Современные кладочные стеновые материалы в несущих и ограждающих конструкциях энергоэффективных зданий

Штучные стеновые изделия (кирпич, камни, мелкие блоки) остаются одним из основных видов строительных материалов для возведения стен зданий не только в нашей стране, но и за рубежом. Только в жилищном строительстве около 60% зданий возводится с применением кирпича и камня.

В целях повышения надежности конструкций и увеличения объемов применения в строительстве кирпича, камня, блоков отечественного производства в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко проведены исследования прочности и деформативности эффективных материалов и конструкций наружных стен.

Результаты исследования кладки позволили рекомендовать новые виды штучных изделий для применения в наружных стенах зданий, возводимых по традиционной технологии, в том числе:

- кирпич и камни из поризованной керамики (при использовании их в кладке с рациональным расположением пустот, теплопроводность кладки $\lambda=0,19+0,27 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$);
- крупноформатные керамические камни (теплопроводность кладки $\lambda=0,18+22 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$);
- утолщенный кирпич «Термолюкс», изготавливаемый с использованием золы-уноса ТЭЦ и извести при автоклавном твердении, (теплопроводность кладки $\lambda =0,22 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$);
- камни бетонные стеновые с термовкладышами (теплопроводность кладки $\lambda =0,32 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$);
- мелкие трехслойные стеновые блоки (приведенная теплопроводность кладки $\lambda =0,125 \pm 0,15 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$).

На основе проведенных исследований получены основные характеристики кладки из пустотелых и поризованных кирпичей и камней с рационально расположенными пустотами, кладки из крупноформатных керамических камней пустотностью до 50%, а также кладки из утолщенного кирпича «Термолюкс», изготавливаемого с использованием золы-уноса и извести при автоклавном твердении, обеспечивающие возможность разработки проектов зданий с их применением.

Специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ГУ «Центр Энлаком», КБ им. Якушева, Мосжилниипроект, КТБ ЖБ, НИИСФ в 2008 г. было проведено обследование 50 жилых домов, высотой до 25 этажей, возведенных из монолитного железобетона с многослойными наружными стенами, облицованными керамическим кирпичом. Обследования проведены в связи с наличием существенных повреждений кирпичной облицовки, а также обрушением фрагментов стен, образованием вертикальных и горизонтальных трещин, разрушением и размораживанием кирпича на фасадах здания.

Пономарев О.И., Ломова Л.М., Стульева И.В. Современные кладочные стеновые материалы в несущих и ограждающих конструкциях энергоэффективных зданий

Основными причинами выявленных повреждений и разрушений кирпичной облицовки являются низкое качество и нарушение технологии производства строительных работ, а также отдельные недостатки проектных решений.

При обследовании поврежденных фасадов установлено, что многослойные кирпичные стены возводятся с множеством дефектов. Отсутствуют анкера и гибкие связи для крепления облицовки, опорные уголки в ряде случаев не устанавливаются, деформационные швы под перекрытием выполняются с нарушением. Во многих случаях отсутствует утеплитель в трехслойных стенах. Опираение кирпичной облицовки на перекрытия или металлические уголки не соответствует проекту. Например, на обрушившихся фасадах опираение наружного слоя не превышало 3-4 см, вместо 10-12 см по проекту.

Одной из причин плохого качества работ является неквалифицированность рабочих, которые не имеют специальной подготовки для выполнения сложных операций по возведению многослойных стен. Этот фактор усугубляется климатическими условиями, усложняющими строительно-монтажные работы, низкие температуры и интенсивные атмосферные осадки, многократное замораживание и оттаивание кладки и т. п.

В целях повышения эффективности и надежности зданий и сооружений, возводимых с применением современных материалов и технологий строительства, в настоящее время проводится работа по актуализации существующих нормативных документов и стандартов, разрабатываются специальные рекомендации, пособия, альбомы рабочих чертежей и стандарты организаций.

Пономарев О.И., Горбунов А.М., Григорьев Д.С. Напряженно-деформативное состояние энергоэффективной трехслойной кладки при температурных деформациях

*О.И. Пономарев, к.т.н., зам. директора ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко
А.М. Горбунов, зав. сектором прочности каменных конструкций ЦНИИСК
им. В.А. Кучеренко*

Д.С. Григорьев старший инженер ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко

Напряженно-деформативное состояние энергоэффективной трехслойной кладки при температурных деформациях

В практике строительства в Москве и в других районах России в последние годы широко используются при возведении зданий трехслойные стены с внутренним слоем из эффективного утеплителя (минераловатных плит, пенополистирола). Такие решения применяются при возведении несущих, самонесущих и навесных стен.

Проведенные натурные наблюдения и обследования выявили крайне неблагоприятные условия работы наружного (лицевого) слоя кладки, подверженного интенсивным внешним воздействиям (температурно-влажностным, ветровым и др.).

Вместе с тем, температурно-влажностные воздействия на облицовочный слой трехслойной стены толщиной 0,5 кирпича недостаточно хорошо изучены.

Наружный облицовочный слой кладки отделен от внутренних слоев эффективным утеплителем, что требует специального подхода при его расчете на температурно-влажностные воздействия.

Принимаемые при проектировании расстояния между температурными швами как для неотапливаемого здания не обоснованы.

Как показали расчеты различных моделей (с различными опорными элементами) в плане, напряженное состояние облицовки существенно зависит от конфигурации наружных стен здания в плане. Проведенные расчеты показали, что П-образные элементы стен независимо от длины сторон испытывают большие напряжения. При этом следует отметить, что армирование лицевого слоя кладки толщиной в 0,5 кирпича не всегда дает положительные результаты.

В данной статье приведены результаты расчетов и оценки напряженно-деформированного состояния лицевого слоя трехслойной кладки после исследования более 40 моделей различных конфигураций стен в плане зданий, наиболее часто встречающихся в практике проектирования, как с оконными и балконными проемами, так и без проемов.

Расчет производился на ПК Лири 9.4 посредством построения компьютерных моделей трехслойных стен с гибкими связями и опорных конструкций (металлического уголка или железобетонной плиты перекрытия) из объемных, пластинчатых и стержневых конечных элементов, задания жесткостных характеристик, закреплений в пространстве, нагрузок. По результатам расчета проводился анализ напряженно-деформированного состояния лицевого слоя трехслойной кирпичной кладки.

Расчет напряженно-деформированного состояния облицовочного слоя кирпичной кладки на температурные воздействия произведен при следующих условиях:

- с учетом исключения появления трещин в период эксплуатации;

Пономарев О.И., Горбунов А.М., Григорьев Д.С. Напряженно-деформативное состояние энергоэффективной трехслойной кладки при температурных деформациях

- облицовочный слой рассчитывался на наиболее неблагоприятный случай работы кладки – растяжение, которое возникает при понижении температуры (в т.ч. при «замыкании» летом);
- расчет производился в упругой стадии на расчетные изменения средних приведенных температур сечения Δt и перепадов температур по толщине $\Delta \theta$ с учетом влияния колебаний влажности воздуха, солнечной радиации.

Проведенные исследования включали расчеты фрагментов кирпичной кладки линейных (без проемов) Г-образных, П-образных, Z-образных в плане участков стен и участков с эркерами, а также расчеты вышеперечисленных участков при наличии в них оконных проемов для нескольких вариантов опорных конструкций стены и для нескольких вариантов периодов «замыкания конструкции».

При эксплуатации здания разница температур зима-лето с учетом температуры солнечной радиации может достигать $\Delta t = 70^\circ\text{C}$. Напряженное состояние в облицовке зависит и от условий «замыкания конструкций».

Для изучения влияния железобетонной плиты перекрытия (как опорной конструкции) на напряженно-деформированное состояние кирпичной кладки был разработан ряд компьютерных моделей железобетонных плит перекрытий (Г-образные, П-образные, Z-образные участки и участки с эркерами) с кирпичной стеной, опирающейся на монолитный железобетонный пояс на выносных монолитных железобетонных консолях к плите перекрытия (с проемами для утеплителя).

Проведенные расчеты, также как и результаты обследования, показали, что кирпичная кладка, имеющая низкую прочность при растяжении, наибольшие повреждения получает в зоне действия растягивающих напряжений.

На высоту распространения трещин оказывает значительное влияние длина линейного участка по глади стены (рис. 1), а также длины прямолинейных участков, примыкающих к углу при различной конфигурации фасадов стены.

По результатам анализа работы кирпичной кладки в облицовке многослойных стен могут быть выявлены следующие основные причины появления трещин на прямолинейных участках кладки.

1. Ограничение перемещений кирпичной кладки стен в основании (при сжатии в период понижения температуры) вследствие «эффекта защемления» при опирании кладки на железобетонную плиту перекрытия или на металлический уголок с неподатливыми креплениями к плите при $\Delta t = 70^\circ\text{C}$.

(«Эффект защемления» создается за счет отсутствия перемещений участка плиты перекрытия, являющегося опорой стенки. Причиной отсутствия перемещений участка плиты является большая продольная жесткость «диска» плиты перекрытия и передача тепла из внутренних помещений, т.е. сравнительно небольшой перепад температур Δt).

2. Разница коэффициентов линейных температурных расширений материалов стенки и опорного уголка и разницы продольных жесткостей стенки и опорного уголка (при опоре на металлический уголок с податливыми креплениями к железобетонной плите перекрытия) при $\Delta t = 50^\circ\text{C}$.

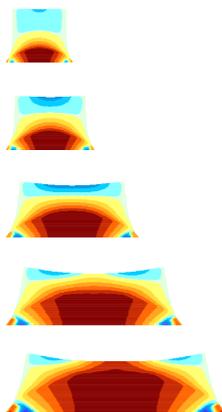
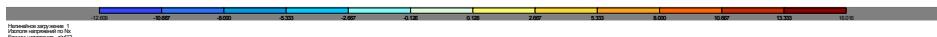


Рисунок 1. Распределение напряжений по высоте стены в зависимости от расстояний между температурными швами (3÷10 м). Модели № 1,2, 3, 4, 5

В углах стен и на некотором расстоянии от углов (в верхней трети стены) на непрямолинейных участках причиной появления вертикальных трещин являются горизонтальные растягивающие напряжения от изгиба стены вблизи угла. Вблизи угла в кладке возникает изгибающий момент, плечо которого равно расстоянию от середины облицовочного слоя до ближайших к углу гибких связей. Появление вертикальных трещин в углах и на некотором расстоянии от угла наблюдается на всех непрямолинейных участках стен при всех вариантах опор стен (металлический уголок или железобетонная плита).

Вертикальные трещины появляются посередине линейных участков стен (у их основания), а также на некотором расстоянии от угла (рис. 2).



Выводы и рекомендации

Проведенные исследования, расчеты прочности и напряженно-деформированного состояния кирпичной облицовки зданий с несущими железобетонными конструкциями позволяют сделать следующие выводы.

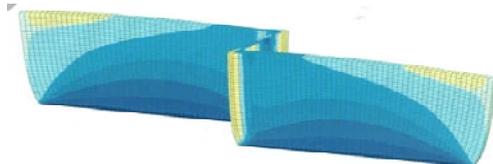


Рисунок 2. Эпюра напряжений Z-образной стены и вертикальная трещина на углу

1. В целях уменьшения горизонтальных растягивающих напряжений в П-образных и Z-образных участках стен (в углах) рекомендуется разделение

Пономарев О.И., Горбунов А.М., Григорьев Д.С. Напряженно-деформативное состояние энергоэффективной трехслойной кладки при температурных деформациях

П-образных и Z-образных участков стен на Г-образные путем введения вертикальных температурных швов [3-4].

В противном случае в верхних участках углов (~ на 1 м от горизонтального шва) возникают значительные растягивающие напряжения. На этих участках возрастают нагрузки на гибкие связи.

2. Исследования и расчеты прямолинейных участков различной длины показали:

- с увеличением расстояний между температурными швами более 6 м в облицовочном слое возникали растягивающие напряжения, значительно большие допустимых, которые невозможно компенсировать армированием;
- зона растягивающих напряжений, превышающих допустимые, распространялась на высоту выше нижней границы оконных проемов, усиливая концентрацию растягивающих напряжений в нижних углах проемов, достигающую 20 кгс/см^2 и более.

3. На участках стен с полукруглыми эркерами рекомендуется устройство вертикальных температурных швов в местах сопряжения прямолинейных участков с криволинейными участками.

4. При расчете облицовочного слоя кирпичной кладки на $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ с учетом армирования (опирание на железобетонное перекрытие или неподатливый стальной уголок) установлено, что растягивающие напряжения уменьшаются до допустимых за счет сжимающего воздействия арматуры.

5. Расчет гибких связей следует выполнять с учетом действия ветровой нагрузки.

6. Расстояние между температурными швами в облицовочном слое (толщиной 120 мм) трехслойной и двухслойной кирпичной кладки с воздушным зазором рекомендуется принимать не более 6 м.

Увеличение расстояний между температурными швами может быть достигнуто за счет применения в опорной зоне слоя армированной кладки толщиной в 1 кирпич ($7 \div 10$ рядов по высоте в соответствии с расчетом).

Список литературы

1. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».
2. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
3. СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции».
4. СТО 36554501-013-2008 методы расчета лицевого слоя из кирпичной кладки наружных облегченных стен с учетом температурно-влажностных воздействий.

Редько Ю.Б., Гринфельд Г.И. Теплотехнические испытания кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400

Ю.Б. Редько, технический директор ООО «АлгоритмСтрой»

Г.И. Гринфельд, исполнительный директор Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона

Теплотехнические испытания кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400

В настоящее время в России действуют более 20 и находятся в стадии строительства более 30 заводов автоклавного газобетона, оборудование которых позволяет производить блоки с профилированными торцевыми поверхностями (т.н. система «паз-гребень»). Наличие системы паз-гребень предполагает возможность ведения кладки с «сухими» вертикальными швами. В то же время действующая нормативная и методическая литература, например [1], предлагает следить за тщательностью заполнения вертикальных швов раствором и не допускать пустошовки.

С целью получения достоверных экспериментальных данных, позволяющих оценить характер распределения температур и тепловых потоков в «сухих» швах, сравнить их с клеевыми швами толщиной 2 мм и оценить их влияние на термическое сопротивление кладки, были выполнены теплотехнические испытания.

Теплотехнические испытания выполнялись в соответствии с требованиями [2] в лабораторных условиях.

Подготовка к экспериментальному определению сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции включала в себя, в первую очередь, составление программы испытаний и схемы размещения первичных преобразователей температур и тепловых потоков.

Схема размещения первичных преобразователей температуры и тепловых потоков была составлена на основе проектных решений и с учетом рассматриваемого способа кладки. Термодатчики располагались в центре термически однородных зон фрагментов ограждающей конструкции и в выбранных местах характерных сечений (в том числе и в толще фрагмента).

Испытания осуществлялись на фрагментах кладки, выполненных из пазогребневых блоков автоклавного твердения марки по средней плотности D400 размером 300x250x625 мм, произведенных на заводе «АЭРОК СПб» в соответствии с техническими условиями [3]. Представленные для испытаний газобетонные блоки со стороны торцевых пазогребневых частей имели также карманы для захвата.

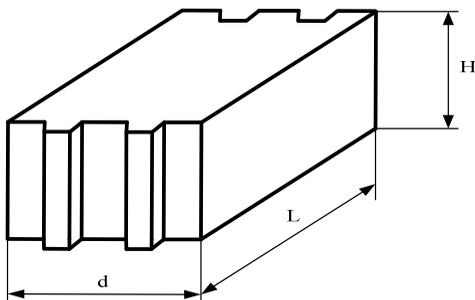


Рисунок 1. Пазогребневая форма блока

Общий вид пазогребневого блока приведен на рисунке 1. Пазогребневые (вертикальные) швы кладки клеем не заполнялись, а горизонтальные швы выполнялись с применением клея (мелкозернистого раствора) фактической толщиной $2\pm 0,5$ мм. Размер выполненных фрагментов кладки составил: высота

Редько Ю.Б., Гринфельд Г.И. Теплотехнические испытания кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400

2250 мм, ширина 1875 мм. Общий вид испытываемых фрагментов кладки представлен на рисунке 2. Вид дан со стороны холодного отсека климатической камеры.



Рисунок 2. Общий вид испытываемого фрагмента кладки из пазогребневых блоков 300 x 250 x 625 мм со стороны холодного отсека климатической камеры

Размер рабочего проема холодного отсека климатической камеры составлял: высота 2100 мм, ширина 1500 мм. Испытываемый фрагмент кладки устанавливался симметрично относительно рабочего проема холодного отсека климатической камеры.

Расположение термопар по толщине фрагмента задавалось алгоритмом, кратным 25%. То есть, термопары располагались на расстоянии $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{4}$ толщины газобетонного блока от его поверхности при их монтаже со стороны теплого отсека климатической камеры.

Испытываемый фрагмент ограждающей конструкции располагался вертикально. Соответственно, тепловой поток был направлен горизонтально.

Температуры и параметры микроклимата в теплом и холодном отсеках климатической камеры поддерживались автоматически и регистрировались непрерывно на ПК с применением программного продукта, разработанного на

основе программы «SCAD». При проведении испытаний температура воздуха в теплом отсеке климатической камеры составляла $+18^{\circ}\text{C}$, а в холодном отсеке -30°C . Температуры воздуха поддерживались с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Величины температур и плотностей тепловых потоков измерялись непрерывно в процессе испытания с помощью измерительно-регистрирующих комплексов ИТП-МГЧ «Поток» с передачей получаемых данных на ПК для последующей графо-аналитической обработки.

При стационарном режиме было выполнено 12 замеров. Средние величины измерений для фрагмента кладки с оштукатуренной поверхностью приведены в **таблице 1**.

q Вт/м^2	$t_{\text{в}}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{н}}$ $^{\circ}\text{C}$	q_1 Вт/м^2	$t_{\text{в}1}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{н}1}$ $^{\circ}\text{C}$	q_2 Вт/м^2	$t_{\text{в}2}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{н}2}$ $^{\circ}\text{C}$	q_3 Вт/м^2	$t_{\text{в}3}$ $^{\circ}\text{C}$
12,6	+ 14,5	- 29,8	13,1	+ 14,6	-27,4	13,4	+ 14,7	- 27,2	12,5	+ 14,9
$t_{\text{н}3}$ $^{\circ}\text{C}$	t_1 греб $^{\circ}\text{C}$	t_2 центр $^{\circ}\text{C}$	t_3 греб $^{\circ}\text{C}$	t_4 $\frac{1}{4}$ $^{\circ}\text{C}$	t_5 $\frac{1}{2}$ $^{\circ}\text{C}$	t_6 $\frac{3}{4}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}7}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{н}8}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{н}9}$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{н}10}$ $^{\circ}\text{C}$
- 25,5	- 8,3	- 2,6	- 10,7	+ 6,2	- 5,3	- 14,9	+ 15,7	- 28,8	- 28,7	- 27,0

Принятые обозначения:

Редько Ю.Б., Гринфельд Г.И. Теплотехнические испытания кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400

q, q_1, q_2, q_3 – плотность теплового потока в соответствующих местах установки тепломеров, Вт/м²;

$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_n, t_v, t_{v7}, t_{n8}, t_{n9}, t_{n10}, t_{n2}, t_{v2}, t_{n3}, t_{v3}$ – величина температуры в местах установки термодатчиков, наружные (н) и внутренние (в) поверхности, °С;

$\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ – глубина расположения термодатчиков по толщине фрагмента в сплошной части;

греб., центр – идентификация термодатчиков, расположенных по толщине пазогребневого шва (гребневая зона, центральная зона).

Поверхностные термодатчики располагались следующим образом:

q, t_n, t_v – однородная зона сплошной части пазогребневого блока в центральной части фрагмента кладки;

q_1, t_{n1}, t_{v1} – горизонтальный (клеевой) шов кладки;

q_2, t_{n2}, t_{v2} – вертикальный (без клея) шов кладки;

q_3, t_{n3}, t_{v3} – вертикальный (без клея) шов кладки.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что в пазогребневом шве температуры t_1, t_2, t_3 не снижаются пропорционально удалению от теплой поверхности, а усредняются по толщине стены. Т.е. сухой вертикальный шов можно рассматривать как единую замкнутую воздушную прослойку, распределение температур в которой определяется конвективными потоками. Относительно же распределения температурных зон по толщине фрагмента кладки можно заметить, что характер изменения температуры соответствует прямопропорциональной зависимости.

Выполненный на основании полученных в результате испытаний экспериментальных данных величин температур и тепловых потоков расчет сопротивления теплопередаче R_0 позволяет сделать заключение о том, что величины сопротивления теплопередаче в зонах пазогребневого шва, клееного шва и сплошной части фрагмента кладки мало отличаются друг от друга. Величина отклонения не превышает 1–2%.

Сопротивление теплопередаче испытанных фрагментов составило $R_0=3,10 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ (фрагмент без штукатурки), $R_{\text{шт}}=3,72 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ (штукатуренный фрагмент). Весовая влажность газобетона в период проведения испытаний составляла 4 %. Фактическая теплопроводность кладки составила при этом (0,085–0,095) Вт/м·°С.

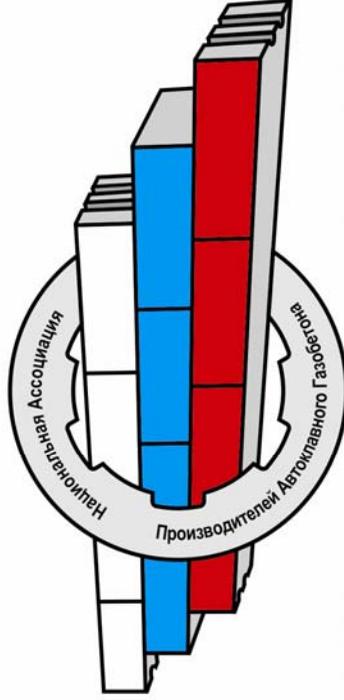
Выводы

1. Теплоизоляционные характеристики испытанных фрагментов кладки выше, чем приведенные в действующих нормах.
2. Циркуляция воздуха в «сухих» пазогребневых швах может стать причиной конденсации паров и увлажнения кладки в зоне шва.
3. Сопротивление теплопередаче кладки через массив бетона, а также в зоне клеевых и «сухих» швов практически одинаково.

Список литературы

1. СТО 501-52-01-2007 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации».
2. ГОСТ 26254-84. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
3. ТУ 5741-001-15224739-2005. Блоки из ячеистого автоклавного газобетона стеновые мелкие.

Национальная Ассоциация Производителей Автоклавного Газобетона



Минимизация энергозатрат
и рисков на всех этапах
жизненного цикла продукции
(производство,
транспортировка,
трансмиссионные потери
эксплуатируемых конструкций,
утилизация)

3,5 миллиона кубометров в год

- Стеновые блоки
- Армированные перемычки
- Плиты покрытия и перекрытия
- Комплектные дома



www.gazo-beton.org

Редько Ю.Б., Ефименко М.Н. Определение теплотехнических свойств блоков из газобетона

Ю.Б. Редько, технический директор ООО «АлгоритмСтрой»

*М.Н. Ефименко, руководитель лаборатории технологических испытаний
ООО «НТЦ «Технологии XXI века»*

Определение теплотехнических свойств блоков из газобетона

Возросшая тенденция к снижению трудозатрат в строительной индустрии, в том числе и в малоэтажном строительстве, вызывает необходимость в применении легких ограждающих конструкций. Одним из таких направлений является применение легких блоков из газобетона.

При определении теплотехнических качеств таких ограждающих конструкций как легкие ограждающие конструкции, включая покрытия и перекрытия, следует использовать максимальный набор регламентирующих методических указаний.

Рассмотрим это на примере выполнения сертификационных испытаний блоков из газобетона в части определения сопротивления теплопередаче в климатической камере в соответствии с требованиями [1].

Порядок отбора образцов для испытаний и их число было установлено в соответствии с техническими условиями заказчиков.

Стыки, примыкания и другие виды соединения элементов ограждающих конструкций были выполнены в соответствии с проектным решением.

Подготовка к экспериментальному определению сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, в первую очередь, включала в себя разработку программы испытаний. В программе испытаний были определены:

- объемы испытаний;
- виды ограждающих конструкций;
- наличие, количество и места расположения контролируемых сечений;
- наличие, количество и места расположения продольных и поперечных стыков;
- схемы размещения первичных преобразователей температур и тепловых потоков.

Испытания осуществлялись в лабораторных условиях на фрагментах кладки из газобетонных блоков. Ширина и высота кладки составили соответственно 1800 мм и 2500 мм. Кладка выполнялась по принятой технологии. Выдержка и сушка кладки выполнялась в соответствии с программой испытаний. Среднее значение влажности кладки в процессе испытаний составляло менее 4%.

Величина рабочего проема со стороны холодного отсека климатической камеры составила 1500х2000 мм.

Фрагмент кладки при испытаниях располагался вертикально, симметрично рабочему проему холодного отсека.

Направление теплового потока при выполнении испытаний – горизонтальное.

Климатические параметры в отсеках климатической камеры поддерживались автоматически, при этом осуществлялась непрерывная фиксация измерений с непосредственной графо-аналитической обработкой.

Схема размещения первичных преобразователей температур и тепловых потоков была составлена на основе проектного решения конструкции. Термопары

Редько Ю.Б., Ефименко М.Н. Определение теплотехнических свойств блоков из газобетона

и тепломеры устанавливались так, чтобы они охватывали зоны поверхности блоков, а также вертикальных и горизонтальных растворных швов.

В связи с наличием в ограждающей конструкции неоднородных участков (стыки, примыкания) и соответствующей им неравномерности температуры поверхности определялось приведенное сопротивление теплопередаче.

Термодатчики располагались в центре термически однородных зон и дополнительно в местах с теплопроводными включениями и в стыках.

Для контроля возможной неоднородности структуры газобетона преобразователи тепловых потоков (тепломеры) устанавливались и так называемыми «розетками», то есть по несколько штук в выбранной термической зоне. Использовались тепломеры следующих размеров: $q_1 = \Phi$ 27 мм, $q_2 = 20 \times 80$ мм, $q_3 = 40 \times 80$ мм.

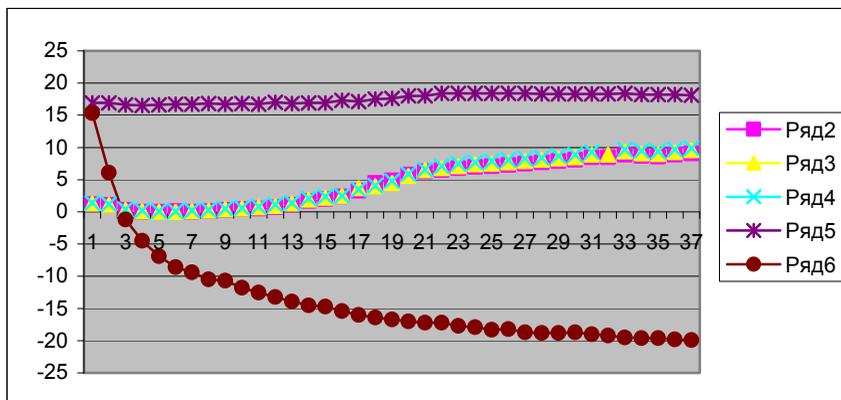


Рисунок 1. Распределение температур и плотностей тепловых потоков в процессе испытания

Графическая обработка результатов измерений температур и плотности тепловых потоков приведена на рисунке 1. Измерения выполнялись непрерывно с автоматической записью результатов. Интервал записи результатов измерений составил 1 час 30 минут. Представлены результаты испытаний блоков газобетона плотности 500 кг/м^3 толщиной 400 мм.

Результаты измерений от момента включения климатической камеры до момента установления в отсеках заданных температур воздуха приведены в таблице 1.

После достижения в отсеках климатической камеры заданных температур воздуха измерения производились по окончании времени тепловой инерции установленного фрагмента, рассчитанному в соответствии с [2] в условиях стационарного теплообмена. Результаты измерений расчетного участка стационарного режима приведены в таблице 2.

В соответствии с программой испытаний, испытания по измерению распределения температур по сечению фрагментов, осуществлялись на фрагментах кладки из газобетона марки по плотности D400, толщиной 300 мм. Особое внимание при этом уделялось надежной фиксации термодатчиков и обеспечения их контакта.

Таблица 1. Результаты измерений до выхода на режим

№ измерения	Плотность теплового потока, q_1 , Вт/м ²	Плотность теплового потока, q_2 , Вт/м ²	Плотность теплового потока, q_3 , Вт/м ²	Температура воздуха в теплом отсеке, $t_в$, °С	Температура воздуха в холодном отсеке, $t_н$, °С
1	1,2	1,3	1,4	16,9	15,3
2	1,1	1,1	1,2	16,9	6,1
3	0,3	0,3	0,4	16,6	-1,2
4	0	0,1	0,2	16,5	-4,5
5	0	0	0,1	16,6	-6,9
6	0,1	0	0,1	16,7	-8,6
7	0	0,1	0,2	16,7	-9,4
8	0,1	0,2	0,3	16,8	-10,5
9	0,3	0,4	0,5	16,7	-10,7
10	0,4	0,5	0,6	16,8	-11,8
11	0,5	0,7	0,8	16,7	-12,5
12	0,7	0,9	1,1	17	-13,2
13	1,1	1,3	1,4	16,8	-13,9
14	1,7	1,9	2,1	16,9	-14,5
15	2,0	2,2	2,4	16,9	-14,7
16	2,4	2,5	2,5	17,3	-15,4
17	3,3	3,7	3,5	17,4	-16,0
18	4,5	4,0	4,1	17,5	-16,4
19	4,9	4,5	4,8	17,6	-16,7
20	5,8	5,6	5,9	18,0	-17,0
21	6,3	6,5	6,6	18,0	-17,2
22	6,5	6,8	7,1	18,2	-17,2
23	6,8	7,1	7,5	18,3	-17,7
24	7,0	7,4	7,7	18,4	-17,9
25	7,1	7,5	7,9	18,4	-18,3
26	7,3	7,7	8,1	18,4	-18,2
27	7,5	7,9	8,3	18,4	-18,7
28	7,7	8,1	8,4	18,3	-18,8
29	7,9	8,3	8,7	18,3	-18,8
30	8,1	8,5	8,9	18,3	-18,7
31	8,5	8,9	9,3	18,3	-19,0
32	8,5	8,9	9,1	18,3	-19,2
33	8,6	9,0	9,4	18,3	-19,5
34	8,7	9,1	9,5	18,2	-19,8
35	8,6	9,0	9,4	18,2	-19,6
36	8,9	9,3	9,7	18,2	-19,8
37	9,1	9,6	9,9	18,1	-19,9

Выводы

1. Получены экспериментальные данные распределения температур и плотностей тепловых потоков от момента начала испытания и до получения режима стационарного теплообмена.

Редько Ю.Б., Ефименко М.Н. Определение теплотехнических свойств блоков из газобетона

2. Измерения, выполненные с помощью «розеток» термодатчиков не зафиксировали существенной неоднородности газобетонных блоков.
3. Приведенное сопротивление теплопередаче панелей газобетона марки по плотности D500 составило $R_0^{np} = 3,18 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$.

Таблица 2. Результаты измерений на участке стационарного режима

№ измерения	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
Плотность теплового потока, $q_1, \text{ Вт/м}^2$	11,5	11,6	11,5	11,4	11,4	11,4	11,6	11,4	11,2	11,5	11,5	11,4
Плотность теплового потока, $q_2, \text{ Вт/м}^2$	12,1	12,2	12,1	12	12	12	12,2	11,9	11,8	12	12,1	11,9
Плотность теплового потока, $q_3, \text{ Вт/м}^2$	12,5	12,6	12,6	12,4	12,4	12,4	12,6	12,3	12,1	12,4	12,5	12,4
Температура воздуха в теплом отсеке, $t_b, \text{ °С}$	+17,8	+17,9	+18	+18	+17,9	+17,8	+18	+18	+17,8	+17,9	+18,1	+17,9
Температура воздуха в холодном отсеке, $t_n, \text{ °С}$	-19,5	-19,5	-19,6	-19,7	-20	-20,3	-20,2	-20	-19,7	-19,6	-19,5	-19,4

Список литературы

1. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
2. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

П.П. Рымкевич, к.ф.-м.н., профессор ВИКА им. А.Ф. Можайского

М.В. Хохлова, к.т.н., доцент ВИКА им. А.Ф. Можайского

В.Б. Коцкович, к.т.н., ст. преподаватель ВИКА им. А.Ф. Можайского

О.В. Рымкевич, ассистент ВИКА им. А.Ф. Можайского

А.С. Горшков к.т.н., докторант ГОУ СПбГПУ

Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

В процессе эксплуатации ограждающие конструкции подвергаются, в том числе, быстро меняющимся температурным и влажностным воздействиям климатического и технологического воздействия.

Методы теории теплопроводности широко известны [1-3]. Тем не менее, для быстро меняющихся внешних условий классические методы и методики имеют ограниченное применение. Технологии 21 века, использующие облегченные конструкции и современные композиционные материалы, при проектировании зданий и сооружений требуют повышенной точности и более строгого учета возможных внешних воздействий. Процесс диффузии тепла, как и обычной диффузии, например, влагоперенос, носит случайный характер и требует для строгого описания вероятностных методов общей теории переноса [4].

Переход от классического описания к более строгому вероятностному аналогичен переходу в физике от классического способа описания в квантовому. В этой работе сделана попытка построить математический аппарат, позволяющий описать логику нестационарного тепломассопереноса через многослойные ограждающие конструкции.

Рассмотрим множество функций $C_{t,\tau}$ двух действительных переменных t и τ , определенных и кусочно-непрерывных для $\tau \geq 0$ и аналитических по переменной $t \in (-\infty; +\infty)$. Пусть $a(t, \tau), b(t, \tau), c(t, \tau) \in C_{t,\tau}$. Определим произведение функций так:

$$c(t, \tau) = a(t, \tau) \overline{\otimes} b(t, \tau) \stackrel{Def}{=} \int_0^{\tau} a(t, \tau_1) b(t + \tau_1, \tau - \tau_1) d\tau_1 \quad (1)$$

Обозначим $R_{\overline{\otimes}}$ – кольцо функций $C_{t,\tau}$ с естественным определенным сложением и умножением в смысле (1).

Рассмотрим некоторую упорядоченную последовательность функций $a, b, c, \dots \in R_{\overline{\otimes}}$. В некоторых задачах $a(t, \tau)$ можно интерпретировать как функцию распределения некоторого события A , начавшегося в момент времени t и распределенного по длительности события $\tau \geq 0$. В этом случае указанную выше последовательность функций будем называть процессом, состоящим из последовательного выполнения событий A, B, C, \dots . В дальнейшем элементы кольца $R_{\overline{\otimes}}$ будем называть функциями соответствующих событий.

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

Необходимость использования кольца R_{\otimes} означает, что большинство окружающих нас явлений Природы есть некоторые упорядоченные цепи тех или иных событий.

В простейшем случае, если $a, b, c \dots$ не зависят от переменной t (например, времени начала события) явно, что интеграл (1) представляет обычную свертку функций (умножение в смысле Микусинского [3]), т.е. $c(\tau) = a(\tau) * b(\tau)$. Таким образом $R_* \subset R_{\otimes}$. Отметим, что в отличие от кольца Микусинского, кольцо R_{\otimes} имеет делители нуля, т.е. не может быть расширено элементарным способом до поля отношений; кольцо R_{\otimes} , как и кольцо R_* , есть кольцо с единицей, причем ноль единичного элемента играет $\delta(\tau)$ – дельта функция Дирака. Как принято в операционном исчислении [6,7], элементы кольца R_{\otimes} будем называть операторами (распределениями), и в класс функций $C_{t,\tau}$ включаются и обобщенные функции.

В дальнейшем более удобно использовать не само кольцо R_{\otimes} , а кольцо R_{\otimes} . Изоморфизм между кольцами R_{\otimes} и R_{\otimes} устанавливается с помощью преобразования Лапласа

$$A(t, s) = \int_0^{\infty} a(t, \tau) e^{-s\tau} d\tau$$

где $A(t, s)$ – аналитическая функция по обоим переменным (действительной t и комплексной s).

Определим произведение функций $A(t, s)$ $\otimes B(t, s) = C(t, s)$; $A, B, C \in R_{\otimes}$, описывающих мультипликативную полугруппу кольца R_{\otimes} так:

$$C(t, s) \stackrel{Def}{=} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \cdot \frac{\partial^n A(t, s)}{\partial s^n} \cdot \frac{\partial^n B(t, s)}{\partial s^n} = A(t, s) \otimes B(t, s) \quad (2)$$

Действительно, пусть $A(t, s)$ и $B(t, s)$ – Лаплас-образы распределений $a(t, \tau)$ и $b(t, \tau)$, а $C(t, s)$ - Лаплас-образ $c(t, \tau) = a(t, \tau) \otimes b(t, \tau)$, тогда

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

$$\begin{aligned}
 C(t, s) &= \hat{L} \left\{ \int_0^\tau a(t, \tau_1) b(t + \tau_1, \tau - \tau_1) d\tau_1 \right\} = \\
 &= \hat{L} \left\{ \int_0^\tau a(t, \tau_1) \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} b_t^{(n)}(t, \tau - \tau_1) \tau_1^n \right] d\tau_1 \right\} = \\
 &= \hat{L} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^\tau [a(t, \tau_1) \tau_1^n] \cdot b_t^{(n)}(t, \tau - \tau_1) d\tau_1 \right\} = \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \left\{ \hat{L} [a(t, \tau) \tau^n] \right\} \cdot \left\{ \hat{L} b_t^{(n)}(t, \tau) \right\} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} A_s^{(n)}(t, s) \cdot B_t^{(n)}(t, s)
 \end{aligned}$$

Ассоциативность кольца следует из ассоциативности кольца R_{\otimes} .

Умножение в смысле (2) связано со сложением законами дистрибутивности. R_{\otimes} – кольцо с единицей, причем единицей кольца R_{\otimes} является функция $E(t, s) \equiv 1$.

Рассмотрим некоторые простейшие свойства кольца R_{\otimes} .

$$\begin{aligned}
 1. \quad [t, s] &= t \otimes s - s \otimes t = 1 \\
 [s, A(t, s)] &= -A_t'(t, s) \\
 2. \quad [t, A(t, s)] &= A_s'(t, s)
 \end{aligned}$$

Таким образом, операция дифференцирования аналитической функции $A(t, s)$ по одной из переменных сводится к взятию соответствующего коммутатора. Следует отметить, что в отличие от классической квантовой механики t и S не операторы, а числовые переменные, и $A(t, s)$ – аналитическая функция числовых переменных.

Правила дифференцирования умножения в смысле (2) такие же, как и для обычного умножения, т.е.

$$\begin{aligned}
 3. \quad \frac{\partial}{\partial s} [A(t, s) \otimes B(t, s)] &= A_s^{\odot}(t, s) \otimes B(t, s) + A(t, s) \otimes B_s^{\odot}(t, s) \\
 \frac{\partial}{\partial t} [A(t, s) \otimes B(t, s)] &= A_t'(t, s) \otimes B(t, s) + A(t, s) \otimes B_t'(t, s)
 \end{aligned}$$

Умножение в смысле (2) тесно связано с оператором дифференцирования, действительно

$$4. \quad A(t, s) \otimes B(t, s) = A(t, S - D_t) \cdot B(t, s) = B(t - D_s, S) \cdot A(t, s),$$

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

$$\text{здесь } D_t \equiv \frac{\partial}{\partial t} \quad D_s \equiv \frac{\partial}{\partial s}$$

Номера над некоммутирующими элементами обозначают порядок их следования справа налево. Это обозначение было предложено В.П. Масловым в [8]. Впервые, по-видимому, Фейман [9] начал систематически использовать функции от упорядоченных операторов [10-13], а также исчисления вейлевских функций [14,15]. Умножение в смысле (2) тесно связано с алгеброй Гейзенберга [16, 17]. Основное отличие рассматриваемого аппарата заключается в том, что все элементы колец R_{\otimes} и R_{\otimes} являются обычными функциями числовых переменных, а, следовательно, и придание им иного физического смысла.

Имеется значительное число работ, посвященных получению различных коммутационных соотношений и правил действия от некоммутирующих операторов [8, 11-14 и др.]. Сводка формул некоммутативного анализа приведена в [10].

Кольцо R_{\otimes} с использованием преобразования Лапласа удобно для ряда практических задач с заданными начальными условиями. Однако, для решения общих физических проблем вместо преобразования Лапласа предпочтительней использовать экспоненциальное преобразование Фурье. При этом если положить $s = i\omega$, то все вышеприведенные соотношения останутся в силе, а выражение (2) переписется так:

$$C(t, \omega) = A(t, \omega) \otimes B(t, \omega) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(i)^n}{n!} A_{\omega}^{(n)}(t, \omega) B_t^{(n)}(t, \omega) \quad (3)$$

$$c(t, \tau) = a(t, \tau) \overline{\otimes} b(t, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t, \tau_1) b(t + \tau_1, \tau - \tau_1) d\tau_1 \quad (4)$$

Здесь A, B, C – фурье образы распределений a, b, c по переменной t .

Обычно в физических процессах под переменной t подразумевается время, а под ω – частоты событий. Вместо величины ω часто будет использоваться $\varepsilon = \hbar\omega$, которую будем называть квазиэнергией. В переменных t, ε выражение (3) примет вид:

$$c(t, \varepsilon) = A(t, \varepsilon) \otimes B(t, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(i\hbar)^n}{n!} A_{\varepsilon}^{(n)}(t, \varepsilon) B_t^{(n)}(t, \varepsilon) \quad (5)$$

При этом

$$[\varepsilon, t] = i\hbar \quad (6)$$

Если в соотношении (5) осуществить формальный переход $\hbar \rightarrow 0$, то умножение в смысле (5) превращается в обычное коммутативное умножение, т.е.

$$c(t, \varepsilon) \underset{\hbar \rightarrow 0}{=} A(t, \varepsilon) \cdot B(t, \varepsilon)$$

В пространстве оригиналов этот предельный переход означает, что

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

$$c(t, \varepsilon) = \int_{h \rightarrow 0}^{\tau} a(t, \tau_1) \cdot b(t, \tau - \tau_1) d\tau_1 = a(t, \tau) * b(t, \tau).$$

Последнее означает, что пренебрегается изменением свойств за время длительного события. Для квантово-механического описания этот переход означает переход к классическому описанию.

Все вышесказанное указывает на то, что большинство встречающихся в природе явлений естественным образом квантованы, т.к. для их описания необходимо использовать некоммутативное кольцо R_{\otimes} . В философском плане данное утверждение означает, что часть квантовомеханических утверждений справедлива не только для микрообъектов (квантовомеханических объектов), но и для макромира.

Кольцо, аналогичное R_{\otimes} , можно построить для любой пары действительных переменных, определенных на всей числовой оси. Пусть $a(x, r_x), b(x, r_x), c(x, r_x) \in R$ – множество функций, аналитических по переменной x и кусочно-непрерывных по переменной r_x с естественным сложением и умножением в смысле (7).

$$c(x, r_x) = a(x, r_x) \overline{\Delta} b(x, r_x) \stackrel{Def}{=} \int_{-\infty}^{+\infty} a(x, \theta) b(x + \theta, r_x - \theta) d\theta. \quad (7)$$

В некоторых случаях выражение (7) можно интерпретировать как два последовательных события, объединенных в одно и заключающихся в переходе «чего-либо» из точки с координатой x в точку с координатой $x + r_x$ (т.е. r_x играет роль переменной). При этом первое событие – это перемещение из точки x на θ , а второе – перемещение из точки с координатой $x + \theta$ на $r_x - \theta$. При вероятностной трактовке выражение (7) представляет собой известное уравнение Смолуховского-Колмогорова-Чепмена. Воспользуемся преобразованием Фурье, т.е.

$$A(x, k_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(x, r_x) e^{ik_x r_x} dr_x. \quad (8)$$

Определим произведение $c(x, k_x) = A(x, k_x) \Delta B(x, k_x)$, $A, B, C \in R_{\Delta}$,

так:

$$\begin{aligned} c(x, k_x) &= \hat{F} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} a(x, \theta) b(x + \theta, r_x - \theta) d\theta \right] = \hat{F} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} a(x, \theta) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\theta^n}{n!} b_x^{(n)}(x, r_x - \theta) d\theta \right] = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \hat{F} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} a(x, \theta) \theta^n b_x^{(n)}(x, r_x - \theta) d\theta \right\} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-i)^n}{n!} A_{k_x}^{(n)}(x, k_x) B_x^{(n)}(x, k_x). \end{aligned} \quad (9)$$

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

Свойства кольца R_{Δ} полностью эквивалентны свойствам кольца R_{\otimes} . Отметим лишь то, что

$$[k_x, x] = k_x \Delta x - x \Delta k_x = -i. \quad (10)$$

Умножение в смысле (8) легко обобщается и на случай функций дискретных переменных. Заметим, что все вышесказанное можно обобщить и на любое конечное число действительных переменных. В частности, для случая трех независимых переменных в кольце R_{Δ} определим умножение аналогичным образом, а именно:

$$\begin{aligned} c(\vec{R}, \vec{r}) &= a(\vec{R}, \vec{r}) \Delta b(\vec{R}, \vec{r}) \stackrel{Def}{=} \\ &= \int \int \int_{-\infty}^{+\infty} a(x, y, z | \theta_x, \theta_y, \theta_z) \cdot b(x + \theta_x, y + \theta_y, z + \theta_z | r_x - \theta_x, r_y - \theta_y, r_z - \theta_z) \cdot d\theta_x d\theta_y d\theta_z \end{aligned} \quad (11)$$

Тогда для соответствующих Фурье-образов имеем:

$$\begin{aligned} -(\vec{R}, \vec{k}) &= A(\vec{R}, \vec{k}) \Delta B(\vec{R}, \vec{k}) = \\ &= \sum_{\substack{n_x=0 \\ n_y=0 \\ n_z=0}}^{\infty} \frac{(-i)^{n_x+n_y+n_z}}{n_x! n_y! n_z!} \cdot \frac{\partial^{n_x+n_y+n_z} A(\vec{R}, \vec{k})}{\partial k_x^{n_x} \partial k_y^{n_y} \partial k_z^{n_z}} \cdot \frac{\partial^{n_x+n_y+n_z} B(\vec{R}, \vec{k})}{\partial k_x^{n_x} \partial k_y^{n_y} \partial k_z^{n_z}}. \end{aligned} \quad (12)$$

$\vec{R} \{x, y, z\}, \vec{k} \{k_x, k_y, k_z\}$ – векторы линейного векторного пространства (над полем c -комплексных чисел).

Введем величину $\vec{P} = \hbar \vec{k}$, которую будем называть квазиимпульсом. В переменных \vec{R} и \vec{P} выражение (12) примет вид:

$$C(\vec{R}, \vec{p}) = A(\vec{R}, \vec{p}) \Delta B(\vec{R}, \vec{p}) = \sum_{\substack{n_x=0 \\ n_y=0 \\ n_z=0}}^{\infty} \frac{(-i\hbar)^{n_x+n_y+n_z}}{n_x! n_y! n_z!} \cdot \frac{\partial^{n_x+n_y+n_z} A(\vec{R}, \vec{p})}{\partial p_x^{n_x} \partial p_y^{n_y} \partial p_z^{n_z}} \cdot \frac{\partial^{n_x+n_y+n_z} B(\vec{R}, \vec{p})}{\partial p_x^{n_x} \partial p_y^{n_y} \partial p_z^{n_z}}. \quad (13)$$

Обратим внимание, что для квазиимпульса, как и для квантовомеханического импульса, выполняются перестановочные соотношения Гейзенберга, а именно:

$$\begin{aligned} [p_x, x] &= -i\hbar \\ [p_y, y] &= -i\hbar \\ [p_z, z] &= -i\hbar \end{aligned} \quad (14)$$

Особенно важно отметить, что приведенные коммутационные соотношения никак не связаны с «физикой» каких-либо процессов, а являются лишь способом описания.

Обычно все элементы $A, B, C \dots \in R$ образуют алгебру (в общем случае над полем комплексных чисел) с единицей. Чаще всего элементы $A, B, C \dots$

Рымкевич П.П., Хохлова М.В., Кокович В.Б., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений

представляют собой квадратные матрицы. Единичным элементом алгебры R в этом случае будет единичная матрица.

Нетрудно показать, что процесс распространения тепла (как и процесс влагопереноса) в точности подчиняется "квантовой" логике.

Список литературы

1. Карслоу Х.С. Теория теплопроводности.-М.: Гостеоиздат, 1947.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика.-М.: Высшая школа, 1982.- 415 с.
3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести.-М., 2004.- 712 с.
4. Рымкевич П.П. Введение в теорию распространения свойств.//Труды XXVII Летней Международной Школы «Анализ и синтез нелинейной механики колебательных систем», СПб, 1999.-С.455-496.
5. Микусинский Ян. Операторные исчисления. -М.:ИЛ, 1956.
6. Диткин В.А., Прудников А.П. Операционное исчисление. М.: Внешняя школа, 1975.
7. Бейтмен Г., Эрдейн А. Таблицы интегральных преобразований. -М.: Наука, 1969.-Т1.
8. Маслов В.П. Операторные методы.-М.: Наука, 1973.
9. Фейман Р.П. Об операторном исчислении, имеющем приложение в квантовой электродинамике. //Проблемы современной физики.-М.:, 1955.-Т3.-С.37-79
10. Карасев М.В., Маслов В.П. Нелинейные скобки Пуассона. Геометрия и квантование.-М.: Наука. 1991.
11. Карасев М.В., Маслов В.П. Алгебры с общими перестановочными соотношениями и их приложения. //Современные проблемы математики.-М.: ВИНТИ,1979.-Т13.-С.145-267
12. Маслов В.П. Применение метода упорядоченных операторов для получения точных решений. //ТНФ.- 1977.-Т3, №2.-С.185-209.
13. Маслов В.П., Незайкинский В.Е. Алгебры с общими перестановочными соотношениями и их приложения. //Современные проблемы математики. М.: ВИНТИ, 1979.- Т13.-С.5-144.
14. Карасев М.В. О вейлевском и упорядоченном исчислении некоммутирующих операторов //Математические заметки.-1979-Т26, №6.-С.885-907.
15. Anderson R.F.V. The Weyl functional calculus //I. Funct. Anal.-1969-V.4.№2.- P.240-267
16. Березин Ф.А. Квантование. //Изв. АН СССР. Сер. мат.-1974.-Т38, №5.-С.1116-1175.
17. Березин Ф.А. Квантование в комплексных симметричных пространствах. //Изв. АН СССР. Сер. мат.-1975.-Т39, №2.-С.363-402.

Рымкевич П.П., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений

Рымкевич П.П., к.ф.-м.н., профессор ВИКА им. А.Ф. Можайского

Рымкевич О.В., ассистент ВИКА им. А.Ф. Можайского

Горшков А.С., к.т.н., докторант ГОУ СПбГПУ

Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений

Определение характера распределения температур по толщине конструкции является одной из основных задач тепломассопереноса. Современные здания и сооружения чаще всего представляют собой многослойные конструкции с использованием современных композиционных материалов.

Методы теории теплопроводности широко известны [1-3]. Тем не менее, для решения ряда задач нестационарной теплопроводности и тепловой устойчивости существующие методы и методики имеют ряд существенных неудобств. Прежде всего при наличии многослойных конструкций, широко используемых в последнее время, с различными теплопроводными включениями для определения полей температур на каждой границе возникает необходимость срывать решения, что приводит к излишнему усложнению расчетов. При этом непосредственный вклад от каждого слоя (насколько он целесообразен) далеко не очевиден. Имеются также известные проблемы с заданием граничных условий.

Авторами работы предложен новый метод решения задач нестационарной теплопроводности, основанный на вероятностных методах общей теории переноса [4-6]. В данной работе будет рассмотрен лишь простейший переноса тепла через плоскую многослойную конструкцию.

Процесс передачи тепла с позиций современной физики можно рассматривать как диффузию аддитивного скалярного свойства – тепловой энергии. Пусть теплоперенос осуществляется вдоль некоторой оси Ox . Так как тепловая энергия распространяется как по, так и против оси Ox , то в качестве локальной характеристики целесообразно ввести соответствующие плотности токов тепла $q_{\leftrightarrow}(x, t)$, которые можно рассматривать как векторы в двумерном

пространстве $\{q_{\rightarrow}; q_{\leftarrow}\}$. В качестве одной из локальных характеристик среды можно ввести скорость распространения тепла $c(x)$, за которую принять в большинстве случаев можно скорость звука. Очевидно, что плотность тока тепла $q(x, t) = q_{\rightarrow}(x, t) + q_{\leftarrow}(x, t)$. Переносимую часть внутренней энергии можно трактовать как неравновесный фононный газ, диффундирующий в общем случае по разным механизмам. Плотность переносимой части энергии $U(x, t) = 1/c \cdot [q_{\rightarrow}(x, t) + q_{\leftarrow}(x, t)]$. При этом можно принять, что

$U = c_v \rho T$, где c_v – удельная теплоемкость, ρ – локальная плотность среды,

$T(x, t)$ - искомое поле температур ($dU = c_v \rho dT$). С общих позиций теории переноса распространение данного аддитивного свойства определяется не

Рымкевич П.П., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений

только самим свойством, но и свойствами одномерного пространства, которое будем называть средой. Характеристики среды могут определяться как распределением других свойств (например, влагоперенос, механические нагрузки и т.д.), так и (в общем случае нелинейно) распределением самого изучаемого свойства (тепловой энергии).

Рассмотрим отрезок оси $Ox - [x_1; x_2]$, который будем называть **слоем среды**. Положим, что на слой $[x_1; x_2]$ «падает» ток $q_0(x_1 - 0, t)$.

вначале случай, когда $q_0 = \delta(t' - t)$, где t' – текущее время, t – фиксированный момент времени. Введем следующие характеристики **слоя среды**:

- коэффициент прохождения – $\Lambda(t, x_1 | x_2, \tau) = q_{\rightarrow}(x_2 - 0, t + \tau)$ – плотность тока тепла, прошедшего слой $(x_1; x_2)$ за время τ ; при этом считается, что за границами слоя $[x_1; x_2]$ стоят полностью поглощающие тепло экраны;
- коэффициент отражения – $P(t, x_1 | x_2, \tau) = q_{\leftarrow}(x_1 + 0, t + \tau)$ – плотность тока тепла, отразившегося от слоя $(x_1; x_2)$ за время τ ; т.е. первое отражение без пересечения границ $x = x_1 \cup x = x_2$ ранее;
- коэффициент поглощения – $R(t, x_1 | x_2, \tau)$ – ток тепла, поглощающийся (рождающийся) в слое $(x_1; x_2)$ в момент $(t + \tau)$.

Отметим, что введенные коэффициенты и сами токи q_{\leftrightarrow} будем считать комплексными числами (в многоканальной теории коэффициенты Λ, P, R будут представлять собой квадратные матрицы). Введенный выше коэффициент поглощения R не означает, что в среде имеются постоянно действующие источники (стоки) тепла. Под источником тепла будем подразумевать образование тепловой энергии U в момент $t > t_0$, если до этого оно отсутствовало, а промежуток полностью ограничен экранами. Введение свойств поглощающего, отражающего, полупрозрачного экранов имеют простой смысл и служат лишь способом наглядного описания.

Все сказанное выше будем изображать диаграммой вида (рисунок 1):

Все коэффициенты (распределения) Λ, P, R полагаются равными нулю для $\tau < 0$ (принцип причинности). Для распределений Λ, P, R можно составить рекуррентные соотношения (аналог уравнений Колмогорова-Смолуховского-Чепмена).

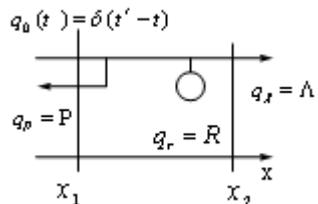


Рисунок 1

Рымкевич П.П., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений

В самом общем случае на языке кольца R_{\otimes} [4] эти соотношения имеют вид.

$$\begin{aligned} \Lambda(x_1 | x_3) &= \Lambda(x_1 | x_2) \overline{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \overline{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\overline{\otimes}-1} \overline{\otimes} \Lambda(x_2 | x_3), \\ P(x_1 | x_3) &= P(x_1 | x_2) + \Lambda(x_1 | x_2) \overline{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \overline{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\overline{\otimes}-1} \overline{\otimes} \\ &\overline{\otimes} P(x_2 | x_3) \overline{\otimes} \Lambda(x_2 | x_1), \\ R(x_1 | x_3) &= R(x_1 | x_2) + \Lambda(x_1 | x_2) \overline{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \overline{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\overline{\otimes}-1} \overline{\otimes} \\ &\overline{\otimes} [P(x_2 | x_3) \overline{\otimes} R(x_2 | x_1) + R(x_2 | x_3)]. \end{aligned} \quad (1)$$

Далее везде, где это не будет вызывать недоразумение, переменные t и τ (S и t) будут опущены.

Все эти соотношения представлены на диаграммах (рисунок 2):

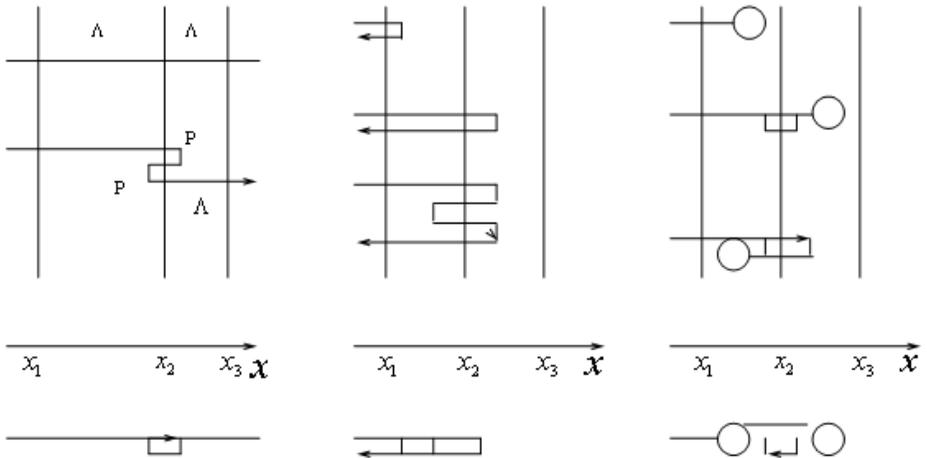


Рисунок 2

Символ $\overline{\otimes}$ означает многократное пересечение мысленной границы $x = x_2$ и учитывается в уравнении (1) множителем $[\delta - P(x_2 | x_3) \overline{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\overline{\otimes}-1}$, определяемым соответствующим рядом.

Математический аппарат основан на некоммутативном умножении и более подробно представлен в [4].

Физический смысл уравнений (1) рассмотрим на примере первого уравнения этой системы. Событие – прохождение носителя тепла (фонона) через слой $[x_1; x_3]$ возможно только пересекая мысленную границу $x = x_2$ нечетное количество раз. Иными словами, согласно теоремам о сложении и умножении вероятностей для распределений имеем

Рымкевич П.П., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений

$$\begin{aligned} \Lambda(t, x_1 | x_2, \tau) &= \int_0^{\tau} \Lambda(t, x_1 | x_2, \tau_1) \cdot \Lambda(t + \tau_1, x_2 | x_3, \tau - \tau_1) d\tau_1 + \\ &+ \Lambda(x_1 | x_2) \otimes \overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \overline{P}(x_2 | x_1) \otimes \Lambda(x_2 | x_3) + \dots = \\ &= \Lambda(x_1 | x_2) \otimes [\delta - \overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \overline{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \Lambda(x_2 | x_3) \end{aligned}$$

Вместо распределений Λ, P, R целесообразно сразу использовать их Лаплас-образы (Фурье-образы), а именно $\overline{\Lambda}, \overline{P}, \overline{R}$. При этом вместо символа \otimes необходимо использовать умножение \otimes в смысле (3). Переход от одних колец к другим в теории переноса формулируется в виде «**нестационарного принципа**». Суть его сводится к следующему. Пусть некоторая аддитивная величина M , не имеющая структуры, описывается коэффициентами $\overline{\Lambda}, \overline{P}, \overline{R}$, а со структурой – аналогичными элементами $\tilde{\Lambda}, \tilde{P}, \tilde{R}$, при этом $\tilde{\Lambda}, \tilde{P}, \tilde{R}$ принадлежат более сложному кольцу R_O . Тогда переход от описания распространения свойства M к описанию распространения свойства \tilde{M} сводится к замене операции \otimes на операцию умножения \circ и замены 1 на единицу кольца R_O без изменения вида уравнений. Иными словами, и для многоканального случая справедлива система (1) с соответствующей заменой символов. Соответственно в общем случае система (1) примет вид:

$$\begin{aligned} \overline{\Lambda}(x_1, t | x_3, S) &= \overline{\Lambda}(x_1 | x_2) \otimes [I - \overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \overline{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \tilde{\Lambda}(x_2 | x_3) \\ \overline{P}(x_1, t | x_3, S) &= \overline{P}(x_1 | x_2) + \overline{\Lambda}(x_1 | x_2) \otimes [I - \overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \overline{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \\ &\otimes \overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \Lambda(x_2 | x_1) \\ \overline{R}(x_1, t | x_3, S) &= \overline{R}(x_1 | x_2) + \overline{\Lambda}(x_1 | x_2) \otimes [I - \overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \overline{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \\ &\otimes [\overline{P}(x_2 | x_3) \otimes \overline{R}(x_2 | x_1) + \overline{R}(x_2 | x_3)] \end{aligned} \quad (2)$$

Соотношения (2) позволяют последовательно определить свойства системы слоев, зная свойства каждого слоя, т.е. дают конструктивный путь решения задач переноса тепла.

Некоммутативность колец R_{\otimes} и R_{\otimes} существенна для сильно нестационарных процессов, когда за среднее время прохождения тепла меняются свойства среды, т.е. «блуждающий» фонен каждый раз попадает в новую среду. Если же все коэффициенты не зависят от времени t явно или этой зависимостью можно пренебречь, то умножение « \otimes » представляет собой обычное умножение, т.е.

Рымкевич П.П., Рымкевич О.В., Горшков А.С. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений

$$\begin{aligned}\bar{\Lambda}(x_1|x_3, S) &= \frac{\bar{\Lambda}(x_1|x_2) \bar{\Lambda}(x_2|x_3)}{1 - \bar{P}(x_2|x_3) \bar{P}(x_2|x_1)} \\ \bar{P}(x_1|x_3, S) &= \bar{P}(x_1|x_2) + \frac{\bar{\Lambda}(x_1|x_2) \bar{\Lambda}(x_2|x_1) \bar{P}(x_2|x_3)}{1 - \bar{P}(x_2|x_3) \bar{P}(x_2|x_1)} \\ \bar{R}(x_1|x_3, S) &= \bar{R}(x_1|x_2) + \frac{\bar{\Lambda}(x_1|x_2) [\bar{P}(x_2|x_3) \bar{R}(x_2|x_1) + \bar{R}(x_2|x_3)]}{1 - \bar{P}(x_2|x_3) \bar{P}(x_2|x_1)}\end{aligned}\quad (3)$$

Некоммутативность существенна и в тех случаях, когда среда неоднородная или в слое среды имеются включения. В этом случае надо ввести понятие канала распространения и все коэффициенты $\bar{\Lambda}, \bar{P}, \bar{R}$ представляют собой квадратные матрицы. В реальности закон Фурье является достаточно приближенным и хорошо выполняется только для стационарного случая. Это объясняется тем, что передача тепла даже в однородной среде идет не по одному механизму (существуют также внутренние каналы передачи тепла) [4].

Наличие нескольких механизмов теплопроводности приводит к немножеству уравнений, описывающих процесс теплопереноса [5]

Для большинства инженерных расчетов все эти «тонкости» могут не учитываться и можно пользоваться соотношениями (2).

Список литературы

1. Карслоу Х.С. Теория теплопроводности. -М.: Гостеоиздат, 1947.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. -М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. М., 2004. 712 с.
4. Рымкевич П.П. Введение в теорию распространения свойств. //Труды XXVII Летней Международной Школы «Анализ и синтез нелинейной механики колебательных систем», СПб, 1999. С.455-496.
5. Инженерные системы, №3 (41), 2009. С. 64-66.

Коцкович В.Б., Рымкевич О.В., Рымкевич П.П., Хохлова М.В. Оценка среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию с позиций физической кинетики

В.Б. Коцкович, к.т.н., ст. преподаватель ВИКА им. А.Ф.Можайского

О.В. Рымкевич, ассистент ВИКА им. А.Ф.Можайского

П.П. Рымкевич, к.ф.-м.н., профессор ВИКА им.А.Ф.Можайского

М.В. Хохлова, к.т.н., доцент ВИКА им.А.Ф.Можайского

Оценка среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию с позиций физической кинетики

Современные здания и сооружения чаще всего представляют собой многослойные конструкции с использованием композиционных материалов. В процессе проектирования зданий и сооружений с учетом тепловой устойчивости целесообразно знать и уметь определять среднее время прохождения тепла в том или ином месте конструкции. Знание средних времен прохождения тепла позволяет оценить тепловую «инерцию» данной конструкции. Широко известные методы теплопроводности [1-3] не позволяют этого сделать. Авторами работы предложен метод оценки среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию, основанный на вероятностных методах общей теории переноса [4-6]. Основные вероятностные характеристики среды введены в работе [7].

В терминах работы [7] целесообразно рассмотреть бесконечно тонкий слой dx . Поскольку $\bar{\Lambda}(\cdot | x) \equiv 1, \bar{P}(x | x) = \bar{R}(x | x) \equiv 0$, если нет сингулярностей (имеющиеся сингулярности будем называть экранами). Разлагая $\bar{P}(x | x \pm dx)$ и $\bar{R}(x | x \pm dx)$ $dx > 0$ в ряд и, оставляя первые члены разложения, будем иметь:

$$\bar{P}(x | x \pm dx) = a(x, t)dx + 0(dx)$$

$$\bar{R}(x | x \pm dx) = \chi(x, t)dx + 0(dx)'$$

где $a(x, t)$ и $\chi(x, t)$ будем называть показателями отражения и поглощения, соответственно. Таким образом, a и χ суть локальные характеристики среды по отношению к распространению тепла.

Введем понятие среднего времени прохождения тепла слоем Δx так:

$$t_{\lambda}(\Delta x) \stackrel{Def}{=} - \frac{\partial}{\partial S} [\ln \bar{\Lambda}(x | x + \Delta x)] \Big|_{S=0} \cdot (1)$$

Иногда удобно пользоваться и соответствующими средними временами отражения и поглощения, определенными аналогичным образом:

$$t_p(\Delta x) = - \frac{\partial}{\partial S} \ln[\bar{P}(x | x + \Delta x)] \Big|_{S=0},$$

$$t_r(\Delta x) = - \frac{\partial}{\partial S} \ln[\bar{R}(x | x + \Delta x)] \Big|_{S=0} \cdot (2)$$

Коцкович В.Б., Рымкевич О.В., Рымкевич П.П., Хохлова М.В. Оценка среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию с позиций физической кинетики

Скоростью свойства M в точке x в момент времени t в направлении оси Ox будем называть предел средней скорости (если он существует) при толщине слоя $\Delta x \rightarrow 0$.

$$c(t, x) \stackrel{Def}{=} \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{t_\lambda(\Delta x)} = - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Lambda'_{S=0}(t, x | x + \Delta x, S)}. \quad (3)$$

В силу этого,

$$\bar{\Lambda}(t, x | x + dx, S) = 1 - \left[\frac{S}{c(x, t)} + a(x, t) + \chi(x, t) \right] dx \quad (4)$$

Величину $\theta(x, t) = a(x, t) + \chi(x, t)$ будем называть показателем диссипации. Этот результат справедлив и для многоканального случая, l в этом случае – единица соответствующей алгебры.

Остановимся на введенном понятии скорости. Обратим внимание, что для многоканального свойства существует $2N$ скоростей, где N – число каналов распространения. При этом понятие скорости отличается от понятия скорости в классической механике, – рассматривается не скорость перемещения материальной точки, а средняя скорость прохождения между двумя фиксированными точками.

Аналогично понятию скорости можно ввести и понятие ускорения прохождения слоя Δx теплом. Среднее ускорение определим по аналогии со скоростью так:

$$\langle w(t, \Delta x) \rangle \stackrel{Def}{=} \frac{c(x + \Delta x, t) - c(x, t)}{t_\lambda(\Delta x)} = \frac{c(x + \Delta x, t) - c(x, t)}{\Delta x} \cdot \langle v(t, x) \rangle \quad (5)$$

Дадим определение понятию ускорения.

Ускорением передачи тепла в точке x в направлении оси Ox в момент времени t будем называть предел среднего ускорения, если он существует, при толщине слоя $\Delta x \rightarrow 0$.

$$w(x, t) = c(t, x) \cdot \frac{\partial c(t, x)}{\Delta x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial x} c^2(t, x). \quad (6)$$

Введенные понятия скорости и ускорения позволяют приближенно оценивать температурные поля, используя механическую аналогию.

Для однородной симметричной среды в одноканальном случае $\bar{\Lambda}, \bar{P}, \bar{R}$

$$\begin{aligned} \bar{\Lambda}(z, S) &= \frac{2\mu(S - \mu)e^{-\mu z}}{a^2 - (S - \mu)^2 e^{-2\mu z}}, \\ \text{имеют простой вид: } \bar{P}(z, S) &= \frac{a(S - \mu)[1 - e^{-2\mu z}]}{a^2 - (S - \mu)^2 e^{-2\mu z}}, \\ \bar{R}(z, S) &= \frac{\sqrt{2}\chi\sqrt{S - \mu}}{\sqrt{S - a}} \cdot \frac{[1 - e^{-\mu z}]}{[a + (S - \mu)e^{-\mu z}]}. \end{aligned} \quad (7)$$

Коцкович В.Б., Рымкевич О.В., Рымкевич П.П., Хохлова М.В. Оценка среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию с позиций физической кинетики

Здесь введены обозначения $z = x_2 - x_1$, $\mu = \sqrt{S^2 - a^2}$.

Средние времена t_λ и t_p легко определяются из соотношения (1), (2) и (7) соответственно. В качестве примера рассмотрим среднее время прохождения тепла через двухслойную конструкцию с толщинами z_1 и z_2 и средними временами $t_{\lambda 1}$, $t_{\lambda 2}$, и $t_{p 1}$, $t_{p 2}$. Используя соотношение (3), а именно

$$\begin{aligned} \bar{\Lambda}(z_1 + z_2, S) &= \frac{\bar{\Lambda}(z_1)\bar{\Lambda}(z_2)}{1 - \bar{P}(z_1)\bar{P}(z_2)} \\ \bar{P}(z_1 + z_2, S) &= \bar{P}(z_1) + \frac{\bar{\Lambda}(z_1)\bar{P}(z_2)}{1 - \bar{P}(z_1)\bar{P}(z_2)} \end{aligned} \quad (8)$$

Непосредственно используя соотношение (1) и (2), получаем:

$$\begin{aligned} t_\lambda(z_1 + z_2) &= t_\lambda(z_1) + t_\lambda(z_2) + \frac{P(z_1)P(z_2)[t_p(z_1) + t_p(z_2)]}{1 - P(z_1)P(z_2)} \\ t_p(z_1 + z_2) &= \frac{1}{P(z_1 + z_2)} \left[\frac{t_p(z_1)P(z_1) + P(z_2)\lambda(z_1)[t_p(z_1) + t_\lambda(z_1)] + P(z_1)P(z_2)[t_p(z_1) + t_p(z_2)]}{1 - P(z_1)P(z_2)} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

где $P(z_1) = \bar{P}(z_1)|_{S=0}$, $P(z_2) = \bar{P}(z_2)|_{S=0}$, $\lambda(z_1) = \bar{\Lambda}(z_1)|_{S=0}$ -

коэффициенты отражения и прохождения соответствующих слоев.

Рекуррентные соотношения (9) позволяют определить среднестатистическое время прохождения теплоты через любое количество слоев строительной конструкции.

Список литературы

1. Карслоу Х.С. Теория теплопроводности.-М.: Гостеоиздат, 1947.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика.-М.: Высшая школа, 1982.- 415 с.
3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести.-М., 2004.- 712 с.
4. Рымкевич П.П. Введение в теорию распространения свойств.//Труды XXVII Летней Международной Школы «Анализ и синтез нелинейной механики колебательных систем», СПб, 1999.-С.455-496.
5. Горшков А.С., Рымкевич О.В., Рымкевич П.П. Нестационарное прохождение тепла через ограждающие конструкции. // «Инженерные системы», №3(41), 2009. – С. 64-66.
6. Горшков А.С. Рымкевич П.П. Метод решения задач нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции//. Кровельные и изоляционные материалы.№6(24), 2008. – С.50-53.

Самарин О.Д. Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию

О.Д. Самарин, к.т.н., доцент кафедры отопления и вентиляции Московского государственного строительного университета

Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию

Как известно, для создания законодательной базы, позволяющей решать проблемы по оперативному внедрению новых инженерных решений и технологий, в том числе и в области энергосбережения, а также для устранения законодательных препятствий для бизнеса, реализующего инновационные проекты, 27 декабря 2002 г. Президентом РФ был утвержден федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (ЗТР). Основное его содержание заключается в коренном изменении подхода к техническому регулированию и разделению всех нормативных документов на два типа. Первый – обязательные (технические регламенты), содержащие исключительно требования по безопасности, защите жизни и здоровья людей, растений и животных, охраны окружающей среды и предотвращению введения потребителей в заблуждение, и утверждаемые в виде федерального закона или постановления Правительства РФ. Такие документы «с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие безопасность (промышленную, пожарную, механическую и т.д.), а также единство измерений» (Ст. 7). Второй – все остальные (национальные стандарты, утверждаемые Национальным органом стандартизации; своды правил, утверждаемые иными органами исполнительной власти при отсутствии национальных стандартов; а также стандарты организаций). Они являются документами добровольного применения.

В этой связи существенно расширяются возможности по разработке, принятию и использованию документов, соответствующих концепции оптимального нормирования, особенно если учесть, что в соответствии с упомянутым законом добровольные нормы могут быть признаны обязательными для контрагентов по договору между заказчиком и подрядчиком. Основную концепцию ЗТР можно свести к тому, что основная задача технических норм – показать, как НЕЛЬЗЯ проектировать, строить и эксплуатировать здания (технические регламенты), и как МОЖНО это делать (все остальные документы). Но нельзя требовать от нормативов, чтобы они показывали, как НУЖНО строить, поскольку при современном уровне развития науки и техники достижение параметров, превышающих минимально допустимые, в большинстве случаев возможно несколькими способами, и фиксировать в нормах только один из них – означает давать необоснованные предпочтения одной определенной научной или практической школе и существенно ограничивать внедрение в широкое использование результатов научных исследований и практического опыта.

Поэтому особое значение в существующих условиях приобретает технико-экономическое обоснование принимаемых решений, поскольку концепция ЗТР предполагает, что все требования к продукции и процессам ее производства, не отраженные в технических регламентах, являются исключительно предметом соглашения между контрагентами. В рамках рыночных хозяйственных отношений это как раз и предполагает, прежде всего, стоимостное выражение соответствующих показателей проекта.

Самарин О.Д. Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию

Для иллюстрации данного обстоятельства проведем технико-экономическое сравнение двух вариантов теплозащиты наружных ограждений для здания средней школы в Москве [1]. Площади ограждающих конструкций принимаем по чертежам [2]. Они равны: $F_{нс} = 1014 \text{ м}^2$ (наружная стена), $F_{пт}=F_{пл}=1397 \text{ м}^2$ (покрытие и перекрытие над техподпольем), $F_{ок}=464 \text{ м}^2$ (окна). Считаем внутреннюю температуру $t_b=+18^\circ\text{C}$ по требованиям [3], среднюю наружную температуру за отопительный период $t_{от}=-3.1^\circ\text{C}$ и его продолжительность $z_{от}=214$ сут по таблице 1 [4], тогда градусо-сутки отопительного периода $D_{от}=(18+3.1)\cdot 214 = 4515 \text{ К}\cdot\text{сут}$. В первом варианте возьмем сопротивление теплопередаче по данным таблицы 4 [5] для полученного значения $D_{от}$, во втором – с допустимым снижением в соответствии с п.5.13 [5], т.е. на 37% для наружной стены и на 20% – для покрытия и перекрытия над техподпольем. В качестве теплоизоляционного материала используем плиты минераловатные П-125 со стоимостью $C_{ти}=1550 \text{ руб/м}^3$ по среднерыночным ценам 2008 года и теплопроводностью $\lambda_{ти}=0.064 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ для условий эксплуатации «Б» по прил.3 [6]. Принимаем коэффициенты теплотехнической однородности для стены $r_{нс} = 0.7$, для покрытия и перекрытия над техподпольем $r_{пт}=r_{пл}=0.95$. Стоимость тепловой энергии по данным ОАО «МОЭК» в 2008 году для нежилых зданий $C_t=903.5 \text{ руб/Гкал}$. Считаем добавочные коэффициенты к основному теплотерям $\beta_1=1.10$ и $\beta_2=1.13$ как для общественного протяженного здания [5]. Расчетный срок эксплуатации $T_{ам}=50$ лет. В данном случае разницей в расходе электроэнергии на системы отопления и в заработной плате рабочих можно пренебречь, поэтому годовые эксплуатационные затраты $\mathcal{E}=\mathcal{E}_{ам}+\mathcal{E}_{т.от}$ (на амортизацию и тепловую энергию). Вычисления сводим в таблицы 1 и 2:

Таблица 1. Техничко-экономические показатели здания средней школы (Вар. 1)

Ограждение	$F_i, \text{ м}^2$	R_i	r_i	η_i	$V_{ти,i}=0.8\cdot\lambda_{ти}R_iF_i/r_i$	$\eta_iF_i/R_i, \text{ Вт/К}$
Наружная стена	1014	2.98	0.70	1.00	221	340
Бесчердачное покрытие	1397	4.46	0.95	1.00	336	313
Пол над техподпольем	1397	3.93	0.95	0.60	296	213
Окна	464	0.52	1.00	1.00	–	892
					$\Sigma V_{ти}=853 \text{ м}^3$	$\Sigma \eta_i F_i / R_i = 1758 \text{ Вт/К}$
						$\Sigma Q_{от} = 100.58 \text{ кВт}$
					$K_{ти}=853\cdot 1550=1321700 \text{ руб}$	$\mathcal{E}_{т.от}=183944 \text{ руб/год}$
					$\mathcal{E}_{ам}=1.5\cdot 1321700/50=39651 \text{ руб/год}$	$\mathcal{E}=\mathcal{E}_{ам}+\mathcal{E}_{т.от}=223595 \text{ руб/год}$

Здесь $R_i, \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ – сопротивление теплопередаче i -й ограждающей конструкции оболочки здания; η_i – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху по таблице 6 [5]; $V_{ти,i}, \text{ м}^3$ – объем теплоизоляционного

Самарин О.Д. Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию

материала в i -й конструкции ограждений; $K_{ти}$ – капитальные затраты на теплоизоляцию; $\Sigma Q_{от}$ – суммарная мощность системы отопления здания, т.е. его расчетные теплотери, необходимые для определения годовых затрат на теплоту Э.т.от.

Таблица 2. Техничко-экономические показатели здания средней школы (Вар. 2)

Ограждение	$F_i, м^2$	R_i	r_i	n_i	$V_{ти,i}=0.8 \cdot \lambda_{ти} R_i F_i / r_i$	$n_i F_i / R_i, Вт/К$
Наружная стена	1014	1.88	0.70	1.00	139	540
Бесчердачное покрытие	1397	3.57	0.95	1.00	269	392
Пол над техподпольем	1397	3.15	0.95	0.60	237	266
Окна	464	0.52	1.00	1.00	–	892
					$\Sigma V_{ти} = 645 м^3$	$\Sigma n_i F_i / R_i = 2090 Вт/К$
						$\Sigma Q_{от} = 119.53 кВт$
					$K_{ти} = 645 \cdot 1550 = 999114 руб$	$\Theta_{т.от} = 218603 руб/год$
					$\Theta_{ам} = 1.5 \cdot 999114 / 50 = 29973 руб/год$	$\Theta = \Theta_{ам} + \Theta_{т.от} = 248577 руб/год$

Дисконтированный срок окупаемости дополнительных капитальных затрат для варианта, где они больше, можно определить по формуле [7]:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - pT_0/100)}{\ln(1 + p/100)}, \text{ лет};$$

где $T_0 = \frac{K_1 - K_2}{\Theta_2 - \Theta_1}$ – бездисконтный срок окупаемости. Здесь K_i –

капитальные единовременные затраты, руб, и Θ_i – суммарные годовые эксплуатационные затраты, руб/год, для i -го варианта; p – норма дисконта, %. Она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке. В [7] предлагается принимать $p = 10\%$, что примерно соответствует ставке рефинансирования ЦБ РФ в предыдущие два года. Детальное обоснование данного выражения и его анализ приводится в работе [8].

В данном случае

$$T_0 = \frac{1321700 - 999114}{248577 - 223595} = \frac{322586}{24982} = 12.9 \text{ лет};$$

однако с учетом дисконтирования при $p = 10\%$ годовых находим, что $1 - pT_0/100 = 1 - 10 \cdot 12.9/100 = -0.29 < 0$, поэтому логарифм в формуле для $T_{ок}$ не имеет смысла. Это говорит о том, что дополнительная теплоизоляция в 1-м варианте по сравнению со 2-м не окупится никогда, поскольку упущенная за год выгода от вложения средств в энергосбережение вместо размещения их в банке,

Самарин О.Д. Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию

равная $(K_1 - K_2) \cdot p / 100 = 322586 \cdot 10 / 100 = 32259$ руб/год, больше, чем годовая экономия эксплуатационных расходов, равная $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 24982$ руб/год. При повышении ставки рефинансирования, что имеет место в последние месяцы, справедливость данного вывода еще более усиливается. Поэтому к дальнейшей разработке должен быть принят 2-й вариант с уменьшенным уровнем теплозащиты.

Однако вообще следует отметить, что с экономической точки зрения энергосбережение не является самоцелью, а лишь средством для снижения суммарных затрат на возведение и последующую эксплуатацию здания. Поэтому тот или иной уровень удельного расхода энергии является исключительно потребительским показателем. В связи с этим в общественном Стандарте РНТО строителей [9], в разработке которого автор настоящей статьи принимал активное участие, данная проблема решена более радикально. Предложено было совсем отказаться от нормирования удельного энергопотребления и ограничиться параметром, в гораздо большей степени интересующим потребителя, а именно относительным снижением энергопотребления за счет применения всего комплекса энергосберегающих мероприятий в проектируемом здании. Требуемая величина такого снижения задается заказчиком.

В таблице 3 показаны ориентировочные данные [10] по энергосберегающему потенциалу для основных малозатратных инженерных решений в общественных зданиях, полученные по результатам расчетов для группы объектов с использованием методики [9].

Таблица 3. Относительная эффективность энергосбережения в общественных зданиях

Мероприятие	Снижение энергопотребления, %
Повышение теплозащиты несветопрозрачных наружных ограждений от санитарно-гигиенического уровня в экономически целесообразных пределах	16 – 26
Замена остекления на более энергоэффективное	3 – 7
Утилизация теплоты вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем	10 – 25
Установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, дающая возможность полезного использования бытовых тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации	13 – 24
Мероприятия в системах ГВС	0.1 – 2
Всего	54 – 67

Таким образом, применение всего рассматриваемого комплекса мероприятий позволяет снизить суммарное энергопотребление более, чем вдвое, причем эффект от реализации большинства из представленных решений является величиной одного порядка, и одно повышение теплозащиты не играет при этом преобладающей роли.

Тем не менее, нужно заметить, что предлагаемые инженерные средства должны решать поставленные перед ними задачи без ущерба для безопасности людей и снижения уровня комфорта их среды обитания. Такая постановка вопроса особенно актуальна в настоящее время, в условиях действия ЗТР. Иначе

Самарин О.Д. Об уровне теплозащиты несветопрозрачных ограждений здания и о современных подходах к его нормированию

говоря, при выборе способов экономии энергетических и других ресурсов сравниваемые в процессе технико-экономического обоснования проекта варианты должны обеспечивать одинаковый уровень безопасности и комфорта, и только тогда эти варианты будут сопоставимыми.

Следовательно, основное направление энергоресурсосбережения действительно лежит на пути применения соответствующих технологий, которые позволяли бы получать снижение потребления материальных и энергетических ресурсов «автоматически», без непосредственного участия потребителя [11]. В этом случае тот же самый или даже повышенный уровень комфорта достигается благодаря использованию усовершенствованных инженерных решений при более низком уровне эксплуатационных затрат, а у потребителя не будет ощущения, что он сознательно чем-то жертвует ради их уменьшения. Только тогда можно получить безоговорочную заинтересованность в энергоресурсосбережении и избавиться от психологического барьера, который часто возникает при внедрении нового из-за необходимости менять при этом те или иные привычки и существующий уклад жизни.

Список литературы

1. Самарин О.Д. О теплозащите несветопрозрачных ограждений зданий и современных подходах к ее нормированию. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 1, 2009. С. 68–69.
2. Строительный каталог. Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа. М.: ГУП ЦПП, 1994.
3. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: ГУП ЦПП, 1999.
4. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». М., ГУП ЦПП, 2004.
5. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». М.: ГУП ЦПП, 2003.
6. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». М.: ГУП ЦПП, 2004.
7. Дмитриев А.Н., Табунщиков Ю.А., Ковалев И.Н., Шилкин Н.В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 120 с.
8. Гагарин В.Г.. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы, № 8, 2008. С. 2–8.
9. Стандарт общественной организации – РНТО строителей. СТО 17532043-001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. М.: ГУП ЦПП, 2006.
10. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Изд-во АСВ, 2009. 296 с.
11. Самарин О.Д. Энергоэффективность: комплексный подход. // Кровельные и изоляционные материалы, № 3, 2009 г. С. 50–52.

Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций

Н.А. Соколов, д.т.н., руководитель лаборатории теплофизических измерений ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

А.Н. Соколов, научный сотрудник ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций

Основной задачей ВНИИМ является обеспечение национального и международного единства измерений, которое необходимо для науки, техники, а также для международного обмена товарами. Международная метрическая конвенция определила формальную структуру, в рамках которой правительства–члены Конвенции сотрудничают в вопросах, связанных с единицами измерений и эталонами. Конвенция учредила также Международное бюро мер и весов (BIPM) – международный центр метрологии, который в настоящее время с помощью консультативных комитетов по видам измерений работает в тесном сотрудничестве с национальными метрологическими институтами [1]. Для координации действий национальных метрологических институтов по обеспечению единства измерений температуры и теплофизических величин создан Международный консультативный комитет по термометрии (CCT). На 21-й сессии CCT (2002 г.) была создана рабочая группа для координации усилий по обеспечению единства измерений в области теплофизических свойств (WG9). В ее состав вошли представители десяти национальных метрологических институтов, обладающих общепризнанной наиболее точной аппаратурой, в том числе ВНИИМ.

В рамках BIPM разработаны соглашения о взаимном признании как в отношении метрологических услуг, так и в отношении тех органов, которые аккредитуют этот вид деятельности. Соглашения опираются на предположение о наличии эквивалентности национальных эталонов и о надежности связи между национальными эталонными измерениями и соответствующими метрологическими услугами, предоставляемыми в каждой стране. В 1999 г. директора национальных метрологических институтов подписали Договоренность о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки, выдаваемых этими институтами [2]. Технической основой Договоренности является ряд ключевых сличений национальных эталонов, подлинность которых устанавливается консультативными комитетами.

Наряду с измерениями теплофизических параметров материалов и конструкций необходимо **испытывать** их теплотехнические свойства, которые зависят от окружающих условий. Поэтому параллельно BIPM существует ILAC – международная организация сотрудничества по аккредитации испытательных лабораторий, созданная более 30 лет назад с целью снижения технических барьеров в торговле [3]. Конечной целью ILAC является широкое использование и признание промышленностью и представителями власти результатов, полученных аккредитованными лабораториями, в том числе и зарубежными. ВНИИМ стал членом ILAC в 2004 г. В 2005 г. подписан меморандум о взаимном признании и сотрудничестве BIPM и ILAC.

Главный постулат BIPM или ILAC: «Измерено или испытано однажды – принято везде!».

Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций

В последнее время в развитых странах основной тенденцией является обеспечение «traceability». Под этим термином понимается построение иерархической системы передачи размера единицы от национального эталона всем рабочим средствам измерений (РСИ).

Для энергосбережения основными теплофизическими параметрами являются теплопроводность и тепловое сопротивление, а теплотехническими – сопротивление теплопередаче или коэффициент теплопередачи.

1. Измерение теплопроводности

Систему обеспечения единства измерений теплопроводности в России возглавляет государственный первичный эталон (ГПЭ), который до недавнего времени передавал размер единицы в диапазоне от 0,1 до 20 Вт/(м·К) [4] и не обеспечивал единство измерений теплофизических свойств современных эффективных теплоизоляторов, обладающих теплопроводностью до 0,02 Вт/(м·К).

С 1993 по 1995 годы было проведено сличение результатов измерений теплопроводности одних и тех же образцов теплоизоляционных материалов отечественными и зарубежными РСИ в диапазоне от 0,03 до 0,05 Вт/(м·К) [5]. В работе принимали участие следующие научно-исследовательские организации и фирмы:

- фирма «Holometrix» (Кембридж, США);
- Институт исследований в области строительства (Оттава, Канада);
- фирма «Partek» (Паргас, Финляндия);
- НИИ Теплоизоляции (Вильнюс, Литва);
- Институт физико-технических измерений (Хабаровск, Россия);
- НИИСФ, ЦНИИ ЭП жилища, НИИ Мосстрой, НИЦ Министерства транспорта, НИЦ «Физтех» (Москва, Россия).

Расхождение между результатами измерений, полученными зарубежными организациями, не превышало 2 %, а между отечественными и зарубежными – находилось в пределах от 13 до 22 %. Систематическое отклонение от зарубежных данных составило 15 %.

Недостовверная оценка теплопроводности строительных материалов в масштабах России приводит к миллиардным убыткам.

Теплопроводностью твердых тел называется один из видов переноса энергии, который возникает при наличии градиента температуры $grad T$ и в одномерном стационарном случае описывается законом Фурье:

$$q = -\lambda \cdot grad T, \quad (1)$$

где q – поверхностная плотность теплового потока; λ – коэффициент, характеризующий способность твердых тел проводить тепло. Он интересует нас как физическая величина, которая в Международной системе единиц СИ называется теплопроводностью [6].

За единицу теплопроводности принят ватт на метр-кельвин, численно равный теплопроводности вещества или системы тел, в которых при стационарном режиме с поверхностной плотностью теплового потока 1 Вт/м² устанавливается температурный градиент 1 К/м [7].

Основной проблемой в области малых значений теплопроводности является отсутствие в природе материалов – однозначных мер теплопроводности (МТО), пригодных для воспроизведения единицы на эталонном уровне. Теплоизоляционные материалы имеют гетерогенную структуру, в которой, кроме

Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций

кондуктивного, имеют место конвективный и радиационный механизмы переноса теплоты. Это ограничивает применимость закона Фурье и ставит под сомнение саму возможность использования теплоизоляционных материалов в качестве МТО.

В 2004 г. во ВНИИМ был разработан принципиально новый метод воспроизведения единицы теплопроводности в любой точке заданного диапазона [8]. Принцип действия средств измерений нового класса, реализующих предложенный метод, состоит в том, что некая система тел в определенных условиях с помощью управляющего воздействия приобретает любую заданную теплопроводность [9]. Другими словами, впервые удалось создать многозначную меру теплопроводности (МТМ). Комплекс аппаратуры, необходимый для воспроизведения единицы с помощью МТМ, по аналогии с термостатом предложено называть теплостатом.

С учетом изобретения теплостатов разработана новая концепция воспроизведения единицы и передачи ее размера, которая реализована в диапазоне от 0,02 до 0,2 Вт/(м·К).

Известная концепция основана на использовании нескольких МТО. Для освоения новых диапазонов она требует проведения длительных исследований свойств новых материалов с целью определения их пригодности для создания МТО.

Согласно новой концепции воспроизведение единицы и передача ее размера осуществляется в любой точке диапазона с помощью одной многозначной меры, изготовленной из хорошо изученных материалов. Это позволяет сэкономить время и деньги.

Для сравнения. Чтобы освоить диапазон до 0,03 Вт/(м·К), национальный метрологический институт США NIST затратил более 40 лет и исследовал несколько сотен материалов. ВНИИМ освоил диапазон до 0,02 Вт/(м·К), где вообще нет материалов, подходящих для создания МТО, за 4 года.

Предложенную концепцию реализует новый межгосударственный стандарт ГОСТ 8.140-2009 [10].

Новый ГПЭ за счет применения теплостата А-1 имеет погрешность в 1,5 раза меньшую, чем аппаратура NIST. Эта оценка точности обсуждена и проанализирована специалистами WG9. Они подтвердили готовность теплостата А-1 к ключевым сличениям по теплопроводности, состоявшимся в период с 2007 по 2009 г. под эгидой BIPM. В сличениях приняли участие США, Великобритания, Германия, Франция, Китай, Мексика и Россия. В августе 2009 г. были подведены промежуточные итоги этих сличений [11]. Расхождения между результатами измерений США, Великобритании, Франции и России в диапазоне от 0,03 до 0,05 Вт/(м·К) составили менее 1,5 %. Разброс результатов некоторых других участников превысил 5 %.

Полученные в ходе международных ключевых сличений данные характеризуют современный уровень знаний о действительном значении теплопроводности теплоизоляционных материалов.

Обеспечение требуемого единства измерений в диапазоне от 0,02 до 20 Вт/(м·К) позволило освоить выпуск новых отечественных РСИ и сертифицировать для применения в России зарубежные РСИ с пределом допускаемой основной относительной погрешности от 2 до 7 %. В настоящее время МТО и прецизионные средства измерений теплопроводности ВНИИМ

Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций являются одними из наиболее точных средств измерений в мире. Они востребованы в странах СНГ и Европы.

2. Измерение сопротивления теплопередаче

Сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции R_o согласно ГОСТ 26602.1 определяют как отношение разности температур окружающей среды по обе стороны от нее t_e и t_n к поверхностной плотности теплового потока через конструкцию в условиях стационарной теплопередачи [12]:

$$R_o = (t_e - t_n) / q \cdot (2)$$

ГОСТ 26254-84 рекомендует определять значение R_o по формуле [13]

$$R_o = R_e + R_k + R_n = \frac{t_e - \tau_e}{q} + \frac{\tau_e - \tau_n}{q} + \frac{\tau_n - t_n}{q}, (3)$$

где τ_e и τ_n – температуры внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции.

В общем случае слагаемые формулы (3) могут зависеть от условий теплообмена на поверхности ограждающей конструкции, поэтому R_o является теплотехническим параметром.

Для реализации метода определения сопротивления теплопередаче по [12, 13] созданы многоканальные измерители теплопроводности и теплового сопротивления с пределом допускаемой основной относительной погрешности 6%, которые согласно приложению А ГОСТ 26602.1 поверяются по МТО, аттестуемой во ВНИИМ с доверительной погрешностью 3 % при доверительной вероятности 0,95.

В 2004 г. под эгидой ВНИИМ и НИУПЦ «Межрегиональный институт окна» были проведены сличения результатов измерений теплопроводности одной и той же МТО между четырьмя аккредитованными испытательными лабораториями [14]:

- ПКТИ «Стройтест», Санкт-Петербург;
- «БЛОК», Санкт-Петербург;
- ИЦ СМи, Санкт-Петербург;
- ИЦ «Исследователь», Краснодар,

а также одного и того же оконного профиля – между вышеуказанными петербургскими испытательными центрами. Расхождения между результатами измерений составили менее 5 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 26602.1.

Таким образом, в настоящее время в России имеется аппаратура, позволяющая измерять теплофизические и теплотехнические параметры ограждающих конструкций с необходимой точностью. Тем не менее, как в 2004 г., так и сейчас некоторые заказчики продолжают сомневаться в достоверности результатов измерений, полученных в различных отечественных испытательных центрах.

3. Законодательные аспекты обеспечения единства Измерений параметров ограждающих конструкций

3.1. В условиях добровольности применения многих норм и правил необходима обязательная законность получения измерительной информации.

Любой прибор может стать средством измерения лишь после проведения его государственных испытаний и занесения его как типа или как единичного

Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций

образца в государственный реестр средств измерений. Это касается и зарубежных средств измерений. В Интернете можно найти множество приборов, точность которых зачастую на порядок превышает паспортные характеристики лучших национальных эталонов. Понятно, что никаких легитимных испытаний подобных приборов никогда не проходили. Зарубежные фирмы часто указывают в качестве точностных характеристик лишь некоторые из составляющих суммарной погрешности. Чаще всего при этом речь идет о случайной составляющей погрешности, которую может оценить сам потребитель. Так, если прибор отградуирован по эталонной мере, обладающей доверительной относительной погрешностью 3%, и имеет случайную погрешность 2%, то за границей в паспортных данных часто указывают погрешность прибора 2%. По отечественным правилам описываемый прибор будет иметь предел допускаемой относительной погрешности 4-5%. Постепенно все большее число серьезных зарубежных фирм оценивают метрологические характеристики своих приборов по нашим правилам.

В некоторых стандартах на методы измерений (ГОСТ 7076-99, ГОСТ 26602.1, ГОСТ 30256-94, ГОСТ 31166-2003 и др.) указано, что данный метод позволяет получить результат измерений с определенной погрешностью. Но это еще не говорит о том, что любая аппаратура, реализующая данный метод, будет иметь оговоренную в нем погрешность.

Например, описанные в первом разделе международные сличения проводились по ГОСТ 7076, согласно которому «относительная погрешность определения теплопроводности не превышает 3%». Четыре страны получили сходимость результатов в пределах 1,5%, а остальные национальные эталоны разошлись на 5%. Это еще раз подтверждает необходимость проведения независимых испытаний любой аппаратуры с целью присвоения ей статуса средства измерения, обладающего определенными эксплуатационными и метрологическими свойствами.

Еще один пример. В своде правил СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» приведены «Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий», которые для теплоизоляционных материалов во многом не соответствуют действительности. С помощью каких средств измерений были получены эти данные, кто их автор?

3.2. В соответствии с общими мировыми тенденциями необходимо обеспечивать «прослеживаемость» результатов измерений к национальному эталону.

В России существуют десятки аккредитованных испытательных центров, занимающихся измерением теплофизических и теплотехнических параметров строительных ограждающих конструкций. Все они добровольно приняли на себя обязательство выполнять требования ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1. Согласно последнему из них «допустимое значение погрешности определения термического сопротивления для эталонного заполнения проема климатической камеры не должно превышать 5%». Единственным способом доказать выполнение этого требования является проведение государственных испытаний с присвоением испытанной аппаратуре статуса средства измерений и занесением его в государственный реестр.

В настоящее время ВНИИМ им. Д.И. Менделеева организует пилотные (предварительные) сличения по ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1.

Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций

Цель пилотных сличений состоит в установлении фактической сходимости результатов определения приведенного сопротивления теплопередаче в России и странах ближнего зарубежья, а также в повышении качества метрологических услуг по обеспечению энергосбережения в строительстве.

Для участия в сличениях необходимо до 1 марта 2010 г. предоставить организатору сличений – ВНИИМ им. Д.И. Менделеева следующую информацию:

- сведения об аттестации и аккредитации;
- полный перечень используемой в сличениях аппаратуры;
- копии действующих свидетельств о поверке;
- измерительные возможности (диапазон температуры, габариты испытываемых изделий и теплой и холодной камер).

Результаты сличений будут обработаны во ВНИИМ и опубликованы с указанием лабораторий, попавших в шестипроцентный коридор. Остальным лабораториям будет оказана необходимая помощь.

По результатам сличений (после оформления необходимой документации) стенды для определения сопротивления теплопередаче по ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1 будут занесены в государственный реестр средств измерений.

Список литературы

1. <http://www.bipm.org>
2. Текст Договорности // Российская Метрологическая Энциклопедия. Под ред. Ю.В. Тарбева. СПб.: Лики России, 2001. С. 39-45
3. <http://www.ilac.org>
4. ГОСТ 8.140-82. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел от 0,1 до 5 Вт/(м·К) в диапазоне температур 90+500 К и от 5 до 20 Вт/(м·К) – в диапазоне температур 300÷1100 К
5. Гурьев В.В., Жолудов В.С., Петров-Денисов В.Г. Тепловая изоляция в промышленности. Теория и расчет. М., 2003.
6. ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы физических величин
7. МИ 2630-2000. ГСИ. Метрология. Физические величины и их единицы
8. Патент 2276781. Способ определения теплопроводности материалов. Соколов Н.А. // Бюл. № 14, 20.05.2006.
9. Соколов Н.А. Метрологическое обеспечение энергосбережения (Измерение теплопроводности и связанных с ней величин). СПб., 2005. 128 с.
10. ГОСТ 8.140-2009. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел в диапазоне от 0,02 до 20 Вт/(м·К) при температуре от 90 до 1100 К
11. В. Hay, L. Cortes, B. Doucey, J.-R. Filtz, U. Hammerschmidt, N. Sokolov, C. Stacey, R. Zarr, J. Zhang. International comparison on thermal conductivity measurements of insulating materials by guarded hot plate // In Book of reports abstracts the 30th International thermal conductivity conference and 18th International thermal expansion symposium. Pittsburgh, 2009. P. 79.
12. ГОСТ 26602.1-99. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче.
13. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
14. Соколов Н.А. Воспроизводимость результатов измерения термического сопротивления ограждающих конструкций в различных испытательных центрах // Светопрозрачные конструкции, № 5, 2004. С.18-20.

Теплозащитные свойства теплоизоляционных навесных фасадных систем

При массовом внедрении навесных фасадных систем в отечественном строительстве, возникла необходимость в разработке комплекса теплофизических расчетов, обеспечивающих адекватную оценку конструктивных мероприятий для проектирования долговечных конструкций с высокими теплозащитными свойствами. Созданный комплекс теплофизических расчетов включает в себя взаимосвязанные методики, основанные на экспериментальных и теоретических исследованиях конструкций и материалов. При этом методики опираются на имеющийся банк характеристик строительных материалов и увязаны с требованиями нормативных документов.

Основной характеристикой теплозащиты ограждающих конструкций является приведенное *сопротивление теплопередаче*, R_0^{np} . На стадии проектирования эта характеристика является расчетной и должна определяться, по методике из СНиП «Строительная теплотехника» «Тепловая защита зданий» [1]. Однако, навесные фасады имеют более сложную картину теплопередачи, чем предусмотрена в указанных СНиП. Имеется два участка с различной природой теплопереноса, которые приходится рассчитывать отдельно:

$$R_0^{np} = \frac{t_в - t_n}{q} = R_0^{ysl} \cdot r + R_{зазора}^{эф} \quad (1)$$

Первое слагаемое в правой части формулы (1) описывает сопротивление теплопередаче через стену с утеплителем, второе слагаемое – через воздушный зазор и облицовку.

При расчете коэффициента теплотехнической однородности, g , необходимо учитывать, что кронштейн замыкается на облицовку, которая в зимний период имеет температуру, практически совпадающую с температурой наружного воздуха. Вследствие этого по кронштейну осуществляется сильный сток теплоты, чем определяется влияние кронштейна на понижение теплозащитных свойств конструкции [2].

Второе слагаемое в формуле (1) – эффективное термическое сопротивление воздушного зазора, $R_{зазора}^{эф}$, определяется по формуле:

$$R_{зазора}^{эф} = R_0^{ysl} \cdot r \cdot \frac{t_{cp} - t_n}{t_в - t_{cp}} + \left(\frac{1}{\alpha_{зав}} - \frac{1}{\alpha_n} \right) \frac{t_в - t_n}{t_в - t_{cp}} \quad (2)$$

Температура воздуха в воздушном зазоре, $t_{зав}$, изменяется с высотой, что приводит к росту $R_{зазора}^{эф}$. Величина $R_0^{ysl} \cdot r$ является характеристикой конструкции и не зависит от высоты расположения участка стены. Значение R_0^{np} будет изменяться с высотой фасада. Для

Цыгановский Е.Ю. Теплозащитные свойства теплоизоляционных навесных фасадных систем

определения R_0^{np} разработаны методики расчета эффективного термического сопротивления воздушного зазора, коэффициента теплотехнической однородности и сопротивления теплопередаче стены с утеплителем.

Коэффициент теплотехнической однородности определяется на основании расчета температурного поля для участка стены, содержащего один кронштейн. После ряда упрощений задача сводится к решению трехмерного уравнения теплопроводности, записанного в цилиндрических координатах:

$$c_m \gamma_m \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad (3)$$

где r – радиальная координата, м; x – линейная координата, м; c_m – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·°C); γ_m – плотность материала, кг/м³; λ_x , λ_r – расчетные коэффициенты теплопроводности по соответствующим направлениям, Вт/(м·°C); t – температура материала, °C; τ – время, с.

Уравнение (3) решается численно для участка конструкции, включающего воздушный зазор. На основании расчетного участка ограждения принимаются условия теплообмена третьего рода. По результатам расчета определяется коэффициент теплотехнической однородности конструкции:

$$r = Q_0 / Q_n, \quad (4)$$

где Q_n – поток теплоты через неоднородную конструкцию с кронштейном, Вт, рассчитанный по температурному полю; Q_0 – поток теплоты через однородную конструкцию той же площади, Вт.

Сталь имеет коэффициент теплопроводности примерно в 5 раз меньший, чем алюминиевый сплав. Размеры кронштейнов могут отличаться также в несколько раз. В связи с этим и потери теплоты через кронштейны для различных систем могут существенно различаться. Проведенные расчеты и натурные исследования позволили выявить влияние конструктивных особенностей фасадных систем на значения коэффициента теплотехнической однородности. Выявлено влияние ряда факторов на коэффициент теплотехнической однородности навесных фасадов. Проведенные исследования позволили установить ряд преимуществ применения кронштейнов из коррозионностойкой стали в навесных фасадах.

Список литературы

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыгановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Журнал АВОК. 2004, №2 стр. 20-26; №3, стр. 20-26.



Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»**
Инженерно-строительный факультет
**Отделение повышения квалификации
и профессиональной переподготовки**

Профессиональная переподготовка специалистов

Программа предназначена для специалистов строительных и проектных организаций, не имеющих базового строительного образования, а также для лиц, желающих получить дополнительное образование по направлению «Строительство».

Форма обучения вечерняя. По окончании обучения выдается диплом о переподготовке государственного образца с правом на ведение нового вида профессиональной деятельности. Программа рассчитана на 500 ак. часов, обучение проводится в течение одного учебного семестра.

Стоимость обучения 46000 рублей.

Переподготовка ведется по четырем направлениям:



Строительство зданий и сооружений	Экономика и управление в строительстве
<i>Строительные конструкции и материалы Выполнение строительно-монтажных работ Контроль качества строительно-монтажных работ Основы расчета строительных конструкций</i>	<i>Основы строительного дела Основные функции участников инвестиционно-строительного проекта Управление строительной организацией Сметное дело в строительстве</i>
Проектирование и конструирование зданий и сооружений	Инженерные системы зданий и сооружений
<i>Основы сопротивления материалов и механики стержневых систем Проектирование и расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений Проектирование и расчет строительных конструкций</i>	<i>Основные понятия механики жидкости и газа Инженерные системы зданий и сооружений. Проектирование, монтаж и эксплуатация</i>

Контакты

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 301
552-94-60, 535-79-92

stroikursi@mail.ru
www.stroikursi.spb.ru



Курсы повышения квалификации

Приглашаются специалисты строительных и проектных организаций, в том числе непосредственно занятые в сфере строительного производства.

Курсы проводятся в течение 2-3 недель в вечернее время на базе факультета или на территории заказчика. По окончании слушателям выдается удостоверение о повышении квалификации государственного образца.

Курсы проводятся по программам, соответствующим перечню работ, на которые необходимы допуски от СРО, в том числе:

- Контроль качества строительства
- Разработка проектов организации строительства
- Проектирование и монтаж систем вентиляции
- Проектирование и монтаж систем отопления
- Электроснабжение и электрооборудование объектов
- Проектирование и расчет оснований и фундаментов
- Проектирование строительных конструкций
- Календарно-сетевое планирование в строительстве
- Сметное дело в строительстве
- Выполнение функций заказчика-застройщика
- Управление строительной организацией

Возможен подбор преподавателей и организация корпоративного курса по любой интересующей заказчика тематике в сфере строительства. Курсы проводятся как на базе факультета, так и на территории заказчика.

Университет также проводит корпоративный курс «Основы строительного дела», предназначенный для сотрудников строительных организаций, не занятых непосредственно в производстве (менеджеров, юристов, экономистов и т.п.).



Курсы профессиональной подготовки

Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD

Проектирование строительных конструкций с использованием SCAD Office

Проектирование зданий и сооружений с использованием Allplan

Планирование и управление строительными проектами с использованием MS Project

Контакты

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 301

552-94-60, 535-79-92

stroikursi@mail.ru

www.stroikursi.spb.ru

Информационные спонсоры конференции



