

Главный редактор:

Колчунов В.И., акад. РААСН, д.т.н., проф.
(Россия)

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Колесникова Т.Н., д-р арх., проф. (Россия)

Коробко В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Редколлегия:

Акимов П.А., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Бакаева Н.В., советник РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Бок Т., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Булаков А.Г., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Гордон В.А., советник РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Емельянов С.Г., чл.-корр. РААСН, д-р техн.
наук, проф. (Россия)

Карпенко Н.И., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Коробко А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Король Е.А., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Кривошапко С.Н., д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Лефай З., д-р техн. наук, проф.
(Франция)

Мелькумов В.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Орлович Р.Б., д-р техн. наук, проф. (Польша)

Птичницова Г.А., д-р архитектуры, проф.
(Россия)

Реболич Д., д-р техн. наук, проф. (Словения)

Римшин В.И., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Сергейчук О.В., д-р техн. наук, проф. (Украина)

Серпик И.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Тамразян А.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Травуш В.И., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Трещев А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Тур В.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия)

Турков А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Федоров В.С., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Федорова Н.В., советник РААСН, д-р техн.
наук, проф. (Россия)

Чернышов Е.М., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Шах Р., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Исполнительный редактор:

Савин С.Ю., к.т.н. (Россия)

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77

Тел.: +7 (4862) 73-43-49

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному

каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Богомолова Л.К., Ильницкий В.Д.** Методика комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов в условиях климата Дальнего Востока 3
- Степанов М.В., Моисеенко Г.А.** Диаграммы деформирования мелкозернистого высокопрочного бетона и высокопрочного сталефибробетона при сжатии 11

Безопасность зданий и сооружений

- Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л.** Расчеты импульсного шума при проектировании средств его снижения в производственных зданиях 22
- Горин В.А., Клименко В.В., Пороженко М.А.** Инженерный метод расчета изоляции ударного шума многослойными междуэтажными перекрытиями 34
- Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А., Щурова Н.Е., Невенчанная Т.О.** Оценка эффективности шумозащитных экранов при защите высотных зданий от транспортного шума 41
- Шмаров И.А., Козлов В.А.** Влияние цифровых рекламных конструкций на прилегающую жилую застройку 47

Архитектура и градостроительство

- Куприянов В.Н., Спиридонов А.В.** Расчет параметров солнцезащитных устройств 54

Строительные материалы и технологии

- Варламов А.А., Римшин В.И., Тверской С.Ю., Чикота С.И.** Новаторский опыт крупнопанельного домостроения в Магнитогорске 63
- Константинов А.П., Верховский А.А.** Влияние отрицательных температур на теплотехнические характеристики оконных блоков из ПВХ профилей 72
- Левин Е.В., Окунев А.Ю.** Теплоперенос в грунтовых основаниях зданий. Влияние утепленной отмостки 83
- Пастушков П.П., Павленко Н.В.** Моделирование условий эксплуатации теплоизоляционных материалов в составе фасадных систем 94
- Перехоженцев А.Г., Войтович Е.В.** О качестве нормирования теплозащиты зданий 100
- Самарин О.Д., Кирушок Д.А.** Влияние увлажнения вспомогательного потока воздуха на процесс теплообмена в пластинчатом рекуперативном теплообменнике 112
- Фрог Д.Б., Примин О.Г., Тен А.Э.** Реконструкция трубопроводов с использованием полимербетона 120

Editor-in-Chief

Kolchunov V.I., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Editor-in-Chief Assistants:

Danilevich D.V., *Candidat Sc. Tech., Docent. (Russia)*

Kolesnikova T.N., *Doc. Arc., Prof. (Russia)*

Korobko V.I., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Editorial Board

Akimov P.A., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Bakaeva N.V., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Bock T., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

Bulgakov A.G., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

Gordon V.A., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Emelyanov S.G., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Karpenko N.I., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Korobko A.V., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Korol E.A., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Krivoshapko S.N., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Lafhaj Z., *Doc. Sc. Tech., Prof. (France)*

Melkumov V.N., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Orlovic R.B., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)*

Ptichnikova G.A., *Doc. Arc., Prof. (Russia)*

Rebolj D., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Slovenia)*

Rimshin V.I., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Sergeyчук O.V., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)*

Serpik I.N., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Tamrazyan A.G., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Travush V.I., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Treschev A.A., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Tur V.V., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)*

Turkov A.V., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Fedorov V.S., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Fedorova N.V., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Chernyshov E.M., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)*

Schach R., *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

Managing Editor:

Savin S.Yu., *Candidat Sc. Tech. (Russia)*

The edition address:

302006, Orel, Moskovskaya Street, 77

+7 (4862) 73-43-49

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for monitoring communications, information technology and mass communications

The certificate of registration:

ПИ №ФС 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© Orel State University, 2019

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

- Bogomolova L.K., Ilitsky V.D.** The technique of the complex accelerated assessment of durability of elements of the translucent protecting desings for modern facade systems under the influence of climatic factors the climate of the Far East 3
- Stepanov M. V., Moiseenko G. A.** Deformation diagrams of fine-grained high-strength concrete and high-strength steel-fibro concrete under compression 11

Building and structure safety

- Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L.** Calculations of impulse noise in the design of means of reduction in industrial buildings 22
- Gorin V.A., Klimenko V.V., Porozhenko M.A.** Engineering method of calculation of sound insulation layered interfloor overlappings 34
- Tsukernikov I.E., Tihomirov L.A., Shchurova N.E., Nevenchannaya T.O.** Evaluation of the effectiveness of noise protection screens in protecting high-rise buildings from traffic noise 41
- Shmarov I.A., Kozlov V.A.** The impact of digital advertising structures on the adjoining residential development 47

Architecture and town-planning

- Kupriyanov V.N., Spiridonov A.V.** Calculation of parameters of solar control and shading devices 54

Construction materials and technologies

- Varlamov A.A., Rimshin V. I., Tverskoy S.Y., Chikota S. I.** Innovative experience of large-panel housing in Magnitogorsk 63
- Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A.** Influence of negative temperatures on the thermal characteristics of PVC windows 72
- Levin E.V., Okunev A.Yu.** Heat transfer in soil foundations of buildings. Impact of insulated blind area 83
- Pastushkov P.P., Zherebcov A.V.** Modeling of the conditions of operation of thermal insulation materials in the composition of facade systems 94
- Perekhozhencev A.G., Voitovich E.V.** Quality of regulation of thermal protection of buildings 100
- Samarin O.D., Kirushok D.A.** The effect of humidifying the auxiliary air flow on the heat transfer process in the recuperative heat exchanger 112
- Frog D.B., Primin O.G., Ten A.E.** Reconstruction of pipelines using polymerbeton 120

**МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ УСКОРЕННОЙ ОЦЕНКИ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ
ФАСАДНЫХ СИСТЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

БОГОМОЛОВА Л.К., ИЛЬНИЦКИЙ В.Д.

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

Аннотация. С учетом особенностей климата Дальнего Востока и столиц Хабаровского и Приморского краев - городов Хабаровска и Владивостока предложена методика комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций (СОК), таких как, алюминиевые профили, стеклопакеты строительного назначения, герметики и уплотнительные прокладки для структурного остекления современных фасадных систем. Разработаны два новых режима комплексных ускоренных испытаний под воздействием климатических факторов для стеклопакетов, герметиков и уплотнительных прокладок (режим 1) и алюминиевых профилей (режим 2), позволяющие одновременно проводить испытания элементов СОК с использованием уникального оборудования. Дан краткий аналитический обзор высотного строительства в Хабаровске и Владивостоке. В качестве искусственных климатических факторов при ускоренных лабораторных испытаниях приняты циклические воздействия положительных и отрицательных температур, влажности, переходов через «0°C», ультрафиолетового облучения, слабоагрессивных химических сред (растворов), соляного тумана (для алюминиевых профилей). Приведены требования к оценке результатов испытаний по каждому характерному показателю элементов СОК. На основе разработанной методики будет создан стандарт НИИСФ РААСН.

Ключевые слова: долговечность, методика комплексных испытаний, уплотнительные прокладки, герметики, стеклопакеты, алюминиевые профили, светопрозрачные ограждающие конструкции, стандарт.

**THE TECHNIQUE OF THE COMPLEX ACCELERATED ASSESSMENT
OF DURABILITY OF ELEMENTS OF THE TRANSLUCENT PROTECTING
DESIGNS FOR MODERN FACADE SYSTEMS UNDER THE INFLUENCE
OF CLIMATIC FACTORS THE CLIMATE OF THE FAR EAST**

BOGOMOLOVA L.K., ILNITSKY V.D.

Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. Taking into account features of climate of the Far East and the capitals of the Khabarovsk and Seaside regions - the cities of Khabarovsk and of Vladivostok the technique of the complex accelerated assessment of a durability of elements of the translucent protecting designs (TPD), such as, aluminum shapes, double-glazed windows of structural appointment, sealants and sealing laying for structural glazing of the modern front systems is offered. Two new modes of integrated accelerated tests under the influence of climatic factors for double-glazed windows, sealants and sealing laying (mode 1) and aluminum shapes (mode 2) allowing to carry out at the same time tests of elements of TPD with use of a unique test equipments are developed. The short state-of-the-art review of high-rise construction in Khabarovsk and Vladivostok is given. As artificial climatic factors at the accelerated laboratory tests cyclic influences of positive and negative temperatures, humidities, transitions through "0 ° C", ultra-violet radiation, the slaboagressivnykh of chemical environments (solu-

tions), the salt fog are accepted (for aluminum shapes). Requirements to assessment of test data on each characteristic indicator of elements of TPD are provided. On the basis of the developed technique NISF RAASN standard is developed.

Keywords: durability, technique of integrated tests, sealing gaskets, sealants, double-glazed windows, aluminum shapes, translucent protecting designs, standard.

Введение

Исследования по долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций (СОК) в России проводятся в лаборатории физико-механических испытаний и долговечности полимерных строительных материалов НИИСФ РААСН с 2009 г. Такие работы дают возможность использовать отечественные и зарубежные строительные материалы для СОК с гарантированной долговечностью в различных климатических зонах России.

НИИСФ РААСН является ведущим научно-исследовательским институтом и экспертно-базовым центром России, участвовавшим в решении проблем строительной физики, экологии строительной продукции и долговечности при возведении высотных зданий. Специалистами института разрабатывается методика мониторинга светопрозрачных ограждающих конструкций (СОК), базирующаяся на российской нормативно-строительной базе и специально разработанных методах испытаний [1-9]. Одним из важнейших требований к элементам (СОК) для современных фасадных систем, включая высотные здания со структурным остеклением, является долговечность в различных строительно-климатических зонах Российской Федерации. Разработка метода комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК для современных фасадных систем под действием климатических факторов в условиях климата Дальнего Востока является продолжением работы по разработке методик и СТО на их основе в различных климатических зонах РФ.

Основными элементами СОК являются рамочные элементы, изготовленные из комбинированных алюминиевых профилей с терморазрывом, светопрозрачных элементов, таких как стеклопакеты, а также герметиков и уплотнителей.

В процессе эксплуатации в атмосферных условиях материалы элементов СОК теряют свои исходные качества под воздействием различных агрессивных климатических факторов: повышенных и пониженных температур, солнечного облучения, влажности, знакопеременных температурных переходов, химических реагентов (кислотные дожди, щелочные растворы в составе моющих средств, соляной туман и другие). Эффективность действия всех этих факторов зависит от климатической зоны, поэтому важно учитывать условия эксплуатации зданий. Климатические условия являются факторами, влияющими на проектирование зданий, регулирование микроклимата в них, а также их долговечность.

В испытательной лаборатории «Стройполимертест» НИИСФ РААСН. ведутся работы и накоплен опыт по физико-механическим испытаниям и оценке долговечности различных строительных материалов и элементов СОК. За 2009-2014 гг. разработаны Методики оценки долговечности отдельных элементов СОК для современных фасадных систем и на их основе соответствующие стандарты организации (СТО). В основу методик положен комплекс циклических нагрузок, имитирующих климатические воздействия на светопрозрачные конструкции на территории РФ:

В 2015 г. Президент РФ подписал Указ о ежегодном проведении Восточного экономического форума. В долгосрочной политике была поставлена задача: сделать Дальний Восток одним из центров социально-экономического развития нашей страны. В этой связи, продолжая работу по разработке методик, нами была поставлена задача разработки режимов комплексных ускоренных испытаний элементов СОК с учётом особенностей климата Дальнего Востока и методики комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК для современных фасадных систем под действием климатических факторов применительно к климатическим условиям Дальнего Востока.

Актуальность работы обусловлена необходимостью ускоренной оценки долговечности элементов СОК для современных фасадных систем: алюминиевых профилей, герметиков, уплотнителей и стеклопакетов. Методика позволяет сократить время и затраты на проведение испытаний по оценке долговечности элементов СОК при возведении высотных зданий в городах Дальнего Востока.

Впервые разработан метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК для современных фасадных систем под воздействием климатических факторов в условиях климата Дальнего Востока.

Анализ достижений и публикаций

Ранее специалистами ИЛ «Стройполимертест» совместно с отделом стандартизации строительных материалов Минстроя России были разработаны методики испытаний на долговечность, стеклопакетов, уплотняющих прокладок, прошедшие многократную апробацию при проведении сертификационных испытаний оконных блоков [10-11].

На базе уникального оборудования и средств измерения, таких как термокамера «Брабендер» (Германия), установка ультрафиолетового облучения с ксеноновыми излучателями, термошкафы «СНОЛ», универсальные испытательные машины «ЦВИК» (Германия), спектрофотометр «Минольта» (Япония), камера соляного тумана (США) проводятся ускоренные лабораторные испытания. За многие годы получены экспериментальные данные, анализ которых позволил установить допустимые пределы изменений характерных показателей старения материалов в разных климатических зонах РФ: умеренном климате, жарком климате (Крым) и климате Дальнего Востока.

Методики ускоренных лабораторных испытаний созданы применительно к условиям эксплуатации на базе СНиП 2.01-82 «Строительная климатология и геофизика», ГОСТ 16350-80 «Климат СССР. Районирование и характеристика климатических параметров для промышленных зданий». На основе этих методик в дальнейшем были разработаны ГОСТы на долговечность ПВХ профилей – ГОСТ 30973-2002, стеклопакетов – ГОСТ 30779-2001 (с 01 апреля 2016 г. – ГОСТ 30779-2014), уплотнителей – ГОСТ 31362-2007. Максимальные сроки долговечности элементов по этим стандартам составляли 20 условных лет для стеклопакетов и 10 условных лет для уплотнителей и не распространялись на структурное остекление фасадных конструкций [12].

- 2010 г. для алюминиевых профилей «Метод оценки коррозионной стойкости алюминиевых профилей для светопрозрачных ограждающих конструкций под действием соляного тумана» [13];
- 2011 г. для герметиков «Методика определения долговечности герметиков различного функционального назначения для светопрозрачных ограждающих конструкций»;
- 2012 г. для уплотнительных прокладок «Методика определения долговечности уплотнительных прокладок для светопрозрачных ограждающих конструкций с учетом природно-климатических воздействий в условиях эксплуатации» [14];
- 2013 г. для алюминиевых профилей «Метод определения долговечности алюминиевых профилей для светопрозрачных ограждающих конструкций под действием климатических факторов» [15].

Все методики разрабатывались с учетом опыта зарубежных исследований в части их методологии и собственного опыта, накопленного нами при проведении испытаний алюминиевых профилей, уплотнительных прокладок и стеклопакетов известных фирм «GARTNER» (Германия), «Shenyang Yuanda Aluminium Industry Engineering Co.Ltd» (Китай) и «Permasteelisa» (Италия), которые участвовали в строительстве высотных зданий Московского международного делового центра «Москва-Сити» и Общественно-делового центра «Лахта» в Санкт-Петербурге.

Особенности высотного строительства и климата на Дальнем Востоке

Из литературного обзора статей и СМИ по Дальнему Востоку стало понятно, что в настоящее время высотные дома на Дальнем Востоке строятся только в городах Владивосток и Хабаровск. На разных стадиях проектирования и строительства находятся порядка 50 зданий выше 20-и этажей. Владивосток и Хабаровск – города, где высотное строительство может успешно развиваться. Когда-то здесь строили дома не выше 6-и этажей. Сегодня проекты резко идут вверх, и эта тенденция будет набирать обороты, так как развитие Дальнего Востока, Приморского и Хабаровского краёв в приоритете у Федерального центра. Здесь формируется новая бизнес-сфера и потребность в современных, престижных площадях будет расти.

В центре Хабаровска появится 52-этажный небоскрёб, его высота составит более 200 метров. Это станет первым подобным проектом на Дальнем Востоке. Проект получил название «Бриллиант чистой воды».

Владивосток – один из самых крупных портовых городов РФ. Он расположен у южной границы страны, на берегу Тихого океана и является административным центром Приморского края. Первый 16-и этажный дом был построен в порядке эксперимента, так как многоэтажная застройка во Владивостоке долгие годы была запрещена ввиду сейсмоопасности. Потом было возведено около десятка таких зданий. А в 1997 г. был построен 25-и этажный дом-«свечка» на улице Фастовской на мысе Чуркина. Этот дом монолитной конструкции высотой 80,5 м строился по корейскому проекту.

Как следует из обзора ООО «Институт развития строительной отрасли» (г. Москва) по этажности на рынке Владивостока лидируют 27-этажный «Оникс», 26-этажный «Фрегат», 17-этажный «Вертикаль». Доля высотного строительства (25 этажей и более) составляет 25%.

Сейчас во Владивостоке с переменной динамикой, но всё же строят 45-этажное здание ЖК «Аквариум». Готовятся к строительству ещё две башни: 39-и-этажная на улице Суханова и 30-и-этажная башня ЖК «Голубиная падь».

Практически завершён, состоящий из двух башен, ЖК «Магnum» высотой 106 м.

Климат Дальнего Востока отличается особой контрастностью – от резко континентального до муссонного, что обусловлено огромной протяжённостью территории с севера на юг (почти на 4500 км) и с запада на восток (на 2500-3000 км). Это определяется взаимодействием континентальных и морских воздушных масс умеренных широт.

Рассмотрим особенности климата Хабаровска и Владивостока.

По данным агентства «Интеррейтинг» Хабаровск и Владивосток вошли в пятерку самых солнечных городов страны. Циклоны, которые регулярно закрывают небо европейской части страны, не доходят до Приморского и Хабаровского краёв. Влажный тихоокеанский воздух разгоняет все облака над этой территорией.

Климат Хабаровска умеренный, муссонный, со снежной зимой и влажным летом: средняя температура января минус 19,8°С, средняя температура июля +21,3°С, среднегодовая температура +2,4°С. В Хабаровске в год выпадает в среднем 684 мм осадков. Количество солнечных дней в году существенно выше, чем в Москве – до 300 дней в году.

Для сравнения с Москвой: средняя температура января минус 6°С, июля +17°С, влажность средняя годовая 76%, количество осадков за год 704 мм. Количество солнечных дней – 100 в году. Климат Москвы умеренно-континентальный.

Климат Владивостока умеренный муссонный. Зимний период отличается морозной, сухой и ясной погодой, чему способствует перемещение сухого холодного воздуха северными и северо-западными ветрами зимнего муссона.

Среднегодовой уровень осадков составляет 840 мм. Среднегодовая температура воздуха +4,9°С. Самый тёплый месяц – август, температура воздуха +19,8°С, холодный – январь – минус 12,3°С. Количество солнечных дней около 100 в году.

Методика

Определение долговечности каждого элемента СОК в условиях ускоренных лабораторных испытаний составляло 2,5 – 3 месяца работы.

Проведение испытаний по всем элементам СОК требовало большого количества времени. В этой связи была поставлена работа по разработке методик комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК для современных фасадных систем под действием климатических факторов в разных климатических зонах РФ. Такая комплексная оценка значительно сокращала время испытаний, а также давала возможность рационально использовать лабораторное оборудование и средства измерений.

Общие принципы разработки этих методик заключаются в следующем:

- анализ климатических условий эксплуатации современных фасадных конструкций по каждой климатической зоне.
- для каждой зоны выбраны два режима комплексных ускоренных испытаний под воздействием климатических факторов:
 - герметиков, уплотнительных прокладок и стеклопакетов (режим 1);
 - алюминиевых профилей (режим 2).

Разработанные нами методики комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК в различных климатических зонах России распространяются на герметики различного функционального назначения, уплотнительные прокладки, алюминиевые профили и стеклопакеты клееные строительного назначения, предназначенные для устройства современных фасадных систем и определяют долговечность элементов СОК под действием климатических факторов [16]. Предлагаемый ускоренный подход к оценке долговечности элементов СОК в лабораторных условиях включает предварительную проверку строительных материалов на соответствие требованиям нормативных документов (стандартов, технических условий, технических регламентов, стандартов организации) и каждого строительного элемента по разработанным методикам на долговечность. Такой подход позволяет найти экономически целесообразные области применения новых строительных материалов.

В процессе разработки методики были установлены критерии оценки долговечности элементов СОК и их изменения в процессе старения, выбраны факторы климатического воздействия на отдельные элементы, установлены требования к испытательному оборудованию и средствам измерения, разработаны режимы комплексных ускоренных испытаний.

С учетом особенностей климата Хабаровска и Владивостока были разработаны следующие режимы комплексных ускоренных лабораторных испытаний.

В качестве искусственных климатических факторов при ускоренных лабораторных испытаниях герметиков, стеклопакетов и уплотнительных прокладок приняты циклические воздействия:

Режим 1:

- положительные и отрицательные температуры;
- ультрафиолетовое облучение;
- слабоагрессивные химические среды (3% растворы).

В качестве искусственных климатических факторов при ускоренных лабораторных испытаниях алюминиевых профилей приняты следующие циклические воздействия:

Режим 2:

- соляной туман;
- положительные и отрицательные температуры;
- ультрафиолетовое облучение;
- слабоагрессивные химические среды (3% растворы).

Испытания на долговечность по режиму 1 проводят по циклу:

1. Орошение 3%-ным соевым раствором хлорида натрия в воде – 0,5 ч;

2. УФ-облучение при интенсивности (80 ± 2) Вт/м² и температуре «чёрной панели» $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 4,0$ ч;
3. Выдержка в воде – 1,5 ч;
4. УФ-облучение при интенсивности (80 ± 2) Вт/м² и температуре «чёрной панели» $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 3,0$ ч;
5. Замораживание в криокамере при температуре $(-45 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 3,0$ ч;
6. Оттаивание при температуре $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 0,5$ ч;
7. Орошение кислым 3%-ным раствором серной кислоты в воде – 0,5 ч;
8. Нагрев в термокамере при температуре для прокладок - $(100 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, для герметиков - $(150 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, для стеклопакетов – $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 11,0$ ч.

Испытания на долговечность алюминиевых профилей проводят по режиму 2 по циклу:

1. Воздействие соляного тумана – 12,0 ч;
2. Высушивание при температуре $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 1,0$ ч;
3. УФ-облучение при интенсивности (80 ± 2) Вт/м² и температуре «чёрной панели» $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 3,0$ ч;
4. Орошение 3%-ным щелочным раствором гидроксида натрия в воде – 0,5 ч;
5. Замораживание в криокамере при температуре $(-45 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 3,0$ ч;
6. Оттаивание при температуре $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 0,5$ ч;
7. Орошение кислым 3%-ным раствором серной кислоты в воде – 1,0 ч;
8. Нагрев в термокамере при температуре $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C} - 3,0$ ч.

Общая продолжительность испытаний, равная 24 ч., принимается за 1 цикл. 12 циклов испытаний приравниваются к 10-и условным годам эксплуатации.

После 12, 24 и 48 циклов, соответствующим 10, 20 и 40 условным годам эксплуатации определяются физико-механические свойства.

Оценку результатов испытаний элементов СОК под действием искусственных климатических факторов проводят путём сравнения значений каждого характерного показателя старения, полученного после проведения испытаний с результатами контрольных испытаний.

Изменение характерного показателя старения образца $Y_{\text{тн. изм.}}$ в % вычисляют по формуле,

$$Y_{\text{отн}} = \frac{Y_{\text{конт}} - Y_{\text{исп}}}{Y_{\text{конт}}} 100,$$

где $Y_{\text{конт}}$ – значение контрольного показателя;

$Y_{\text{исп}}$ – значение показателя после испытания

Показатели, имеющие числовое выражение, вычисляют как среднее арифметическое значение всех испытанных образцов.

На основе разработанной методики в настоящее время разрабатывается стандарт организации СТО 02495359-3.001-2019 «Метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов в условиях климата Дальнего Востока».

Выводы

На основании проведенного обзора литературных данных, статей и СМИ по строительству высотных домов на Дальнем Востоке сделан вывод, что высотные здания строятся только в Хабаровске и Владивостоке.

Проведенный анализ особенностей климата Хабаровска и Владивостока позволил выбрать искусственные климатические факторы для лабораторных ускоренных испытаний элементов СОК для фасадных систем и разработать режимы циклических испытаний.

Разработана методика комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК: алюминиевых профилей, стеклопакетов, герметиков и уплотнительных прокладок для современных фасадных систем под действием климатических факторов применительно к климатическим условиям Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеботарёв А.Г., Фахри Н.А. Комплексные испытания моделей фасадных систем при проектировании уникальных высотных зданий // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. №5. С. 534-538.
2. Безруков А.Ю., Верховский А.А., Ройфе В.С. Техническое регулирование в области фасадных светопрозрачных конструкций // *Строительство и реконструкция*. 2016. №3 (65). С.96-101.
3. Верховский А.А., Ройфе В.С., Крымов К.С., Нанасов И.М. Мониторинг эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций высотных зданий в натурных условиях // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. №5. С.527-529.
4. Верховский А.А., Зимин А.Н., Потапов С.С. Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России // *Жилищное строительство*. 2015. №6. С.16-19.
5. Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Новое поколение энергоэффективных вентилируемых светопрозрачных фасадных конструкций с активной рекуперацией теплового потока // *Жилищное строительство*. 2015. №1. С.18-23.
6. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Особенности теплотехнического проектирования высотных зданий в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» // *Бюллетень строительной техники*. 2016. №6, С.62-64.
7. Умнякова Н.П. Методика расчёта количества переходов через 0°C, -2°C, -4°C и -6°C в толще трехслойных кирпичных стен на основе типового климатического года для оценки долговечности наружных облицовочных слоёв ограждающих конструкций // *Бюллетень строительной техники*. 2017. №8, С.37-43.
8. Умнякова Н.П. Расчет колебаний температуры в кирпичной облицовке трёхслойных стен на основе почасовых параметров типового климатического года // *Строительные материалы*. 2016. №8. С.45-50.
9. Умнякова Н.П. Учёт параметров типового климатического года для оценки морозостойкости стеновых конструкций // *Бюллетень строительной техники*. 2017. №3. С.33-39.
10. Третьяков В.И., Строкова Г.А. Испытания стеклопакетов на долговечность в Испытательном центре «Стройполимертест» // *Светопрозрачные конструкции*. 2000. №2. С.18-19.
11. Третьяков В.И., Богомолова Л.К. Определение долговечности поливинилхлоридных оконных и дверных профилей для светопрозрачных конструкций в Испытательном центре «Стройполимертест» // *Светопрозрачные конструкции*. 2003. №2. С.59-62.
12. Богомолова Л.К., Третьяков В.И., Шведов Н.В. Комментарии к новым нормативным документам. Долговечность светопрозрачных конструкций // *Светопрозрачные конструкции*. 2001. №1. С.3-4.
13. Третьяков В.И., Богомолова Л.К., Гузова Э.С., Крупнина О.А. Метод оценки коррозионной стойкости алюминиевых профилей для светопрозрачных ограждающих конструкций под действием соляного тумана // *Вестник МГСУ*. 2011. №3. т.2. С.116-122.
14. Третьяков В.И., Богомолова Л.К., Гузова Э.С. Физико-механические критерии оценки долговечности уплотнительных прокладок для оконных и дверных блоков и структурного остекления фасадов // *Строительство и реконструкция*. 2016. №3(65). С.165-168.
15. Богомолова Л.К., Ильницкий В.Д. Метод ускоренной оценки долговечности алюминиевого профиля под действием климатических факторов // *Жилищное строительство*. 2018. №6. С.36-38.
16. Богомолова Л.К., Гузова Э.С., Ильницкий В.Д. О долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов // *Строительство и реконструкция*. 2017. №3 (71). С.112-120.

REFERENCES

1. Chebotaryov A.G., Fakhri N.A. Integrated tests of models of front systems at projection of unique high-rise buildings. *Academia. Arhitektura i stroitelstvo*. 2009. No. 5. Pp. 534-538. (rus)
2. Bezrukov A.Yu., Verkhovsky A.A., Royfe V.S. Technical regulation in the field of front translucent designs. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2016. No. 3 (65), Pp. 96-101. (rus)
3. Verkhovsky A.A., Royfe V.S., Krymov K.S., Nanasov I.M. Monitoring of production characteristics of enclosing structures of high-rise buildings in natural conditions. *Academia. Arhitektura i stroitelstvo*. 2009. No.5. Pp. 527-529. (rus)
4. Verkhovsky A.A., Zimin A.N., Potapov S.S. Fppliability of modern translucent protecting designs for climatic areas of Russia. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*. 2015. No.6. Pp. 16-19 (rus)

5. Akhmyarov T.A., Spiridonov A.V., Shubin I.L. New generation of the energy efficient ventilated translucent front designs with the fissile recuperation of a heat flux. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*. 2015. No. 1. Pp. 18-23 (rus)
6. Umnyakova N.P., Butovsky I.N., Chebotaryov A.G. Features of thermal design of high-rise buildings in accordance with the requirements of SP 50.13330.2012 «SNIP 23-02-2003 "Thermal protection of buildings»». *BST*. 2016. No. 6, Pp. 62-64. (rus)
7. Umnyakova N.P. A method for calculating of number of transitions through 0 ° C, - 2 ° C, - 4 ° C and - 6 ° C in the thickness of three- layer brick walls on the basis of typical climatic year for estimating the durability of external facing layers of enclosing structures. *BST*. 2017. No. 8, Pp. 37-43. (rus)
8. Umnyakova N.P. Calculation of temperature fluctuations in brick facing of three-layer walls on the basis of hourly parameters of standard climatic year. *Stroitelnye materialy*. 2016. No. 8. pp. 45-50. (rus)
9. Umnyakova N.P. Accounting of parameters of standard climatic year for assessment of frost resistance of wall designs. *BST*. 2017. No. 3. Pp. 33-39. (rus)
10. Tretyakov V.I., Strokova G.A. Tests of double-glazed windows for a durability in the Test center "Stroypolimertest". *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2000. No. 2. Pp. 18-19. (rus)
11. Tretyakov V.I., Bogomolova L.K. Determination of durability of polyvinylchloride window and door profiles for translucent designs in the Test center "Stroypolimertest". *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2003. No. 2. Pp. 59-62. (rus)
12. Tretyakov V.I., Bogomolova L.K., Krupinina O.A. Determination of physicomechanical properties and a durability of sealants and *sealing laying* for translucent protecting designs for the front designs. *Academia. Architectura i stroitelstvo*. 2009. No.5. Pp. 513-520. (rus)
13. Bogomolova L.K., Tretyakov V.I., Shvedov N.V. Comments on new normative documents. Durability of translucent designs. *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2001. No 1. Pp. 3-4. (rus)
14. Tretyakov V.I., Bogomolova L.K., Guzova E.S., Krupinina O.A. The method of an estimation of corrosion firmness of a paint and varnish covering of aluminum shapes for translucent protecting designs under the influence of the salt fog. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3.t.2. Pp.116-122. (rus)
15. Tretyakov V.I., Bogomolova L.K., Guzova E.S. Physicomechanical criteria for assessment of durability of sealing laying for window and door blocks and structural glazing of facades. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2016. No 3(65). Pp. 165-168. (rus)
16. Bogomolova L.K., Ilnitsky V. D. A method of the accelerated assessment of durability of the aluminum shape under the influence of climatic factors. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*. 2018. No. 6. Pp.36-38. (rus)
17. Bogomolova L.K., Guzova E.S., Ilnitsky V.D. About durability of elements of translucent protecting designs for the modern front systems under the influence of climatic factors. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No. 3 (71). Pp. 112-120. (rus)

Информация об авторах:

Богомолова Лариса Константиновна

ФГБУ "Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук", Москва, Россия,
канд. хим. наук, главный научный сотрудник
E-mail: lb102@rambler.ru

Ильницкий Валерий Дмитриевич

ФГБУ "Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук", Москва, Россия,
ведущий инженер
E-mail: eagle_19@mail.ru

Information about authors:

Bogomolova Larisa K.

Federal state budgetary institution "Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences", Moscow, Russia,
candidate in chem. science, chief researcher
E-mail: lb102@rambler.ru

Ilnitsky Valery D.

Federal state budgetary institution "Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences", Moscow, Russia,
leading engineer
E-mail: eagle_19@mail.ru

ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА И ВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПРИ СЖАТИИ

СТЕПАНОВ М.В., МОЙСЕЕНКО Г.А.

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

Аннотация. Уникальные свойства высокопрочного сталефибробетона – снижение хрупкости, высокая трещиностойкость, повышенное сопротивление растяжению и другие – делают этот материал весьма привлекательным для использования в различных областях строительства. Однако, в настоящее время наши знания о свойствах этого материала еще не подкреплены достаточным количеством экспериментальных данных. Предлагаемая статья направлена на устранение этого пробела. В нашей работе проводится сравнение поведения сталефибробетона с рациональным содержанием фибры и его матрицы – мелкозернистого высокопрочного бетона при сжатии. Применяемая в описываемых экспериментах методика с включением в работу металлической трубы, выступающей как датчик силы и принимающей на себя часть нагрузки при напряжениях, близких к расчетному сопротивлению бетона, позволяет получить значения относительных деформаций, соответствующие призмочной прочности, что дает возможность построить полные диаграммы деформирования сталефибробетона. В результате испытаний подтвержден эффект «обоймы» при введении в матрицу бетона стальной фибры – снижение поперечных деформаций, повышение трещиностойкости. Характер разрушения также меняется и становится более плавным. В результате теоретической обработки данных откорректированы зависимости для расчета характеристик высокопрочного сталефибробетона при кратковременном действии сжимающей нагрузки.

Ключевые слова: мелкозернистый высокопрочный бетон, высокопрочный сталефибробетон, стальная фибра, дисперсное армирование, диаграммный метод расчета, полные диаграммы сжатия бетона

DEFORMATION DIAGRAMS OF FINE-GRAINED HIGH-STRENGTH CONCRETE AND HIGH-STRENGTH STEEL-FIBRO CONCRETE UNDER COMPRESSION

STEPANOV M. V., MOISEENKO G. A.

Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. The unique properties of high-strength steel fiber concrete, such as reduced fragility, high crack resistance, increased tensile strength, and others, make this material quite attractive for using in various areas of construction. However, at present, our knowledge of the properties of this material is not yet supported by a sufficient amount of experimental data. The article aims to eliminate this gap. In our work is compared the behavior of the steel fiber concrete with rational fiber content and its matrix, fine-grained high-strength concrete under compression. The method used in the described experiments with the inclusion of a metal pipe acting as a force sensor and receiving a part of the load at stresses close to the design resistance of concrete allows to obtain the relative deformation values corresponding to prism strength. So, we get the opportunity to construct full strain diagrams of steel fiber concrete. As a result of the tests, the effect of a “clip” was confirmed: introduction of steel fiber into the concrete matrix causes a decrease in transverse deformations, increases crack resistance. The nature of the destruction also changes and becomes smoother. As a result of theoretical data processing, the dependences were corrected for calculating the characteristics of high-strength steel fiber concrete under the short-term action of a compressive load.

Keywords: fine-grained high-strength concrete, high-strength steel fiber concrete, steel fiber, dispersed reinforcement, diagram calculation method, full concrete compression diagrams

Введение

Высокопрочный сталефибробетон (ВСФБ) открывает широкие перспективы для ведения различных конструкций, работающих в сложных условиях, в том числе, для строительства высотных и мостовых сооружений. Однако, до настоящего времени данный материал не находит широкого применения в строительстве по двум причинам – из-за относительно высокой цены и из-за недостаточно глубокой изученности его свойств, как при кратковременной, так и при длительной работе. Естественно, поведение этого материала в различных условиях вызывает большой интерес у исследователей, как в России, так и за рубежом. Проводились исследования ВСФБ как с высоким содержанием фибры [1, 2], так и с пониженным [3]; написаны работы по теме принципа включения фибры в работу бетона [4], изучалось влияние повышенных температур на деформационные свойства сталефибробетона [5, 6, 7]; в работе [8] проведен анализ различных типов используемой фибры. В нашем материале речь идет о сравнении свойств ВСФБ с рациональным содержанием фибры 1,5% от объема и его «матрицы» - мелкозернистого высокопрочного бетона (МВБ) в возрасте 28 суток при кратковременном нагружении, а именно – исследуется вопрос о применимости существующих методов расчета бетона при сжатии для ВСФБ и МВБ.

Описание методики исследований

Для описания поведения сталефибробетона при сжатии использовались экспериментальные исследования [9], охватившие весь спектр физико-механических и реологических свойств МВБ и ВСФБ при кратковременном и длительном нагружении. Полные диаграммы деформирования изучались по двум сериям образцов-призм – одна из них изготавливалась без фибры, а во вторую вводилась прямая латунированная высокопрочная стальная фибра диаметром 0,3 мм длиной 13 мм в оптимальном соотношении 1,5% от объема смеси (120 кг/м^3) – согласно результатам исследований [9], такое содержание фибры является минимальным, при котором в полной мере проявляются положительные свойства сталефибробетона. Состав матрицы назначался в соответствии с [10, 11, 12]. Как для МВБ, так и для ВСФБ он принимался следующий:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| • портландцемент марки ПЦ 500 ДОН | 900 кг/м^3 ; |
| • суперпластификатор МБЗ-50К | 360 кг/м^3 ; |
| • песок с $M_k = 2,5$ | 860 кг/м^3 ; |
| • вода | 190 кг/м^3 . |

Получение полных диаграмм деформирования образцов-призм при стандартном испытании на сжатие с применением индикаторов часового типа вызывает ряд трудностей. В настоящее время в российских и европейских нормах отсутствует единая методика получения предельных деформаций бетона, соответствующих призмочной прочности. Обычно при стандартном испытании нагрузку доводят до уровня $(0,7 \div 0,9)R_b$, после чего измерительные приборы снимают. Значение предельных деформаций в вершине диаграммы получают путем экстраполяции, что приводит порой к серьезным погрешностям. В нашем случае для исследования полных диаграмм деформирования МВБ и ВСФБ применялась методика, позволяющая получить полный закон изменения деформаций относительно уровня напряжений [13, 14]. Для этого использовалось устройство, которое изображено на рис. 1. Данное устройство состоит из трубы и двух крышек. Между трубой и верхней крышкой организуется зазор, равный $0,3 \div 0,5 \text{ мм}$, который позволяет проводить исследования физико-механических характеристик без участия трубы. На образец-призму наклеивается 8 тензорезисторов (5 продольных и 4 поперечных), концы которых выводятся с помощью колодок и проводов на внешнюю сторону трубы для подключения к регистрирующему прибору. Труба изготовлена из дуалюминия Д16Т, который обладает высоким уровнем упругой работы ($\sigma_r = 320 \text{ МПа}$) и низким модулем упругости ($E = 70000 \text{ МПа}$), что обуславливает его высокую чувствительность к деформации. Труба является датчиком силы, на который наклеены 4 продольных тензорезистора, соединенные последовательно, что позволяет регистрировать усилия в неза-

висимости от центровки трубы. Выбор толщины трубы зависит от разрушающей нагрузки образца. Разрушающая нагрузка не должна превышать предел упругой работы трубы. Перед испытанием проводится тарировка трубы, то есть определяется взаимосвязь между нагрузкой и изменением сопротивления тензорезисторов.

Методика испытания выглядит следующим образом. Выбирается ступень нагрузки, соответствующая 8-12 ступеням при обычных испытаниях. Выдержка на ступени принимается равной пяти минутам. На начальной стадии нагружения труба не участвует в процессе деформирования. Зазор между верхней крышкой и трубой позволяет отцентрировать образцы по физической оси и получить все физико-механические характеристики и, кроме того, сократить упругую деформацию трубы. После соприкосновения с трубой нагрузка распределяется между бетонным образцом и трубой. При падении напряжения в бетонном образце воспринимать возрастающую нагрузку будет труба, которая является датчиком силы. При приближении к пределу прочности в образце труба будет воспринимать все большую нагрузку и гасить энергию разрушения.



Рисунок 1 - Устройство, используемое при исследовании полных диаграмм деформирования МВБ и ВСФБ [13]

Методика обработки результатов экспериментальных данных состоит в следующем. После сопротивления трубы с верхней крышкой часть общей нагрузки передается на трубу. Чтобы определить нагрузку, действующую на образец, необходимо из общей нагрузки вычесть в соответствии с тарировочной зависимостью нагрузку, действующую на трубу. Затем полученная нагрузка делится на площадь образца и таким образом вычисляется соответствующее напряжение.

Результаты испытаний

Результаты испытаний представлены в табл. 1. и на рис. 2.

Таблица 1 - Результаты испытаний МВБ и ВСФБ

МВБ													
Продоль- ные	σ , МПа	10,7	21,4	32,1	42,8	53,5	64,2	74,9	85,6	90,95	96,30	101,65	107,0
	σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
	$\varepsilon_{b1} \times 10^5$	28	56	83	110	140	171	202	235	252	271	288	308
Попереч- ные	σ , МПа	10,7	21,4	32,1	42,8	53,5	64,2	74,4	85,6	90,95	96,30	101,65	107
	σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
	$\varepsilon_{b2} \times 10^5$	7	14	21	28	35	44	54	97	73	82	95	120
ВСФБ													
Продоль- ные	σ , МПа	12,19	24,4	36,6	48,8	60,0	73,1	85,3	97,5	103,6	109,7	115,8	121,9
	σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
	$\varepsilon_{b1} \times 10^5$	30	60	90	122	154	187	221	258	276	299	326	352
Попереч- ные	σ , МПа	12,19	24,4	36,6	48,8	60,0	73,1	85,3	97,5	103,6	109,7	115,8	121,9
	σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
	$\varepsilon_{b2} \times 10^5$	7	15	23	30	39	50	60	71	79	90	102	140

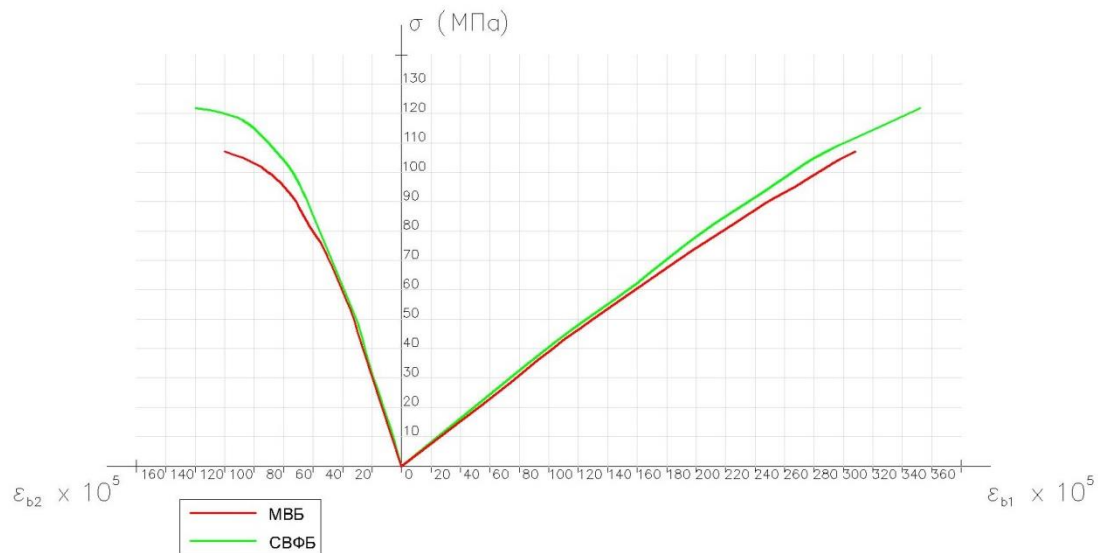


Рисунок 2 - Диаграммы деформирования ВСФБ и МВБ

Исследования на мелкозернистом высокопрочном бетоне и на ВСФБ показали, что характеры разрушения образцов различаются. Отличие заключается лишь в том, что разрушение МВБ происходит взрывоопасно с разлетанием кусков образца, а в случае с ВСФБ пластично, так как части образца связываются фиброй.

Сравнивая полные диаграммы деформирования МВБ и ВСФБ (рис. 2, табл. 1), а также характер изменения приращений модуля деформаций (ΔE_b), коэффициента поперечной деформации ($\Delta \mu_b$) и суммы объемных деформаций ($\sum \Delta Q$) на шагах нагружения для упругих и упругопластических деформаций (рис. 3 – 5, табл. 2 – 4), можно говорить о сдерживании стальной фиброй деформаций, которое на начальном этапе незначительно. В конце нагружения отмечается существенное сдерживание процесса разрушения, особенно у поперечных деформаций ВСФБ. Можно предположить, что по мере увеличения поперечных деформаций стальная фибра снимает часть нагрузки с матрицы за счет более высокого модуля упругости. Создается эффект обоймы, который сокращает поперечные деформации и повышает верхнюю границу трещинообразования. Надо полагать, что эффективность стальной фибры будет лучше проявляться при снижении класса бетона и повышении дозировки фибры.

Таблица 2 - Характер изменения приращений модуля деформаций (ΔE_b) на шагах нагружения для упругих и упругопластических деформаций

$\Delta E_b \text{ МПа} \times 10^{-3}$												
σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
МВБ	41,5	41,5	41,5	41,0	39,5	38	36	33	31	29	26,5	24
ВСФБ	42,5	42,5	42,5	42,5	41	39,5	35,5	33	31	28	25	18

Таблица 3 - Характер изменения коэффициента поперечной деформации ($\Delta \mu_b$) на шагах нагружения для упругих и упругопластических деформаций

$\Delta \mu_b$												
σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
МВБ	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,29	0,31	0,35	0,395	0,47	0,59	0,8
ВСФБ	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,28	0,3	0,33	0,37	0,43	0,51	0,7

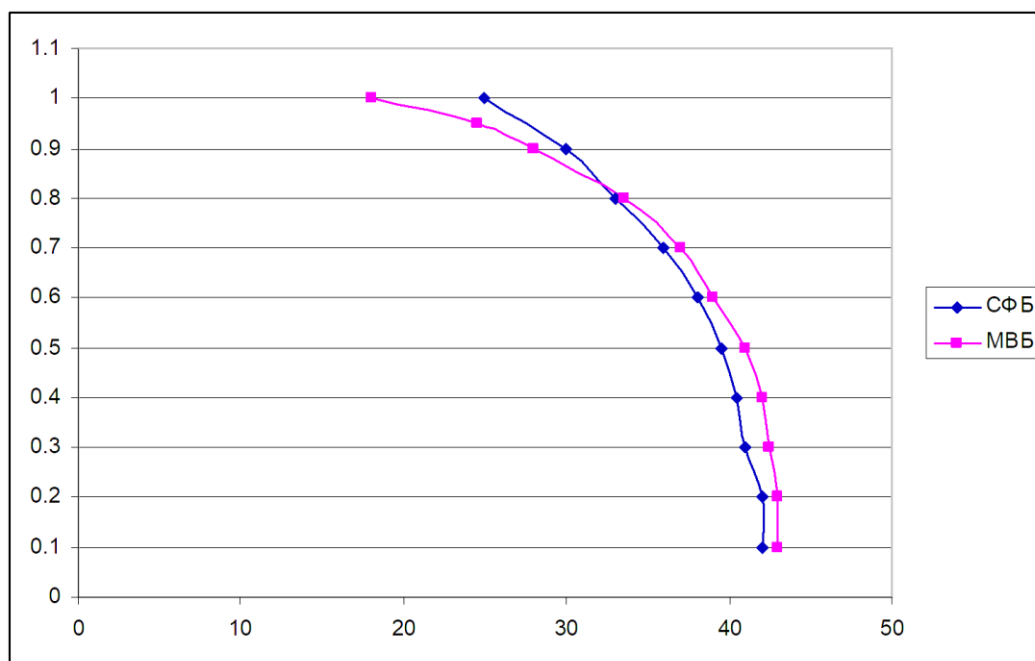


Рисунок 3 - Характер изменения ΔE_b МПа $\times 10^{-3}$ ($\Delta E_b = \Delta \sigma_b / \Delta \varepsilon_{b1}$, где $\Delta \sigma_b$, $\Delta \varepsilon_{b1}$ - приращения напряжений и продольных деформаций на ступенях нагружения)

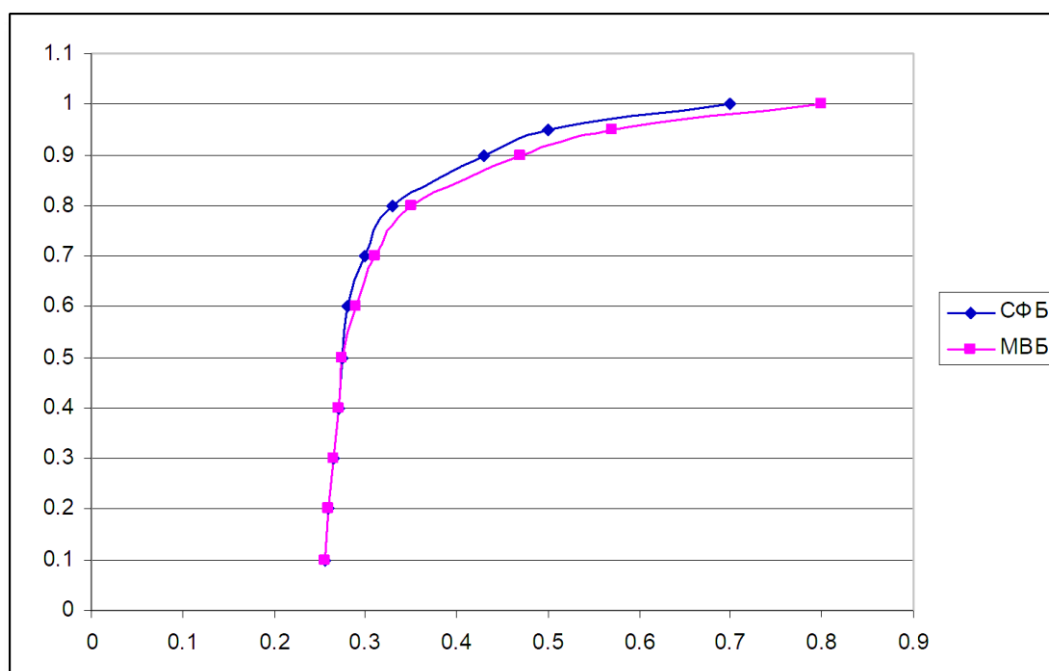


Рисунок 4 - Характер изменения $\Delta \mu_b$ ($\Delta \mu_b = \Delta \varepsilon_{b2} / \Delta \varepsilon_{b1}$, где $\Delta \varepsilon_{b2}$, $\Delta \varepsilon_{b1}$ - приращения поперечных и продольных деформаций на ступенях нагружения)

Таблица 4 - Характер изменения суммы объемных деформаций ($\sum \Delta Q$) на шагах нагружения для упругих и упругопластических деформаций

$\sum \Delta Q \times 10^5$												
σ/R_b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
МВБ	16	29	43	56	71	83	94	105	110	110	103	80
ВСФБ	15	32	47	60	77	93	105	115	119	121	114	100

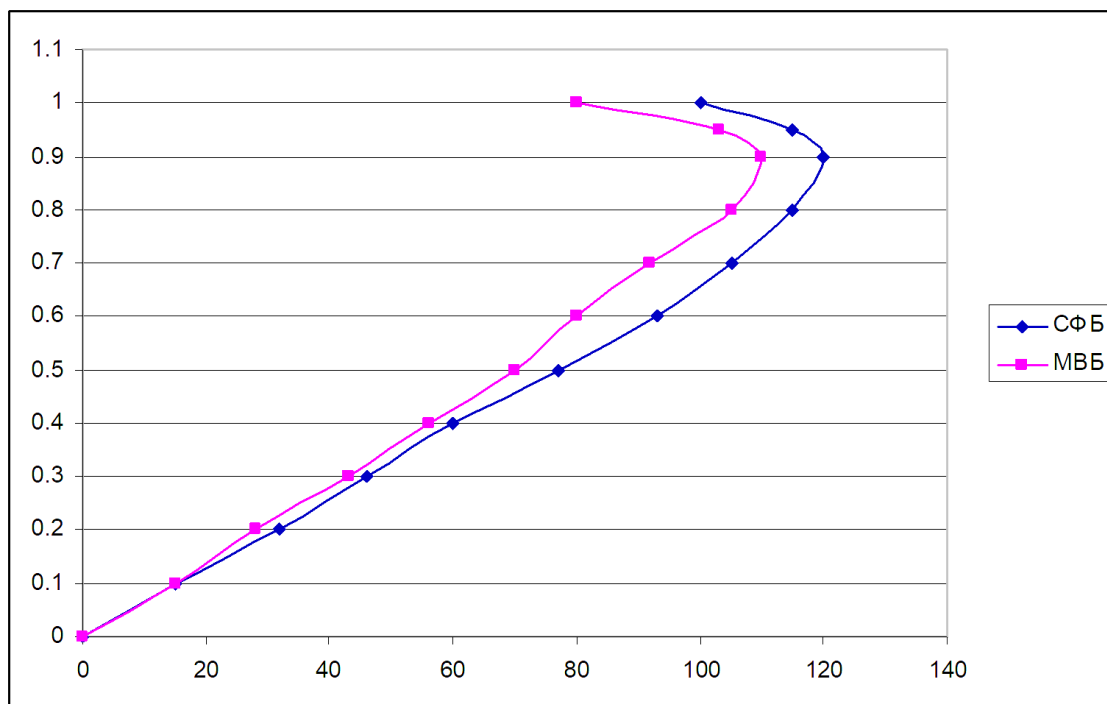


Рисунок 5 - Характер изменения объемных деформаций $\sum \Delta Q \times 10^5$ на ступенях нагружения

Теоретическая обработка результатов

Аналитическую зависимость описания диаграммы сжатия бетона « ε_b - σ_b » рекомендуется принимать в виде [15, 16]:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b} \quad (1)$$

где E_b – начальный модуль упругости бетона (принимается при уровне напряжений $\sigma = 0,25R_b$);

ν_b – коэффициент изменения секущего модуля, который вычисляется по формуле

$$\nu_b = \hat{\nu}_b \pm (\nu_0 - \hat{\nu}_b) \sqrt{1 - \omega\eta - (1 - \omega)\eta^2} \quad (2)$$

(для восходящей ветви диаграммы применяется знак «плюс», а нисходящей – «минус»), где

η – уровень напряжений в бетоне (положительная величина),

$$\eta = \sigma_b / \hat{\sigma}_b \quad (3)$$

σ_b – текущее напряжение в бетоне,

$\hat{\sigma}_b$ – напряжение в вершине диаграммы, для нормативной диаграммы $\hat{\sigma}_b = -R_{b,ser}$,

$\hat{\nu}_b$ – коэффициент изменения секущего модуля в вершине диаграммы (положительная величина),

$$\hat{\nu}_b = \frac{\hat{\sigma}_b}{E_b \hat{\varepsilon}_b} \quad (4)$$

$\hat{\varepsilon}_b$ – деформация бетона в вершине диаграммы (для напряжений сжатия – отрицательная величина), согласно [16]:

$$\hat{\varepsilon}_b = -\frac{B}{E_b} \lambda \frac{1 + \left(0.8 - 0.15 \frac{B^2}{10000}\right) \lambda B / 60 + 0.2 \lambda / B}{0.12 + 1.03 B / 60} \quad (5)$$

Здесь λ – безразмерный коэффициент, зависящий от вида бетона, принимаемый равным 1 для тяжелого и мелкозернистого бетона;

B – условный класс бетона, принимается равным $1,4R_{b,ser}$;

v_0 – начальный коэффициент изменения секущего модуля,

ω – коэффициент, характеризующий кривизну диаграммы, для восходящей ветви диаграммы в зависимости (2)

$$v_0 = 1.0; \quad \omega = 2 - 2.5 \hat{v}_b, \quad (6)$$

для нисходящей ветви диаграммы в зависимости (2):

$$v_0 = 2.05 \hat{v}_b; \quad \omega = 1.95 \hat{v}_b - 0.138. \quad (7)$$

В процессе расчета выяснилось, что для вычисления деформаций в вершине диаграммы сжатия ВСФБ следует откорректировать формулу (5). Данная формула показывает хорошую сходимость с экспериментальными данными, если представить ее в виде:

$$\hat{\varepsilon}_b = -\frac{B}{E_b} \lambda \frac{k + \left(0.8 - 0.15 \frac{B^2}{10000}\right) \lambda B / 60 + 0.2 \lambda / B}{0.12 + 1.03 B / 60} \quad (5.1)$$

где k – безразмерный коэффициент,

для МВБ $k = 1$,

для ВСФБ $k = 1,3$.

Отметим также, что характеристику $\hat{\varepsilon}_b$ можно также вычислять по предложенной ниже формуле, показывающей удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными:

$$\hat{\varepsilon}_b = k \cdot 10^{-5} \left(\sqrt[4]{\frac{R_b}{R_0}} \right) \quad (8)$$

где k – безразмерный коэффициент,

для МВБ $k = 200$,

для ВСФБ $k = 220$;

R_0 – размерный коэффициент, принимаемый равным 20 МПа.

Результаты вычисления $\hat{\varepsilon}_b$ по формулам (5), (8) и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными представлено в табл. 5.

Таблица 5 - Результаты вычисления $\hat{\varepsilon}_b$

Вид бетона	$\hat{\varepsilon}_b$ по формуле (5)	$\hat{\varepsilon}_b$ по формуле (8)	Экспериментальные значения $\hat{\varepsilon}_b$
МВБ	0,00312	0,00304	0,00308
ВСФБ	0,00355	0,00346	0,00352

Результаты вычисления продольных деформаций МВБ и ВСФБ в зависимости от уровня напряжений по формуле (1) с применением (8) представлены в табл. 6.

Таблица 6 - Результаты вычисления продольных деформаций МВБ и ВСФБ в зависимости от уровня напряжений по формуле (1)

МВБ													
Продольные	σ , МПа	10,7	21,4	32,1	42,8	53,5	64,2	74,9	85,6	90,95	96,30	101,65	107,0
	$\varepsilon_{bl} \times 10^5$	27,8	55,6	83,3	111,1	139,0	167,2	196,0	226,0	241,8	258,6	277,0	304,2
ВСФБ													
Продольные	σ , МПа	12,19	24,4	36,6	48,8	60,0	73,1	85,3	97,5	103,6	109,7	115,8	121,9
	$\varepsilon_{bl} \times 10^5$	30,0	60,1	90,1	120,2	148,0	181,1	213,0	246,8	265,1	284,8	307,5	345,7

Поперечные деформации бетона определяются соотношением:

$$\varepsilon_p = -\varepsilon_b \mu_b \quad (9)$$

где μ_b – коэффициент поперечных деформаций бетона, вычисляемый по формуле

$$\mu_b = \hat{\mu}_b + (\mu_b^0 - \hat{\mu}_b) \sqrt{1 - \eta^2} \quad (10)$$

μ_b^0 – начальное значение коэффициента поперечных деформаций (принимается при уровне напряжений $\sigma = 0,25R_b$);

$\hat{\mu}_b$ – значение коэффициента поперечных деформаций в вершине диаграммы, вычисляется по формуле

$$\hat{\mu}_b = \mu_b^0 + (1 - 0,9^3 \sqrt{\hat{\nu}_b}) \quad (11)$$

Результаты вычисления поперечных деформаций МВБ и ВСФБ в зависимости от уровня напряжений по формуле (9) представлены в табл. 7.

Таблица 7 - Результаты вычисления поперечных деформаций МВБ и ВСФБ в зависимости от уровня напряжений по формуле (9)

МВБ													
Поперечные	σ , МПа	10,7	21,4	32,1	42,8	53,5	64,2	74,9	85,6	90,95	96,30	101,65	107,0
	$\varepsilon_{b2} \times 10^5$	7,12	14,24	21,40	28,66	36,19	44,28	53,43	64,57	71,44	79,81	90,96	116,4 ₉
ВСФБ													
Поперечные	σ , МПа	12,19	24,4	36,6	48,8	60,0	73,1	85,3	97,5	103,6	109,7	115,8	121,9
	$\varepsilon_{b2} \times 10^5$	7,61	15,23	22,88	30,67	38,13	47,60	57,82	70,60	78,70	88,80	102,64	136,41

Наглядное сравнение теоретических и экспериментальных данных представлено на рис. 6. Можно говорить об удовлетворительной работе представленных зависимостей применительно к МВБ и ВСФБ.

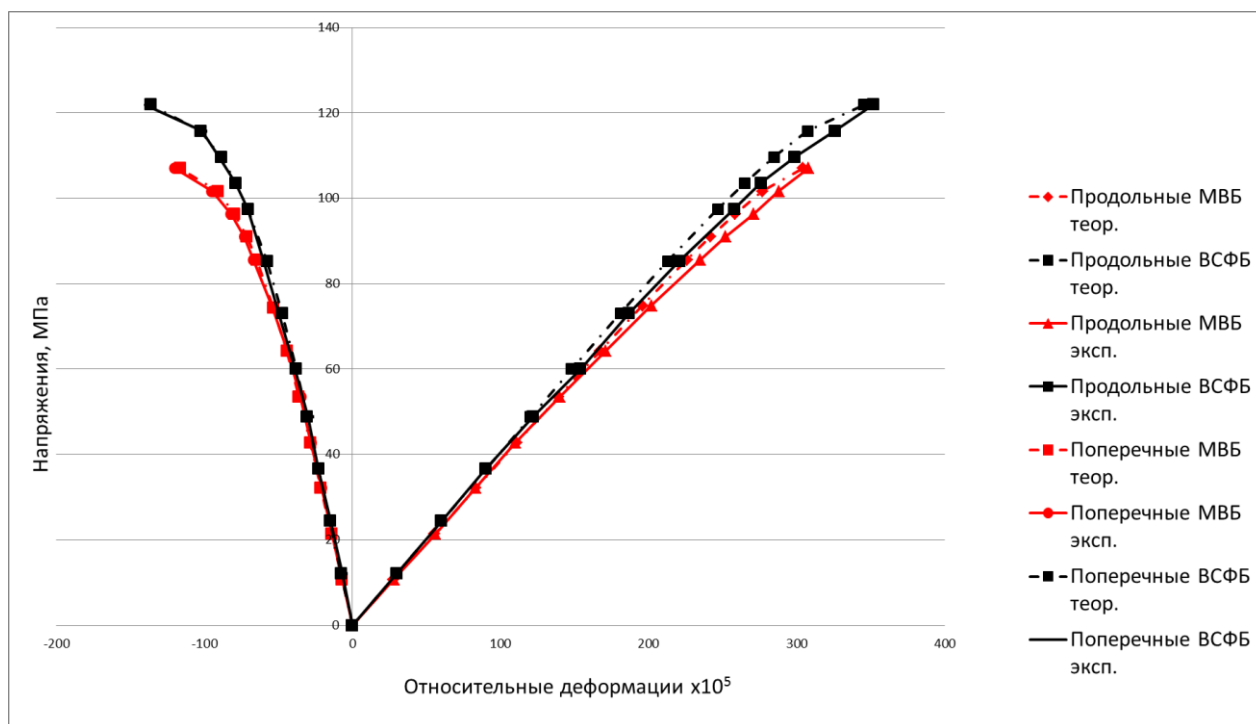


Рисунок 6 - Сравнение теоретических и экспериментальных диаграмм сжатия МВБ и ВСФБ

Выводы

По результатам исследования можно сделать ряд выводов:

- введение стальной фибры в матрицу бетона незначительно сказывается на расчетном сопротивлении бетона сжатию, однако существенно изменяет характер разрушения образцов, делая его более плавным;
- при значительных уровнях сжимающей нагрузки стальная фибра создает эффект «обоймы», снижая поперечные деформации и повышая общую трещиностойкость бетона;
- расчет диаграмм деформирования высокопрочного сталефибробетона можно выполнять согласно предложенным зависимостям с получением результатов, показывающих хорошую сходимость с экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко Н.И., Травуш В.И., Каприелов С.С., Безгодов И.М., Андрианов А.А., Мишина А.В. Результаты исследования конструктивных свойств высокопрочного сталефибробетона // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году. Москва. С. 351-354.
2. Мишина, А.В., Чилин И.А., Андрианов А.А. Физико-технические свойства сверхвысокопрочного сталефибробетона // Вестник МГСУ № 3. 2011. С.159-165.
3. W. Yao, L. Jie, K. Wu. Mechanical Properties of Hybrid Fiber Reinforced Concrete at Low Fiber Volume // Cement & Concrete Research No 33, 2003. P. 27-30.
4. Antonie, E. Naaman. Fiber Reinforced Cement and Concrete Composites. Sarasota, Techno Press 3000, 1st edition, 2018. 765 p.
5. Korsun, V., Korsun, A., Mashtaler, S. Determination of the Critical Duration of the First Heating of Heavy Concrete by the Criterion of the Maximum Strength Reduction // Applied Mechanics and Materials, 2015, Trans tech Publications, Switzerland, Vols. 725 – 726, pp. 566 – 571. [Электронный ресурс]. URL: [http : https://www.scientific.net/AMM.725-726.566](http://www.scientific.net/AMM.725-726.566)
6. Korsun, V., Vatin, N., Franchi, A., Korsun, A., Crespi, P., Mashtaler, S. The Strength and Strain of High-Strength Concrete Elements with Confinement and Steel Fiber Reinforcement including the Conditions of the Effect of Elevated Temperatures // International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, SPbUCEME, 2015. Procedia Engineering (SCOPUS), 2015. №117. P. 975 – 984.
7. Машталер С.Н., Корсун В.И. Влияние кратковременного нагрева на прочность и деформации высокопрочного сталефибробетона при осевом сжатии и растяжении // Сборник тезисов докладов по материалам №3 (83) 2019 (май-июнь)

конференции «Научно–технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строительно–архитектурной отрасли». Макеевка, 2016. С.142.

8. Барсук Н.Д., Мозалевский Д.А., Купенко И.В., Борщевский С.В., Макаренко С.Ю., Машталер С.Н. Лабораторные исследования фибробетона для подземного строительства // Проблемы недропользования: Сборник научных трудов. Часть I. Санкт–Петербургский горный университет. СПб, 2017. С. 149–153.

9. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Петров А.Н., Безgodov И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В., Чилин И.А. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочных сталефибробетонов из самоуплотняющихся смесей. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году, том 2. Москва. 2018. С. 237-246.

10. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Новые модифицированные бетоны // М., ООО «Типография Парадиз». 2010. С. 258.

11. Каприелов С.С., Чилин И.А. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций. // Строительные материалы, №7. 2013. С. 28-30.

12. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Дондуков В.Г. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформативными характеристиками // Бетон и железобетон, № 2. 2006. С. 2-7.

13. Безgodov И.М. К вопросу оценки предельной относительной деформации бетона при сжатии для разных классов бетона. // Бетон и железобетон, №5. 2015. С. 9-11.

14. Безgodov И.М. Влияние стальной фибры на физико-механические и реологические свойства высокопрочного мелкозернистого бетона. // Бетон и железобетон, №1. 2015.

15. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. Стройиздат, Москва, 1996, стр. 97.

16. Карпенко Н.И., Травуш В.И. и др. Методическое пособие «Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования». Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». Москва, 2017.

REFERENCES

1. Karpenko I.N., Travush V.I., Kapriyelov S.S., Bezgodov I.M., Andrianov A.A., Mishina A.V. Rezul'taty issledovaniya konstruktsionnykh svoystv vysokoprochnogo stalefibrobetona [The results of the study of the structural properties of high-strength steel fiber concrete]. Fundamental research of the RAABS on the scientific support of the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2012, p. 351-354.

2. Mishina, A.V., Chilin I.A., Andrianov A.A. Fiziko-tehnicheskiye svoystva sverkhvysokoprochnogo stalefibrobetona [Physics-technical properties of high-strength steel fiber reinforced concrete]. Vestnik MSBU. 2011. No. 3. Pp.159-165.

3. W. Yao, L. Jie, K. Wu, Mechanical Properties of Hybrid Fiber Reinforced Concrete at Low Fiber Volume. Cement & Concrete Research, No. 33. 2003. P. 27-30.

4. Antonie, E. Naaman. Fiber Reinforced Cement and Concrete Composites. Sarasota, Techno Press 3000; 1st edition, 2018. 765 p.

5. Korsun, V., Korsun, A., Mashtaler, S. Determination of the Critical Duration of the First Heating of Heavy Concrete by the Criterion of the Maximum Strength Reduction. Applied Mechanics and Materials. 2015 Vols. 725 – 726, Pp. 566 – 571. [http : https://www.scientific.net/AMM.725-726.566](http://www.scientific.net/AMM.725-726.566).

6. Korsun, V., Vatin, N., Franchi, A., Korsun, A., Crespi, P., Mashtaler, S. The Strength and Strain of High-Strength Concrete Elements with Confinement and Steel Fiber Reinforcement including the Conditions of the Effect of Elevated Temperatures. International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, SPbUCEME, 2015. Procedia Engineering (SCOPUS), 2015. No 117. Pp. 975 – 984.

7. S.N. Mashtaler, V.I. Korsun. Vliyaniye kratkovremennogo nagreva na prochnost' i deformatsii vysokoprochnogo stalefibrobetona pri oboym szhatii i rastyazhenii [The effect of short-term heating on strength and deformation of high-strength steel fiber concrete under axial compression and tension]. Collection of theses of reports on the materials of the conference "Scientific and technical achievements of students, graduate students, young scientists of the construction and architectural industry". Makeyevka, 2016. P.142.

8. N.D. Barsuk, D.A. Mozalevskiy, I.V. Kупenko, S.V. Borshchevskiy, S.YU. Makarenko, S.N. Mashtaler. Laboratornyye issledovaniya fibrobetona dlya podzemnogo stroitel'stva [Laboratory studies of fiber concrete for underground construction] . Subsoil use problems: Collection of scientific papers. Part I, St. Petersburg Mining University. SPb, 2017. Pp.149–153.

9. Karpenko N.I., Kapriyelov S.S., Petrov A.N., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V., Chilin I.A. Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh i reologicheskikh svoystv vysokoprochnykh stalefibrobetonov iz samouplotnyayushchikhsya smesey. [Investigation of the physico-mechanical and rheological properties of high-strength steel

fiber reinforced concrete from self-compacting mixtures]. Fundamental, search and applied research of the RAACS on the scientific support of the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017, vol. 2. Moscow, 2018. Pp. 237-246.

10. Kapriylov S.S., Sheynfel'd A.V., Kardumyan G.S. Novyye modifitsirovannyye betony [New modified concretes]. Moscow: "Printing House Paradiz" LLC. 2010. 258 p.

11. Kapriylov S.S., Chilin I.A. Sverkhvysokoprochnyy samouplotnyayushchiysya fibrobeton dlya monolitnykh konstruktсий [Ultra-high-strength self-compacting fiber-reinforced concrete for monolithic structures]. *Construction Materials*. 2013. No 7. Pp. 28-30.

12. Kapriylov S.S., Sheynfel'd A.V., Kardumyan G.S., Dondukov V.G. Modifitsirovannyye vysokoprochnyye melkozemnistyye betony s uluchshennymi deformativnymi kharakteristikami [Modified high-strength fine-grained concretes with improved deformative characteristics]. *Concrete and reinforced concrete*. 2006. No 2. Pp. 2-7.

13. Bezgodov I.M. K voprosu otsenki predel'noy otnositel'noy deformatsii betona pri szhatii dlya raznykh klassov betona [To the question of estimating the ultimate relative deformation of concrete under compression for different classes of concrete]. *Concrete and reinforced concrete*. 2015, No 5. Pp. 9-11.

14. Bezgodov I.M. Vliyaniye stal'noy fibry na fiziko-mekhanicheskiye i reologicheskiye svoystva vysokoprochnogo melkozemnistogo betona. [The effect of steel fibers on the physico-mechanical and rheological properties of high-strength fine-grained concrete]. *Concrete and reinforced concrete*. 2015. No. 1.

15. Karpenko N.I. Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics]. Moscow: Stroyizdat, 1996. 97 p.

16. Karpenko N.I., Travush V.I. et al. Metodicheskoye posobiye «Staticheski neopredelimyye zhelezobetonnyye konstruktсий. Diagrammnyye metody avtomatizirovannogo rascheta i proyektirovaniya». [Methodical manual "Statically indefinable reinforced concrete structures. Diagrammatic methods of automated calculation and design"]. Federal Autonomous Institution "Federal Center for rationing, standardization and conformity assessment in construction." Moscow, 2017.

Информация об авторах:

Степанов М.В.

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН)»,
г. Москва, Россия,
ведущий инженер
E-mail: niisf_lab9@mail.ru

Моисеенко Г.А.

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН)»,
г. Москва, Россия,
ведущий инженер
E-mail: gecklock@yandex.ru

Information about authors:

Stepanov M.

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
Moscow, Russia,
lead engineer
E-mail: niisf_lab9@mail.ru

Moiseenko G.

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
Moscow, Russia,
lead engineer
E-mail: gecklock@yandex.ru

РАСЧЕТЫ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СРЕДСТВ ЕГО СНИЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

АНТОНОВ А.И.¹, ЛЕДЕНЕВ В.И.¹, МАТВЕЕВА И.В.¹, ШУБИН И.Л.²

¹Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

Аннотация. На современных производственных предприятиях широкое распространение имеет оборудование, излучающее импульсный шум. Импульсный шум оказывает более неблагоприятное воздействие на организм работающих людей. Поэтому к его ограничению предъявляются более жесткие требования. Выполнение их требует применения конструктивных мероприятий по ограничению мощности излучения импульсов звуковой энергии оборудованием и строительно-акустических мер снижения шума на путях его распространения. И в том и другом случаях необходимо оценивать акустическую эффективность предлагаемых мер. Это возможно при наличии метода расчета, объективно оценивающего распространение импульсного шума в помещениях с учетом их объемно-планировочных и акустических характеристик. В статье предложен статистический энергетический метод расчета импульсного шума, позволяющий оценивать его пространственно-временные характеристики при решении широкого круга задач по снижению воздействия шума на организм работающих. Показаны возможности метода при решении этих задач.

Ключевые слова: шум, импульсный шум, производственные помещения, метод расчета шума, строительно-акустические методы, защита от шума.

CALCULATIONS OF IMPULSE NOISE IN THE DESIGN OF MEANS OF REDUCTION IN INDUSTRIAL BUILDINGS

ANTONOV A.I.¹, LEDENEV V.I.¹, MATVEEVA I.V.¹, SHUBIN I.L.²

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russia,

²Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia,

Abstract. At modern industrial enterprises, equipment emitting impulse noise is widespread. Impulse noise has a more adverse effect on the body of working people. Therefore, more stringent requirements are imposed on its limitation. Performing them requires the use of constructive measures to limit the power of radiation of pulses of sound energy by equipment and building-acoustic measures to reduce noise in the ways of its propagation. In both cases, it is necessary to evaluate the acoustic efficiency of the proposed measures. This is possible if there is a calculation method that objectively evaluates the propagation of impulse noise in rooms taking into account their space-planning and acoustic characteristics. The article proposes a statistical energy method for calculating impulse noise, allowing to evaluate its spatial-temporal characteristics when solving a wide range of tasks to reduce the impact of noise on the body of workers. The possibilities of the method are shown in solving these problems.

Keywords: noise, impulse noise, industrial premises, noise calculation method, construction and acoustic methods, noise protection.

Введение

На современных производственных предприятиях большое распространение имеет технологическое оборудование, излучающее при работе импульсный шум. Под его воздействием в настоящее время находится большое количество работающих. По сравнению с по-

стоянным шумом импульсный шум оказывает более негативное воздействие на организм человека [1]. Согласно [2] при клинических наблюдениях рабочих, подвергающихся воздействию импульсного шума, установлено, что наиболее часто проявляется сочетание изменений органов слуха, нервной и сердечно-сосудистой системы.

Ограничение воздействия импульсного шума на организм человека является весьма сложной задачей, решение которой имеет большое социально-экономическое значение. Уменьшение вредного воздействия импульсного шума может быть достигнуто двумя путями.

Первый путь связан с конструктивными изменениями в технологическом оборудовании, излучающем импульсный шум. К таким мерам, согласно [3], может относиться уменьшение уровня импульса и его длительности, изменение частоты следования импульсов, сужение ширины полосы частот излучаемого шума. Перечисленные меры достигаются соответствующими конструктивными изменениями в источнике шума, связанными, как правило, со значительными материальными затратами. На стадии их разработки необходимо предварительно производить оценку их акустической эффективности. С этой целью необходимо иметь метод расчета импульсного шума в производственных помещениях, позволяющий строить графики изменения энергетических характеристик импульсного шума во времени с учетом объемно-планировочных и акустических параметров помещений. Например, в случае роста частоты следований импульсов метод должен оценивать изменение глубины модуляции импульсного шума. Установлено, что с ростом частоты уменьшается глубина модуляции и за счет этого несколько снижается биологическая активность шума [3].

Вторым путем ограничения действия импульсного шума является применение строительно-акустических средств снижения импульсного шума, а именно, экранирования, звукоизоляции, звукопоглощения. За счет их применения возможно изменять энергетические, частотные и временные характеристики импульсного шума, приходящего на рабочие места в производственных помещениях. Одним из способов в этом случае является изменение соотношения между импульсным и фоновым шумами, возникающими в помещении. Уменьшение соотношения приводит к уменьшению глубины модуляции, и соответственно, к снижению вредного действия шума. Достигнуть этого можно либо снижением уровня импульса, либо повышением фонового шума [3]. Первое возможно конструктивными изменениями в источнике шума, а второе за счет строительно-акустических средств. Для оценки акустической эффективности строительно-акустических средств необходимо иметь метод расчета энергетических характеристик шума, учитывающий акустические и планировочные параметры помещений.

Таким образом, при оценке акустической эффективности снижения вредного воздействия импульсного шума за счет применения конструктивных мер в его источнике и строительно-акустических средств изменения параметров шумового режима в помещениях необходим метод расчета шума, оценивающий распространение в них импульсного и фонового шума. В статье предлагается такой метод расчета и показываются его возможности и границы применения.

Метод расчета шума в помещениях с импульсными и постоянными источниками шума

Уровень звукового давления импульсного шума в расчетных точках определяется прямой энергией импульса и его отраженной составляющей, возникающей при отражениях звуковой энергии импульса от ограждений. Формирование и распространение отраженной энергии импульса определяется большим количеством факторов. Наиболее важным среди них является характер отражения звука от ограждений [4].

В процессе многочисленных исследований установлено, что в общем случае реальный характер отражения звука от ограждений близок к зеркально-диффузному отражению. В

настоящее время разработаны методы расчета шума, реализующие такой вид отражения [5,6].

Для оценки непостоянного во времени шума была предложена комбинированная расчетная модель, учитывающая зеркально-диффузный характер отражения, и разработана программа для ее реализации [7]. Расчет отраженной энергии в этом случае производится двумя методами. На основе метода геометрической акустики определяется зеркальная составляющая отраженной энергии, а методом, основанным на интегральном уравнении Куттруфа, диффузная энергия. При использовании такой комбинированной модели требуются значительные вычислительные ресурсы и существенные затраты времени на вычисления. Поэтому модель более пригодна для исследовательских целей, чем для решения практических задач борьбы с шумом. На ее основе возможно, например, производить анализ влияния коэффициентов рассеяния на соотношение энергий зеркальной и рассеянной составляющих в отраженном звуковом поле и на их изменение во времени.

Выполненные на основе этой комбинированной модели исследования показали, что при коэффициентах рассеяния отраженной энергии более 0.20 величина отраженной энергии и ее изменение во времени в основном определяются диффузно отраженной составляющей. Согласно выполненным нами исследованиям [6] в производственных помещениях с технологическим оборудованием коэффициенты рассеяния находятся в пределах от 0.5 до 1.0. Следовательно, это дает возможность использовать при расчетах шума и проектировании средств шумозащиты более простые методы, основанные на представлениях о диффузном характере отражения звука от ограждений.

Пропорции помещений также оказывают влияние на характер формирования отраженного звукового поля. Известно, что в длинных и плоских производственных помещениях отраженное поле при диффузном отражении звука от ограждений имеет квазидиффузный характер, при котором отраженная звуковая энергия не распределяется равномерно по помещению, а имеет явно выраженные спады по мере удаления от источника [7].

Таким образом, при работе в помещении источника шума с непостоянной во времени звуковой мощностью происходит изменение отраженной звуковой энергии во времени и по пространству помещения. В этом случае для расчета пространственно-временных изменений отраженного шума предлагается использовать статистическую энергетическую модель [7]. Модель построена исходя из представлений о том, что в отраженном квазидиффузном звуковом поле существует связь плотности потока \bar{q} и градиента плотности отраженной звуковой энергии ϵ , имеющая вид

$$\bar{q} = -\eta \text{grad} \epsilon, \quad (1)$$

где η - коэффициент связи плотности потока и градиента плотности, определяемый выражением [10]

$$\eta = 0.5c\bar{l}, \quad (2)$$

c – скорость звука в воздухе; \bar{l} – средняя длина свободного пробега отраженных звуковых лучей в помещении.

В этом случае распределение звуковой энергии в замкнутом помещении описывается дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка

$$\frac{\partial \epsilon_{(r,t)}}{\partial t} - \eta \nabla^2 \epsilon_{(r,t)} + m_g \epsilon = F_{(r,t)}, \quad (3)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа; m_g – пространственный коэффициент затухания звука в воздухе; $F_{(r,t)} = W(1 - \bar{\alpha}) / dv$ – количество излученной отраженной звуковой энергии в объем dv ; W – мощность источника; $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения помещения.

Решая уравнение (3), можно получить распределение отраженной энергии по пространству помещения в любой промежуток времени.

Однозначность решения уравнения (3) обеспечивается заданием граничных и начальных условий.

Граничные условия в соответствии с (1) имеют вид

$$q_{(r,t)} \bar{n} = -\eta \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \Big|_S = \gamma \varepsilon_{(r,t)} \Big|_S, \quad (4)$$

где γ - коэффициент переноса отраженной энергии на границах помещения, определяемый согласно [10] выражением

$$\gamma = \frac{c\alpha_s}{2(2-\alpha_s)}; \quad (5)$$

α_s - коэффициент звукопоглощения на участке поверхности помещения S .

Окончательно, с учетом (2) и (5) граничные условия можно представить в виде

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \Big|_S = -\frac{\alpha_s}{(2-\alpha_s)\bar{l}} \varepsilon_{(r,t)} \Big|_S. \quad (6)$$

Начальные условия определяются информацией о начальном распределении отраженной звуковой энергии по помещению

$$\varepsilon|_{t=t_0} = f(x_1, x_2, x_3). \quad (7)$$

Подобные представленной расчетной модели подходы позднее были предложены в зарубежных работах [9-15]. Они основаны на представлениях о диффузионном распространении отраженной звуковой энергии подобно броуновскому движению молекул [16].

В нашем случае для установления начальных условий можно предположить, что действие широкополосного ненаправленного источника шума, расположенного в точке с координатами x_1^0, x_2^0, x_3^0 , представляется в виде последовательного излучения импульсов звуковой энергии при бесконечно малом временном интервале $\partial\tau$. Энергия импульса, участвующая в последующем формировании отраженного звукового поля, составляет величину $W(1-\bar{\alpha})\partial\tau$. При бесконечно малом $\partial\tau$ с достаточным приближением можно считать, что излучаемый импульс энергии первоначально распределяется вблизи источника в малом объеме $V_{ис}$ и, соответственно, начальные условия имеют вид

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{W(1-\bar{\alpha})\Delta\tau}{V_{ис}}; x \in V_{ис}, \\ \varepsilon = 0; x \notin V_{ис}. \end{cases} \quad (8)$$

где $V_{ис}$ - достаточно малая по сравнению с объемом помещения область первоначального распределения импульса.

Для реализации расчетной модели, состоящей из параболического уравнения (3) с граничными и начальными условиями (6) и (8), использован метод разделения переменных (метод Фурье) [7]. Метод пригоден для расчетов в помещениях правильной прямоугольной формы с граничными условиями (6) в виде (см. рис.1).

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \Big|_{x_j=l_j} = -k_j^+ \varepsilon \Big|_{x_j=l_j}; \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \Big|_{x_j=0} = +k_j^0 \varepsilon \Big|_{x_j=0}. \quad (9)$$

где $k_j^+ = \frac{\alpha_j^+}{(2-\alpha_j^+)\bar{l}}$; $k_j^0 = \frac{\alpha_j^0}{(2-\alpha_j^0)\bar{l}}$; α_j - коэффициент звукопоглощения j -ой поверхности.

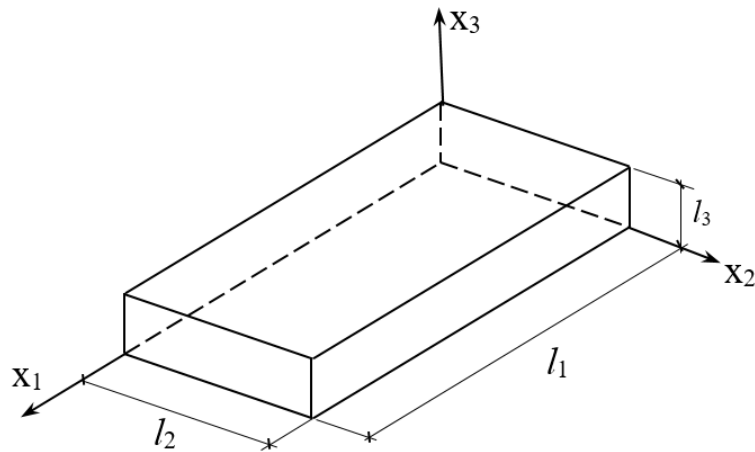


Рисунок 1 – Система координат помещения

Выражение для описания процесса распределения и затухания импульса энергии в пространстве помещения в этом случае имеет вид

$$\varepsilon_{\text{имп}} = \sum_m \sum_n \sum_q \frac{W(\tau)(1-\bar{\alpha})\varphi_m\varphi_n\varphi_q\varphi_m^0\varphi_n^0\varphi_q^0}{B_mB_nB_q} e^{-U_{mnq}(t-\tau)} d\tau. \quad (10)$$

Если звуковая энергия излучается источником в течение интервала времени $\tau_1 < t < \tau_2$, то результат его действия равен сумме действий всех импульсов и для получения энергетических характеристик отраженного звукового поля необходимо проинтегрировать выражение (10).

Если координаты расчетной точки (x_1, x_2, x_3) и источника (x_1^0, x_2^0, x_3^0) постоянны, получим

$$\varepsilon = (1-\bar{\alpha}) \sum_m \sum_n \sum_q \frac{\varphi_m\varphi_n\varphi_q\varphi_m^0\varphi_n^0\varphi_q^0}{B_mB_nB_q} \int_{\tau_1}^{\tau_2} W(\tau) \exp[-U_{mnq}(t-\tau)] d\tau. \quad (11)$$

В формулах (10) - (11) t – время наблюдения импульса энергии; τ – начальный момент времени после импульса излучения; $\varphi_m\varphi_n\varphi_q$ – система ортогональных тригонометрических собственных функций; $\varphi_m^0\varphi_n^0\varphi_q^0$ – значения собственных функций в точке источника; U_{mnq} – показатель затухания во времени амплитуд частных решений; B_1 – нормирующие сомножители.

Собственные функции определяются по формуле

$$\varphi_i = \cos \left[\mu_i \left(\frac{2x_j}{l_j} - 1 \right) \right], \quad (12)$$

где i, j – индексы, связанные соотношениями:

$$\begin{cases} i = m \in \{1, 2, \dots, \infty\} \\ j = 1 \end{cases}; \quad \begin{cases} i = n \in \{1, 2, \dots, \infty\} \\ j = 2 \end{cases}; \quad \begin{cases} i = q \in \{1, 2, \dots, \infty\} \\ j = 3 \end{cases}.$$

Собственные числа μ_i , обеспечивающие соблюдение граничных условий (9), определяются из решения трансцендентных уравнений

$$\operatorname{tg}(2\mu_i) = \frac{2\mu_i(k_j^+ + k_j^0)l_j}{4\mu_i - k_j^+k_j^0l_j^2}, \quad (13)$$

причем $\mu_i > 0$ и $\mu_{i+1} < \mu_i$.

Показатели затухания находятся по формуле

$$U_{mq} = 0,5cl_{cp} \left[\frac{2m_b}{l_{cp}} + 4 \sum_{j=1}^3 \left(\frac{\mu_j}{l_j} \right)^2 \right], \quad (14)$$

а нормирующие сомножители из выражения

$$B_i = \int_0^{l_j} [\varphi_i]^2 dx_j. \quad (15)$$

Выражение (11) можно использовать и для оценки распределения отраженной звуковой энергии при работе постоянного источника шума. В этом случае имеем

$$\varepsilon = W(1 - \tilde{\alpha}) \sum_m \sum_n \sum_q \frac{\varphi_m \varphi_n \varphi_q \varphi_m^0 \varphi_n^0 \varphi_q^0}{B_m B_n B_q U_{mq}} e^{-U_{mq} r/c}, \quad (16)$$

где r – расстояние от источника до точки расчета.

Соответственно, суммарный уровень звукового давления прямого и отраженного шума от источника постоянной звуковой мощности в i -ой расчетной точке будет определяться по формуле

$$L_i = L_p + 10 \lg \left[\frac{\Phi e^{-m_b r_i}}{\Omega c r_i^2} + (1 - \tilde{\alpha}) \sum_m \sum_n \sum_q \frac{\varphi_m \varphi_n \varphi_q \varphi_m^0 \varphi_n^0 \varphi_q^0}{B_m B_n B_q U_{mq}} e^{-U_{mq} r/c} \right], \quad (17)$$

где Φ – фактор направленности источника, Ω – пространственный угол излучения источника.

Таким образом, рассмотренный метод разделения переменных может быть использован для решения поставленных выше задач при работе в помещении импульсных источников и источников, создающих фоновый шум. Для реализации метода разработана компьютерная программа.

Использование метода для решения задач по оценке импульсного шума

Для оценки возможностей разрабатываемого метода выполнено решение ряда задач. Задачи решены для помещения размерами $60 \times 60 \times 6$ м. Расчеты произведены для октавной полосы с $f_{cp} = 2000$ Гц. Средний коэффициент звукопоглощения ограждений равен $\bar{\alpha} = 0.10$. Во всех случаях точечный источник периодического действия находился в точке с координатами: $x=10$ м, $y=30$ м, $z=1.2$ м.

На рис.2 приведены графики изменений уровней отраженного шума в помещении в расчетной точке с координатами $x=26$ м, $y=30$ м, $z=1.5$ м при действии импульсов разной формы (см. табл.1). Для вариантов 1-3 длительность импульса равна 0.5 с, для варианта 4 – 1.5 с, для варианта 5 – 1.0 с. Длительность импульсов подобрана исходя из условия равенства общей излучаемой энергии. Акустическая мощность импульса принята $W_{им} = W_0 10 \lg(10^{0.1 L_w})$ при $L_w = 10$ дБ, $W_0 = 10^{-12}$ Вт. Расчеты выполнены при периоде излучения 1.5 с. Как видно, изменяя форму импульса можно достичь некоторого снижения шума. На это указано ранее в работе [3].

Рассмотрено влияние частоты излучения импульсов на соотношение $L_{max} - L_{min}$. Результаты приведены на рис.3.

При расчетах установлено следующее.

Уровни эквивалентного шума равны: при периодичности работы источника $\Delta T = 0.6$ с – $L_{экв} = 61.9$ дБ; при $\Delta T = 1.2$ с – $L_{экв} = 58.9$ дБ. Разность максимального и минимального уровней шума составила:

- при периодичности источника шума $\Delta T = 0.6$ с – $L_{max} - L_{min} = 69.2 - 58.0 = 11.2$ дБ;
- при $\Delta T = 1.2$ с – $L_{max} - L_{min} = 69.2 - 46.7 = 22.5$ дБ.

Минимальный уровень шума можно рассматривать как постоянный фоновый шум. Результаты согласуются с данными работы [3].

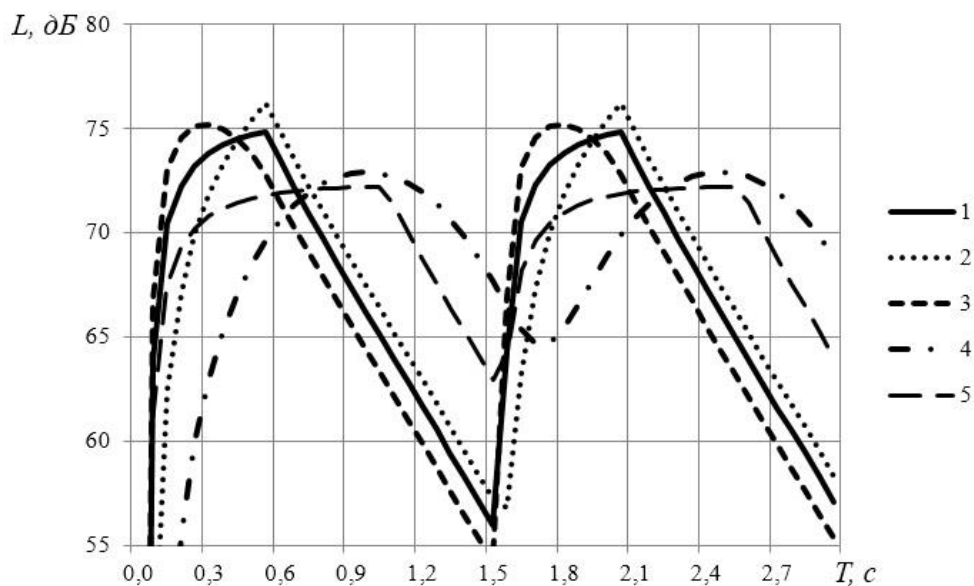


Рисунок 2 – Изменение уровней отраженного звукового давления в помещении при разных формах импульсов (см. таблицу 1)

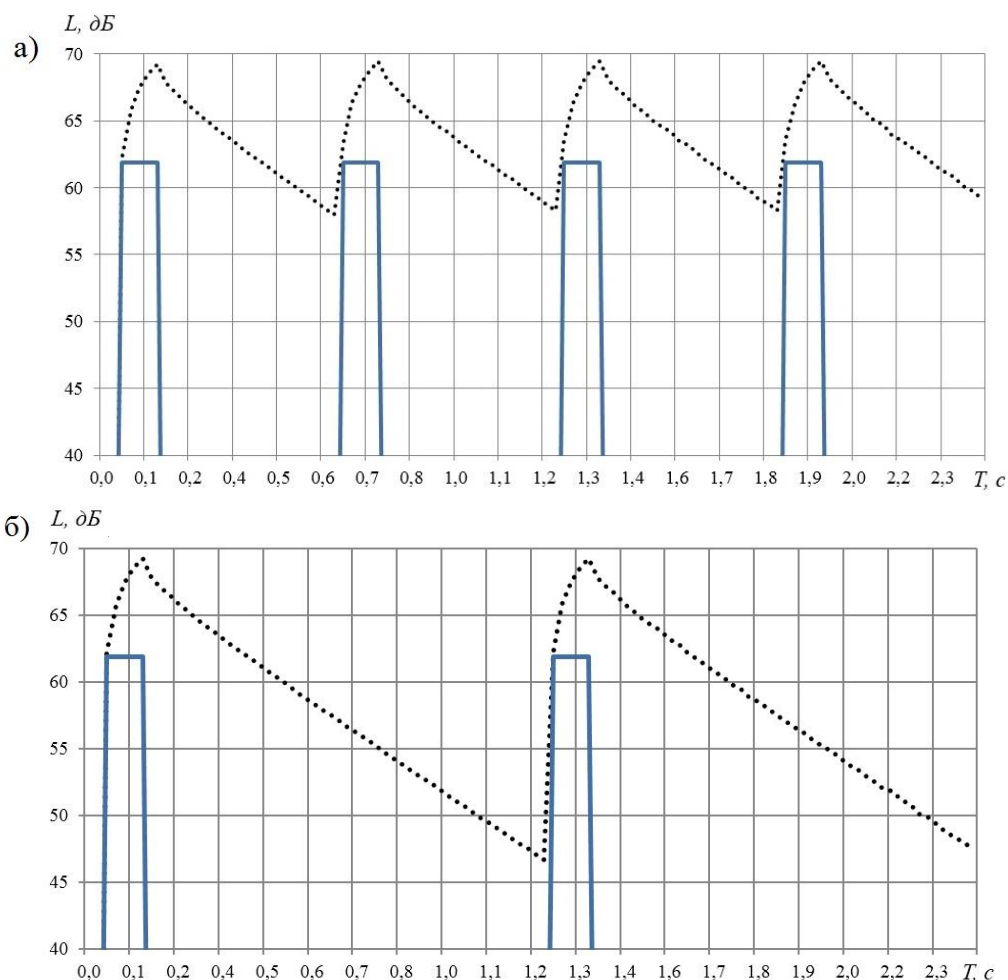
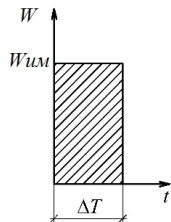
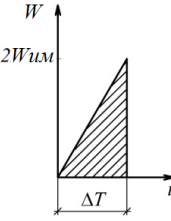
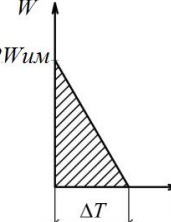
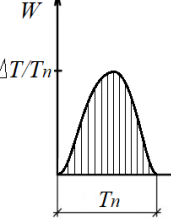
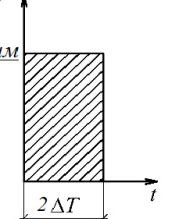


Рисунок 3 – Изменение уровней звукового давления в расчетной точке на расстоянии 16 м от источника шума при длительности прямоугольного импульса 0.1 с: а) при периодичности действия источника 0.6 с; б) при периодичности действия источника 1.2 с:
 ———— - уровень прямого звука; - суммарный уровень прямого и отраженного звука

Таблица 1 – Варианты излучения порции звуковой энергии

Номер варианта	Схема	Выражение для W_t
1		$W_t = W_{UM}$ при $0 < t < \Delta T$
2		$W_t = \frac{2W_{UM}t}{\Delta T}$ при $0 < t < \Delta T$
3		$W_t = 2W_{UM} \left(1 - \frac{t}{\Delta T} \right)$ при $0 < t < \Delta T$
4		$W_t = \Delta T / T_n [1 - \cos(2\pi t / T_n)]$ при $0 < t < T_n$
5		$W_t = W_{UM}/2$ при $0 < t < 2\Delta T$

Оценено влияние на величину импульсного шума положения расчетных точек относительно источника. Результаты расчета приведены на рис.4.

При расчетах установлено следующее.

Уровни эквивалентного шума равны: на расстоянии $r=5$ м – $L_{ЭКВ}=64.3$ дБ; при $r=30$ м – $L_{ЭКВ}=55.8$ дБ. Разность максимального и минимального уровней шума составила:

- при $r=5$ м – $L_{max} - L_{min} = 75.4 - 47.1 = 28.3$ дБ;
- при $r=30$ м – $L_{max} - L_{min} = 64.1 - 45.7 = 18.4$ дБ.

Минимальный уровень шума или постоянный фоновый шум почти одинаков во всех точках помещения. Видно, что удаление рабочих мест от источника существенно снижает разность $L_{max} - L_{min}$, то есть уменьшает вредность импульсного шума [3].

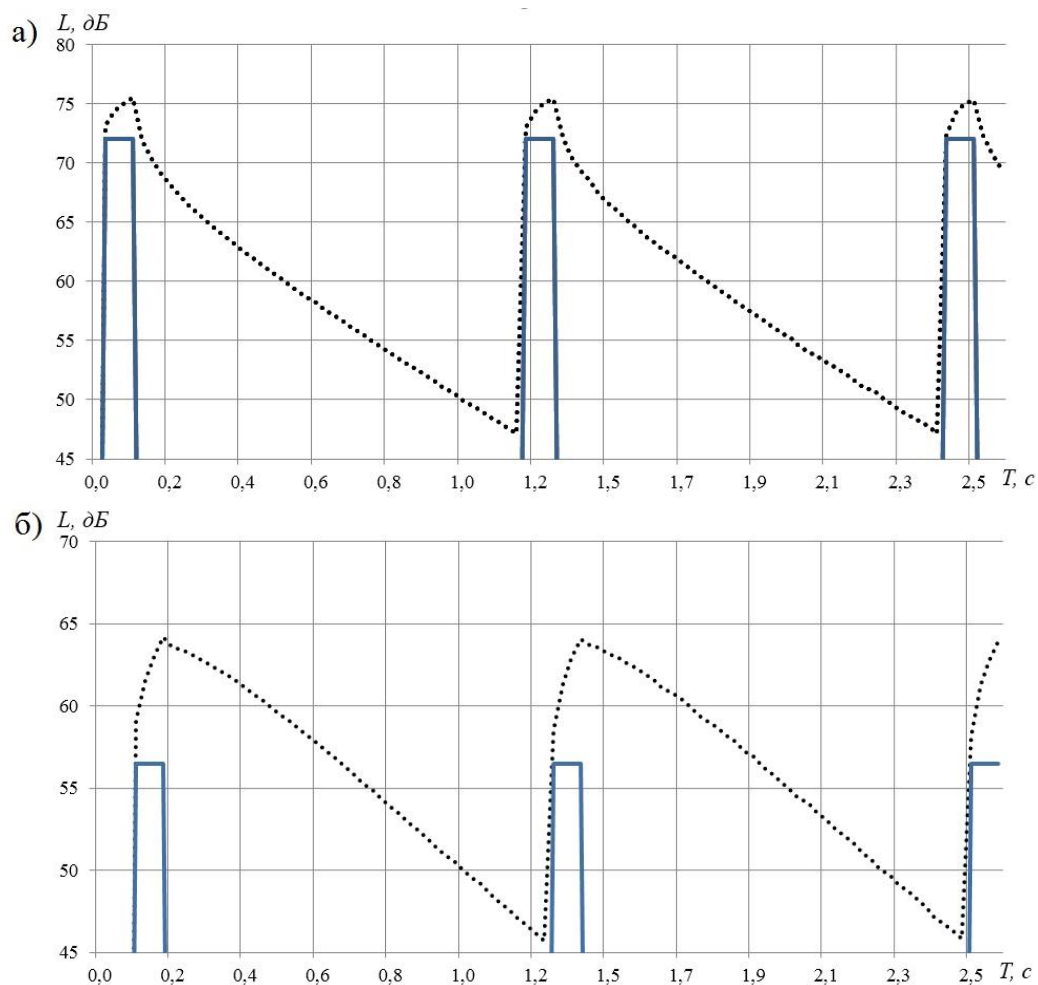


Рисунок 4 – Изменение уровней звукового давления в расчетной точке при периодичности действия источника 1.2 с и длительности прямоугольного импульса 0.1 с: а) на расстоянии от источника шума $r=5$ м (вверху); б) на расстоянии от источника шума $r=30$ м (внизу):
 ——— - уровень прямого звука; - суммарный уровень прямого и отраженного звука

Оценено влияние звукопоглощения помещения на характеристики импульсного шума. Результаты расчета приведены на рис.5.

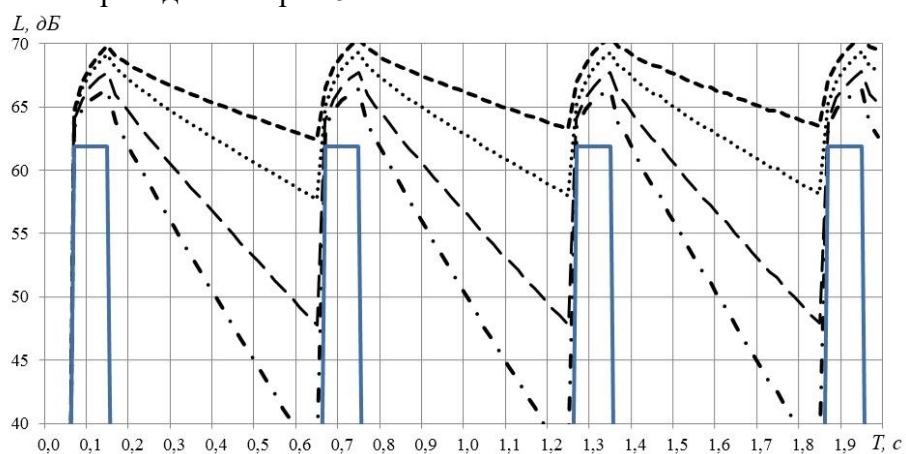


Рисунок 5 - Изменение уровней звукового давления в расчетной точке на расстоянии $r = 16$ м от источника шума при периодичности действия источника 0.6 с и длительности прямоугольного импульса – 0.1 с при средних коэффициентах звукопоглощения:
 - - - - - $\alpha = 0.05$; $\alpha = 0.1$; - . - . - $\alpha = 0.2$; - - - - - $\alpha = 0.3$

При расчетах установлено следующее. Уровни эквивалентного шума равны: при $\alpha = 0.05 - L_{экв} = 64.0$ дБ, при $\alpha = 0.1 - L_{экв} = 61.9$ дБ, при $\alpha = 0.2 - L_{экв} = 59.1$ дБ, при $\alpha = 0.3 - L_{экв} = 57.1$ дБ. Разность максимального и минимального уровней шума составила: при $\alpha = 0.05 - L_{max} - L_{min} = 70.6 - 63.2 = 7.4$ дБ; при $\alpha = 0.1 - L_{max} - L_{min} = 69.3 - 58.0 = 11.3$ дБ, при $\alpha = 0.2 - L_{max} - L_{min} = 67.8 - 47.7 = 20.1$ дБ, при $\alpha = 0.3 - L_{max} - L_{min} = 66.4 - 36.9 = 29.5$ дБ. Видно, что с ростом звукопоглощения возрастает разность $L_{max} - L_{min}$, то есть увеличивается вредность импульсного шума [3].

Произведена оценка влияния фонового шума на изменение импульсного шума в расчетной точке. Результаты приведены на рис.6.

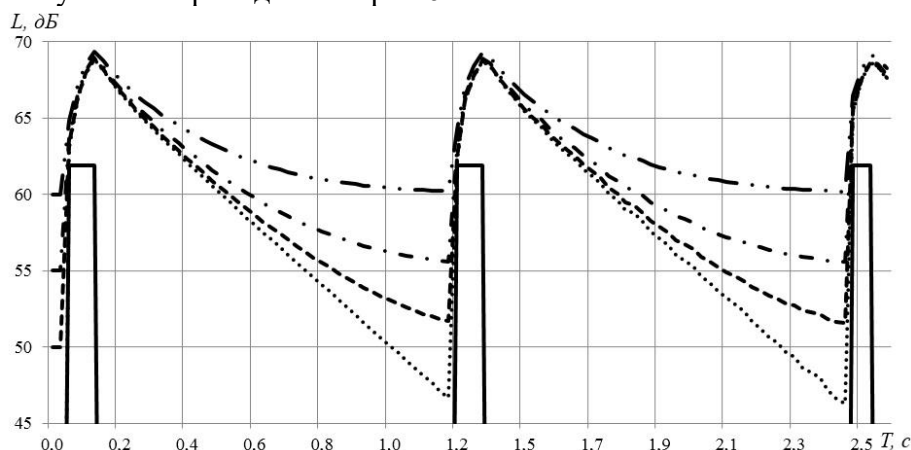


Рисунок 6 - Изменение уровней звукового давления в расчетной точке на расстоянии $r = 16$ м от источника шума при периодичности действия источника 0.6 с и длительности прямоугольного импульса – 0.1 с при различных значениях фонового шума: фоновый шум от других источников шума отсутствует $L_{\phi} = 0$ дБ; - - - - - $L_{\phi} = 50$ дБ; $L_{\phi} = 55$ дБ; _ _ _ _ _ $L_{\phi} = 60$ дБ

При расчетах установлено следующее. С ростом фонового шума уменьшается разность $L_{max} - L_{min}$. За счет этого частично снижается вредность импульсного шума, что согласуется с положениями, указанными в работе [3].

Выводы

1. Предложенный метод расчета импульсного шума в производственных помещениях позволяет решать широкий круг задач по снижению его вредного воздействия на организм работающих.
2. Компьютерная реализация метода обеспечивает возможность оценивать распределение импульсного шума по объему помещения и тем самым устанавливать зоны помещения, где импульсный шум превышает нормативные уровни.
3. Достоверные сведения о размерах зоны импульсного шума и о его характеристиках в пределах зоны позволяют производить целенаправленный выбор строительно-акустических средств снижения импульсного шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. Импульсный шум и его влияние на организм человека. Л.: Медицина. 1975. 207 с.
2. Хаймович М.Л. О влиянии импульсного шума на организм работающих // III Всесоюзная конференция по борьбе с шумом и вибрацией: материалы тезисов докладов секции «Действие шума и вибраций на организм». Челябинск. 1980. С.35-37.
3. Каньшин В.Б. Исследование воздействия и рассмотрение методов снижения шумов импульсного характера на организм человека // III Всесоюзная конференция по борьбе с шумом и вибрацией: материалы тезисов докладов секции «Действие шума и вибраций на организм». Челябинск. 1980. С.24-27.
4. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Федорова О.О. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях // Приволжский научный журнал. 2017. № 2 (42). С. 16-23.

5. Tsukernikov I., Antonov A., Ledenev V., Shubin I., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // *Procedia Engineering* (см. в книгах). 2017. № 176. Pp. 218-225. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.291
6. Giyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound // *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 1 (77). С. 13-22. doi.: 10.18720/MCE.77.2
7. Леденев В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий. Тамбов. 2000. 156 с.
8. Antonov A., Ledenev V., Shubin I., Nevenchannaya T., Tsukernikov I. Coupling Coefficient of Flux Density and Density Gradient of Reflected Sound Energy in Quasi-Diffuse Sound Fields // *Journal of Theoretical and Computational Acoustics*. V.26. № 4.
9. Visentin C., Valeau V., Prodi N., Picaut J. A numerical investigation of the sound intensity field in rooms by using diffusion theory and particle tracing // *Proceedings of the 20th International Congress on Acoustics* (Sydney, Australia). 2010. Pp. 23–27.
10. Billon A., Picaut J., Valeau V., Sakout A. Acoustic Predictions in Industrial Spaces Using a Diffusion Model // *Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration*. 2012.
11. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical and experimental validation of the room acoustics diffusion theory inside long rooms // *21st International Congress on Acoustics*. (Canada). 2013.
12. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical investigation of the Fick's law of diffusion in room acoustics // *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2012.
13. Foy C., Picaut J., Valeau V. Modeling the reverberant sound field by a diffusion process: analytical approach to the scattering // *Proceedings of Internoise*. (San Francisco). 2015.
14. Foy C., Picaut J., Valeau V. Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique // *CFA / VISHNO*. 2016.
15. Foy C., Valeau V., Picaut J., Prax C., Sakout A. Spatial variations of the mean free path in long rooms: Integration within the room-acoustic diffusion model // *Proceedings of the 22 International Congress on Acoustics*. (Buenos Aires). 2016.
16. Ollendorf F. Statistisches raumakustisches Diffusionsproblem // *Acustica*. 1969. Vol. 21. No. 4. Pp. 236-245.

REFERENCES

1. Suvorov G.A., Likhmitskiy A.M. Impul'snyy shum i yego vliyaniye na organizm cheloveka [Impulse noise and its effect on the human body]. Leningrad: Meditsina. 1975. 207 p. (rus)
2. Khaymovich M.L. O vliyaniy impul'snogo shuma na organizm rabotayushchikh [On the effect of impulse noise on the body of workers]. III Vsesoyuznaya konferentsiya po bor'be s shumom i vibratsiyey: materialy tezisev dokladov sektsii «Deystviye shuma i vibratsiy na organizm» [All-Union Conference on Combating Noise and Vibration: Materials of Abstracts of the Section "Effect of Noise and Vibrations on the Body"]. Chelyabinsk, 1980. Pp. 35-37.
3. Kan'shin V.B. Issledovaniye vozdeystviya i rassmotreniye metodov snizheniya shumov impul'snogo kharaktera na organizm cheloveka [Examination of the impact and consideration of methods for reducing pulsed noise on the human body]. III Vsesoyuznaya konferentsiya po bor'be s shumom i vibratsiyey: materialy tezisev dokladov sektsii «Deystviye shuma i vibratsiy na organizm» [All-Union Conference on Combating Noise and Vibration: Materials of Abstracts of the Section "Effect of Noise and Vibrations on the Body"]. Chelyabinsk. 1980. Pp.24-27.
4. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. Vliyaniye kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda rascheta vozdušnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniyakh [Influence of the nature of the reflection of sound from fences on the choice of method for calculating airborne noise in civil and industrial buildings]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2017. No. 2 (42). Pp. 16-23.
5. Tsukernikov I., Antonov A., Ledenev V., Shubin I., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection. *Procedia Engineering*. 2017. No 176. Pp. 218-225.
6. Giyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. *Magazine of Civil engineering*. 2018. No. 1 (77). Pp. 13-22. doi.: 10.18720/MCE.77.2
7. Ledenev V.I. Statisticheskiye energeticheskiye metody rascheta shumovykh poлей pri proyektirovanii proizvodstvennykh zdaniy [Statistical energy methods for calculating noise fields in the design of industrial buildings]. Tambov, 2000. 156 p.
8. Antonov A., Ledenev V., Shubin I., Nevenchannaya T., Tsukernikov I. Coupling Coefficient of Flux Density and Density Gradient of Reflected Sound Energy in Quasi-Diffuse Sound Fields. *Journal of Theoretical and Computational Acoustics*. V.26. No 4.
9. Visentin C., Valeau V., Prodi N., Picaut J. A numerical investigation of the sound intensity field in rooms by using diffusion theory and particle tracing. *Proceedings of the 20th International Congress on Acoustics* (Sydney, Australia). 2010. Pp. 23–27.
10. Billon A., Picaut J., Valeau V., Sakout A. Acoustic Predictions in Industrial Spaces Using a Diffusion Model. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration*. 2012.

11. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical and experimental validation of the room acoustics diffusion theory inside long rooms. 21st International Congress on Acoustics. (Canada). 2013.
12. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical investigation of the Fick's law of diffusion in room acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2012.
13. Foy C., Picaut J., Valeau V. Modeling the reverberant sound field by a diffusion process: analytical approach to the scattering. Proceedings of Internoise. (San Francisco). 2015.
14. Foy C., Picaut J., Valeau V. Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique. CFA VISHNO. 2016.
15. Foy C., Valeau V., Picaut J., Prax C., Sakout A. Spatial variations of the mean free path in long rooms: Integration within the room-acoustic diffusion model. Proceedings of the 22 International Congress on Acoustics. (Buenos Aires). 2016.
16. Ollendorf F. Statistischer Raumakustik als Diffusionsproblem. *Acustica*. 1969. Vol. 21. No. 4. Pp. 236-245.

Информация об авторах:

Антонов Александр Иванович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
д-р. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Архитектура и строительство зданий»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Леденев Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
д-р. техн. наук, проф., проф. кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Матвеева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Шубин Игорь Любимович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН)»,
г. Москва, Россия,
д-р. техн. наук, ст. науч. сотр., директор ФГБУ «НИИСФ РААСН»,
E-mail: niisf@mail.ru

Information about authors:

Antonov Alexander Ivanovich

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
doctor in tech. sc., docent, head of dep. «Architecture and construction of buildings»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Ledenev Vladimir Ivanovich

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
doctor in tech. sc., prof., prof. of the dep. «Urban development and roads»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Matveeva Irina Vladimirovna

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. «Urban development and roads»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Shubin Igor Lyubimovich

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
Moscow, Russia,
doctor in tech. sc., senior researcher, director of the Research Institute of Building Physics of Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences,
E-mail: niisf@mail.ru

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ИЗОЛЯЦИИ УДАРНОГО ШУМА МНОГОСЛОЙНЫМИ МЕЖДУЭТАЖНЫМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ

ГОРИН В.А.¹, КЛИМЕНКО В.В.¹, ПОРОЖЕНКО М.А.²

¹Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

Аннотация. Предложен инженерный метод расчета изоляции ударного шума многослойными междуэтажными перекрытиями. В расчете учитывается влияние на звукоизоляцию цилиндрической жесткости и поверхностной плотности инерционных элементов, а также жесткости звукоизоляционных прокладочных материалов, что позволяет рационально проектировать перекрытия. Расчет сводится к вычислению частотной характеристики снижения уровня ударного шума за счет многослойной конструкции пола и к сравнению расчетного значения индекса приведенного уровня ударного шума с нормативными. Приведен перечень необходимых исходных данных и последовательность выполнения расчета. Даны формулы для определения границ частот собственных колебаний, в пределах которых вычисляют величину снижения приведенного уровня ударного шума. Изложена последовательность построения зависимости частот собственных колебаний системы и снижения уровня ударного шума многослойным междуэтажным перекрытием. Показано, что выше второй резонансной частоты собственных колебаний многослойного пола улучшение изоляции ударного шума (относительно однослойного перекрытия) составит 24 дБ на октаву в области низких частот и 12 дБ на октаву в области средних и высоких частот. Сравнение вычисленных и измеренных частотных характеристик снижения уровня ударного шума показало хорошее соответствие результатов полученных инженерным методом расчета с экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: изоляция ударного шума, многослойные междуэтажные перекрытия, инженерный метод расчета.

ENGINEERING METHOD OF CALCULATION OF SOUND INSULATION LAYERED INTERFLOOR OVERLAPINGS

GORIN V.A.¹, KLIMENKO V.V.¹, POROZHENKO M.A.²

¹Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

²Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. The proposed engineering method of calculation of sound insulation of multilayer intercommunication pen-indoor. The calculation takes into account the effect on the sound insulation of cylindrical stiffness and surface density of inertial elements, as well as the stiffness of sound-proof gasket materials, which allows for rational design of the overlap. The calculation is reduced to the calculation of the frequency response of the impact noise reduction due to the multilayer structure of the floor and to the comparison of the calculated value of the index of the reduced level of impact noise with the standard. The list of necessary initial data and the validity of the calculation are given. Formulas are given to determine the boundaries of the natural oscillation frequencies within which the value of the reduced level of shock noise is calculated. The sequence of constructing the dependence of the natural oscillation frequencies of the system and reducing the level of shock noise by multi-layer inter-floor overlap is described. It is shown that above the second resonance frequency of the eigenfrequencies of the multilayer floor, the improvement of the shock noise isolation (relative to the single-layer overlap) is 24 dB per octave in the low frequency region and 12 dB per octave in the medium and high frequency region. Comparison of the calculated and measured frequency characteristics of the impact noise reduction showed a good agreement of the results obtained by the engineering calculation method with experimental studies.

Keywords: insulation of impact noise, multi-layered floor structures, engineering calculation method

Одним из возможных путей улучшения технико-экономических показателей традиционных конструкций междуэтажных перекрытий с полами по упругим прокладкам является увеличение в них количества инерционных и упругих слоев, т.е. создание многослойных конструкций [2-5, 9-11].

В общем случае многослойное междуэтажное перекрытие состоит из чистого пола, основания пола, сплошных упругих прокладок, разделенных равномерно распределенным слоем материала с большим инерционным сопротивлением и несущей плиты. Реальность конструирования таких конструкций междуэтажных перекрытий вполне очевидна, однако, на практике они не встречались ввиду неисследованности вопроса [1,8,12-14].

Для применения новых конструкций в практике проектирования разработан инженерный метод расчета изоляции ударного шума многослойными перекрытиями. В расчете учитывается влияние на звукоизоляцию цилиндрической жесткости и поверхностной плотности инерционных элементов, а также жесткости упругих прокладок, что позволяет рационально проектировать перекрытия [2,6,7,14,15].

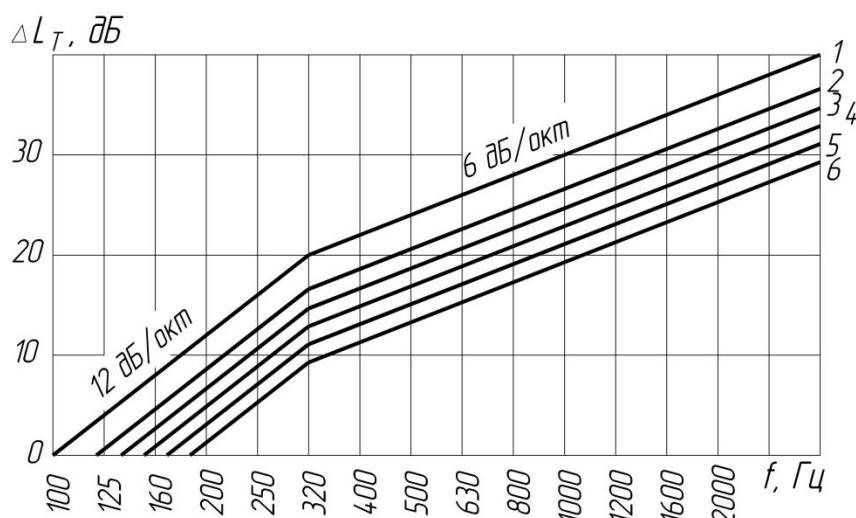


Рисунок 1 – Частотные характеристики требуемого снижения приведенного уровня ударного шума

Расчет изоляции ударного шума сводится к вычислению частотной характеристики снижения уровня ударного шума ΔL за счет многослойной конструкции пола и к сравнению расчетного значения ΔL с нормативным. Частотные характеристики требуемого снижения уровня ударного шума ΔL_T даны на рис. 1 для несущих конструкций перекрытий, указанных в табл. 1.

Таблица 1 – Значения индекса L_{nw0} приведенного уровня ударного шума под несущей плитой перекрытия и номер кривой ΔL_T на рис. 1.

Поверхностная плотность несущей плиты перекрытия, кг/м ²	Значения L_{nw0} , дБ	Номер требуемой кривой ΔL_T , на рис. 1
150	86	1
200	84	2
250	82	3
300	80	4
350	78	5
400	77	6

Расчет изоляции ударного шума многослойным междуэтажным перекрытием проводят в такой последовательности. Определяют поверхностные плотности (кг/м²) элементов

перекрытия: несущей части P_1 , упругих прокладок P_{c1} и P_{c2} (соответственно верхней и нижней), промежуточного инерционного слоя P_2 (при лагах по лагам из упругих материалов P_{c1} и P_{c2} определяют, как для сплошных прокладок).

В соответствии с табл. 1 и рис. 1 устанавливают кривую требуемого снижения приведенного уровня ударного шума ΔL . Определяют частотную характеристику приведенного коэффициента жесткости упругих прокладок $K_{1,2}$ (Па/м) с учетом напряжения в них от полезной нагрузки верхней части лага P_1 промежуточного слоя материала P_2 и несущей части перекрытия P_3 [17]. Причем, на частотах 100-400 Гц принимается среднее значение $K_{1,2}$, а выше 400 Гц необходим учет изменения его величины на данных частотах [3, 15].

Находим частоту собственных колебаний верхней части лага и промежуточного слоя материала на соответствующих упругих основаниях по формулам:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_1}{P_1}} \text{ и } f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_2}{P_2}}, \text{ (Гц)}$$

Определяют величину снижения приведенного уровня ударного шума на низких частотах в следующей последовательности:

- находят границы частот собственных колебаний перекрытия по формулам

$$\infty > x_1 \square \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \lambda_2 + \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \frac{f_1^2}{f_2^2} \right] + \frac{1}{2} \sqrt{\left[1 + \lambda_2 + \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \frac{f_1^2}{f_2^2} \right]^2 - 4(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \frac{f_1^2}{f_2^2}}}, \quad (1)$$

$$\sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \right) + \frac{1}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \right)^2 - 4 \frac{f_1^2}{f_2^2}}} > x_2 \square$$

$$\square \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \lambda_2 + \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \frac{f_1^2}{f_2^2} \right] - \frac{1}{2} \sqrt{\left[1 + \lambda_2 + \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \frac{f_1^2}{f_2^2} \right]^2 - 4(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \frac{f_1^2}{f_2^2}}}, \quad (2)$$

$$0 \leq x_3 \leq \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \right)^2 - 4 \frac{f_1^2}{f_2^2}}}, \quad (3)$$

где $\lambda_1 = \frac{P_1}{P_3}$, $\lambda_2 = \frac{P_2}{P_3}$, $x_{123} = f_{123}^* / f_2$, f_{123}^* – частоты собственных колебаний перекрытия;

- в найденных границах определяют значения частот собственных колебаний перекрытия по формуле

$$\alpha = x_{123} \sqrt{\frac{x_{123}^4 - x_{123}^2 \left[1 + \lambda_2 + \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \frac{f_1^2}{f_2^2} \right] + (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \frac{f_1^2}{f_2^2}}{x_{123}^4 - x_{123}^2 \left(1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \right) + \frac{f_1^2}{f_2^2}}}, \quad (4)$$

где $\alpha_1 = f / f_2$, f – текущая частота;

- строится график этого уравнения. При построении графика по оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладываются частоты α , а по оси ординат – величины частот собственных колебаний перекрытия x_{123} ;

- определяют величину ΔL снижения уровня ударного шума многослойным полом по формуле

$$\Delta L_1 = 20 \lg |z_{123}|, \quad (5)$$

где

$$Z_1 = \frac{f_2^2}{f_1^2} (x_2^2 - x_1^2) (x_3^2 - x_1^2), \quad (6)$$

$$Z_2 = \frac{f_2^2}{f_1^2} (x_1^2 - x_2^2) (x_3^2 - x_2^2), \quad (7)$$

$$Z_3 = \frac{f_2^2}{f_1^2} (x_1^2 - x_3^2) (x_2^2 - x_3^2). \quad (8)$$

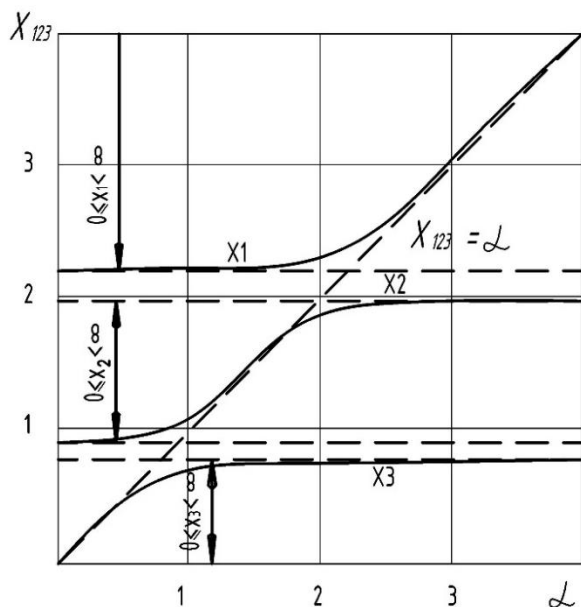


Рисунок 2 – Построение зависимости частот собственных колебаний системы x_{123} от a

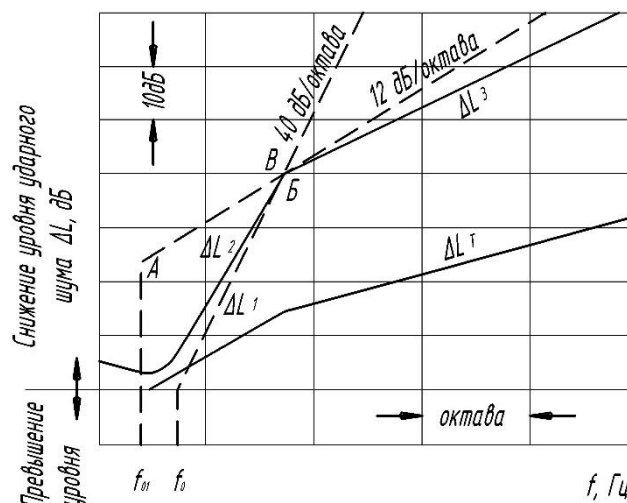


Рисунок 3 – Построение частотной характеристики снижения уровня ударного шума полом пятислойного перекрытия

В выражение (5) подставляется только то (из трех) значение Z_{123} , которое соответствует частоте собственных колебаний перекрытия x_{123} (примерно равной частоте α). На графике $\alpha(x_{123})$ этому значению Z_{123} соответствует только та кривая x_{123} , которая на данной частоте α ближе других расположена к прямой $x_{123} = \alpha$ (рис. 2);

– на частотах $f \geq 1,4 f_2 \sqrt{1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2}}$ вместо формулы (7) используют более простую формулу

$$\Delta L_2 = 20 \lg \left| -\frac{f^4}{f_1^2 f_2^2} + \frac{f^2}{f_1^2} \left(1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \right) - 1 \right|. \quad (9)$$

Чтобы приблизительно построить график этого уравнения, из точки $f_0 = f_2 \sqrt{1 + \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \frac{f_1^2}{f_2^2}}$ на оси абсцисс графика ΔL проводят прямую с наклоном 40 дБ на октаву (рис. 3);

– определяют величину ΔL_3 снижения приведенного уровня ударного шума на средних и высоких частотах по формуле

$$\Delta L_2 = 20 \lg \frac{f^2}{f_1^2 f_2^2} + 10 \lg \frac{P_1 P_2}{P_{c1} P_{c2}} - 6. \quad (10)$$

Построение графика уравнения ΔL_3 выполняют следующим образом. Из точки $f_{01} = \sqrt{f_1 f_2}$ на оси абсцисс откладывают ординату, равную $10 \lg \frac{P_1 P_2}{P_{c1} P_{c2}} - 6$ дБ (точка А, рис.

3). Из точки А проводят прямую с наклоном 12 дБ на октаву. Пересечение прямой с графиками ΔL_1 и ΔL_2 (точка В) определит область средних и высоких частот. В этой области частот построение графика выполняют по значениям ΔL_3 , рассчитанных с учетом частотной зависимости приведенного коэффициента жесткости прокладочных материалов.

- на график ΔL наносят установленную кривую требуемого снижения приведенного уровня ударного шума ΔL_T ;

- вычисляют индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} проектируемого междуэтажного перекрытия, учитывая, что вместо нормативной кривой используют кривую ΔL_T .

Разработанный инженерный метод расчета позволяет с точностью до 2 дБ определять величину снижения приведенного уровня ударного шума многослойными междуэтажными перекрытиями. Сравнение расчетных и измеренных частотных характеристик снижения приведенного уровня ударного шума показала хорошее соответствие результатов теоретических и экспериментальных исследований [9,14,15].

В результате анализа звукоизолирующих свойств различных междуэтажных перекрытий установлено, что при одинаковой поверхностной плотности изоляция ударного шума многослойными конструкциями больше, чем традиционными с полами по упругим прокладкам. При равной изоляции ударного шума поверхностная плотность многослойных междуэтажных перекрытий меньше, чем у перекрытий с полами по упругим прокладкам. Поэтому многослойные междуэтажные перекрытия можно рекомендовать для применения во всех видах гражданских зданий массового строительства.

Выводы

1. Разработанный инженерный метод расчета изоляции ударного шума многослойными междуэтажными перекрытиями учитывает изменение звукоизоляции от цилиндрической жесткости, поверхностной плотности инерционных элементов и жесткости звукоизоляционных прокладочных материалов, что позволяет рационально конструировать перекрытия.

2. Получены формулы для определения границ частот собственных колебаний перекрытий, в пределах которых вычисляют величину снижения приведенного уровня ударного шума. Разработана последовательность построения зависимости частот собственных колебаний системы и снижения уровня ударного шума новыми конструкциями многослойных междуэтажных перекрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горин В.А., Клименко В.В., Пороженко М.А. Исследование звукоизоляции многослойных междуэтажных перекрытий // Строительство и реконструкция. 2018. №3 (77). С. 46-49.
2. Герасимов А.И., Коваленко К.Н. Оценка изоляции воздушного шума междуэтажными перекрытиями с регулируемыми полами в гражданских зданиях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 11. С. 70-72.
3. Герасимов А.И., Никонова Е.В. Влияние частотных характеристик динамической жесткости рулонных материалов на улучшение изоляции ударного шума // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №4. С. 59-61.
4. Кочкин А.А., Шашкова Л.Э. О повышении звукоизоляции ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. №3. С. 198-199.
5. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Кочкин Н.А. О прохождении и излучении звука в слоистых вибродемпфированных элементах // Строительство и реконструкция. 2016. №3 (65). С. 119-125.
6. Лепюга О.В., Овсянников С.Н. Исследование звукоизолирующей способности облегченных перегородок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. №5 (46). С.98-105.

7. Старцева О.В., Овсянников С.Н. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции перегородок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №2 (39). С. 176-184.
8. Пороженко М.А. Изоляция ударного шума ограждающими конструкциями здания // Бюллетень строительной техники. 2018. №6. С. 34-35.
9. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Гребнев П.А., Монич Д.В. Инженерный метод расчета звукоизоляции сэндвич-панелей с учетом двойственной природы прохождения звука // Academia. Архитектура и строительство. 2016. №1. С. 134-138.
10. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Гребнев П.А., Щеголев Д.Л., Монич Д.В. Прохождение звука через однослойные и многослойные конструкции зданий // Ученые записки физического факультета Московского университета. 2017. №5. С. 175.
11. Bobylyov V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Dymchenko V.V., Grebnev P.A. Experimental study of sound insulation in multilayer enclosing structures // Noise Control Engineering Journal. 2014. № 62 (5). P. 354-355.
12. Горин В.А., Клименко В.В. Снижение уровня ударного шума паркетными полами // Жилищное строительство. 2013. №6. С. 22-24.
13. Кочкин А.А. О влиянии вибропоглощающей прослойки на звукоизоляцию слоистых ограждений // В сборнике: Защита населения от повышенного шумового воздействия. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под ред. Н.И. Иванова, К.Б. Фридмана. 2015. С. 265-269.
14. Горин В.А., Клименко В.В., Филиппенко А.А. Звукоизоляция слоистых междуэтажных перекрытий гражданских зданий. В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт // Материалы 2-й международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного университета. 2015. С. 41-45.
15. Горин В.А., Клименко В.В., Литовкин К.Ю. Изменение физико-механических свойств звукоизоляционных прокладочных материалов в процессе эксплуатации. В сборнике: Устойчивое развитие региона: Архитектура, строительство, транспорт // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. 2017. С. 153-157.

REFERENCES

1. Gorin V. A., Klimenko V. V., Porozhenko M. A. Issledovaniye zvukoizolyatsii mnogosloynnykh mezhdu-etazhnykh perekrytiy [Investigation of sound insulation of multilayer floors]. *Building and reconstruction*. 2018. No 3 (77). Pp. 46-49.
2. Gerasimov A. I., Kovalenko K. N. Otsenka izolyatsii vozdushnogo shuma mezhduetazhnymi perekrytiyami s reguliruyemyimi polami v grazhdanskikh zdaniyakh [Evaluation of air noise insulation between floors with adjustable floors in civil buildings]. *Industrial and civil engineering*. 2014. No. 11. Pp. 70-72.
3. Gerasimov A. I., Nikonova E. V. Vliyaniye chastotnykh kharakteristik dinamicheskoy zhestkosti rulonnykh materialov na uluchsheniye izolyatsii udarnogo shuma [Influence of frequency characteristics of dynamic rigidity of roll materials on improvement of shock noise isolation]. *Industrial and civil engineering*. 2016. No. 4. Pp. 59-61.
4. Kochkin A. A., Shashkova L. E. O povyshenii zvukoizolyatsii ograzhdayushchikh konstruktsey [On increasing sound insulation of enclosing structures]. *Academia. Architecture and construction*. 2010. No. 3. Pp. 198-199.
5. Kochkin A. A., Shubin I. L., Kochkin N. A. O prokhozhdenii i izluchenii zvuka v sloistyykh vibrodemp-firo-vannykh elementakh [On the passage and radiation of sound in layered vibro-damped elements]. *Building and reconstruction*. 2016. No 3 (65). Pp. 119-125.
6. Lepuga O. V., Ovsyannikov S. N. Issledovaniye zvukoizoliruyushchey sposobnosti oblegchennykh peregorodok [The study of the sound-insulating ability of lightweight partitions]. *Bulletin of Tomsk state University of architecture and construction*. 2014. No 5 (46). Pp. 98-105.
7. Startseva O. V., Ovsyannikov S. N. Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya zvukoizolyatsii pere-gorodok [Theoretical and experimental studies of sound insulation of partitions]. *Bulletin of Tomsk state University of architecture and construction*. 2013. No 2 (39). Pp. 176-184.
8. Porozhenko, M. A. Izolyatsiya udarnogo shuma ograzhdayushchimi konstruktseyami zdaniya [Impact noise Insulation of the enclosing structures of the building]. *Bulletin of construction equipment*. 2018. No. 6. Pp. 34-35.
9. Bobylev V. N., Tishkov V. A., Grebnev P. A., Monich D. V. Inzhenernyy metod rascheta zvukoizolyatsii sendvich-paneley s uchedom dvoystvennoy prirody prokhozhdeniya zvuka [Engineering method of calculation of sound insulation of sandwich panels taking into account the dual nature of sound transmission]. *Academia. Architecture and construction*. 2016. No. 1. Pp. 134-138.

10. Bobylev V. N., Tishkov V. A., Grebnev P. A., Shchegolev D. L., Monich D. V. Prokhozheniye zvuka cherez odno-sloynnyye i mnogoslownyye konstruksii zdaniy [The Passage of sound through single-layer and multi-layer structures of buildings]. *Scientific notes of the faculty of physics of Moscow University*. 2017. No. 5. Pp. 175.
11. Boblyov V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Dymchenko V.V., Grebnev P.A. Experimental study of sound insulation in multilayer enclosing structures. *Noise Control Engineering Journal*. 2014. No 62 (5). Pp. 354-355.
12. Gorin V. A., Klimenko V. V. Snizheniye urovnya udarnogo shuma parketnymi polami [Reduction of impact noise level by parquet floors]. *Housing construction*. 2013. No. 6. Pp. 22-24.
13. Kochkin A. A. O vliyaniy vibropogloshchayushchey prosloyki na zvukoizolyatsiyu sloistyx ograzhdeniy [On the influence of vibration-absorbing layer on sound insulation of layered fences. In the collection: Protection of the population from increased noise exposure]. Collection of reports of the all-Russian scientific and practical conference with international participation. Ed. So. Ivanov, K. B. Friedman. 2015. Pp. 265-269.
14. Gorin V. A., Klimenko V. V., Filippenko A. A. Zvukoizolyatsiya sloistyx mezhduetazhnykh perekrytiy grazhdanskikh zdaniy. V sbornike: Ustoychivoye razvitiye regiona: arkhitektura, stroitel'stvo, transport [Sound Insulation of layered floors of civil buildings. In the collection: Sustainable development of the region: architecture, construction, transport]. Proceedings of the 2nd international scientific-practical conference of the Institute of architecture, construction and transport of Tambov state University. 2015. Pp. 41-45.
15. Gorin V. A., Klimenko V. V., Litovkin K. Y. Izmeneniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv zvukoizolyatsionnykh prokladochnykh materialov v protsesse ekspluatatsii [Change of physical and mechanical properties of sound-proof cushioning materials during operation. In the collection: Sustainable development of the region: Architecture, construction, transport]. Proceedings of the 4th International scientific-practical conference of the Institute of architecture, construction and transport of Tambov state technical University. 2017. Pp. 153-157.

Информация об авторах:

Горин Виктор Александрович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия,
Кандидат технических наук, профессор кафедры АГиПЗиС
E-mail: 2486550@mail.ru

Клименко Виталий Владимирович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия,
Кандидат технических наук, доцент кафедры АГиПЗиС
E-mail: 4552439@mail.ru

Пороженко Марианна Александровна

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия,
Главный научный сотрудник
E-mail: mporoz@mail.ru

Information about authors:

Gorin V.A.

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia,
Candidate of Technical Sciences, professor of the department
E-mail: 2486550@mail.ru

Klimenko V.V.

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
E-mail: 4552439@mail.ru

Porozhenko M.A.

Research Institute of building physics of the Russian Academy of architecture and building Sciences (NIISF RAACS),
Moscow, Russia,
Chief Researcher
E-mail: mporoz@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ПРИ ЗАЩИТЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ОТ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА

ЦУКЕРНИКОВ И.Е.¹, ТИХОМИРОВ Л.А.¹, ЩУРОВА Н.Е.¹, НЕВЕНЧАННАЯ Т.О.²

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

²Московский политехнический университет (МПУ), Москва, Россия.

Аннотация. В статье выполняется оценка влияния транспортного шума на фасады высотных зданий с целью выявить наиболее подверженные влиянию транспортного шума этажи на примере двух объектов в г. Москва. В качестве источников шума рассмотрены потоки автомобильного и железнодорожного транспорта. Шумовые характеристики источников шума определяли с помощью натурных измерений и расчетом на основании данных об интенсивности движения. Прогноз уровней звука в 2 м от фасадов зданий выполнен с использованием апробированного программного комплекса, реализующего положения ГОСТ 31295.2-2005. Показано, что без применения шумозащитных экранов на рассматриваемых объектах возникают значительные превышения допустимых уровней звука, в особенности на фасадах, выходящих непосредственно на источники шума. Выполнено расчетное компьютерное моделирование шумозащитных экранов с целью оценки возможности их эффективного использования для снижения уровней шума на разных этажах рассматриваемых зданий. Проиллюстрировано, что применение шумозащитных экранов имеет ограниченный эффект защиты от шума для высотных зданий в зависимости от близости расположения экрана к источнику шума. Для защиты верхних этажей рассматриваемых зданий применение шумозащитных экранов неэффективно.

Ключевые слова: транспортный шум, шумовая карта, компьютерное моделирование, шумозащитный экран.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF NOISE PROTECTION SCREENS IN PROTECTING HIGH-RISE BUILDINGS FROM TRAFFIC NOISE

TSUKERNIKOV I.E.¹, TIHOMIROV L.A.¹, SHCHUROVA N.E.¹, NEVENCHANNAYA T.O.²

¹Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia.

Abstract. The article assesses the impact of traffic noise on the facades of high-rise buildings in order to identify the floors most affected by traffic noise using the example of two objects in Moscow. The sources of noise are considered streams of road and rail transport. Noise characteristics of noise sources were determined using field measurements and calculations based on data on the intensity of traffic flows. The forecast of sound levels at 2 m from the facades of buildings was made using approved software that implements the provisions of GOST 31295.2-2005. It is shown that without the use of noise protection screens on the objects in question, significant exceedances of permissible sound levels occur, especially on facades that go directly to noise sources. A computer simulation of noise protection screens has been carried out in order to assess the possibility of their effective use to reduce noise levels on different floors of the buildings under consideration. It is illustrated that the use of noise protection screens has a limited effect of protection against noise for high-rise buildings, depending on the proximity of the location of the screen to the source of noise. To protect the upper floors of the buildings in question, the use of noise screens is inefficient.

Keywords: traffic noise, noise map, computer modeling, noise barrier.

Введение

На сегодняшний день одной из серьезных проблем в России и за рубежом в рамках обеспечения комфортной среды проживания человека является защита от транспортного шума [1, 2]. Большинство жилой застройки в городах подвержено влиянию повышенного транспортного шума [3]. Одним из наиболее распространенных способов борьбы с транспортным шумом является установка шумозащитных экранов [4-6]. Увеличение этажности застройки может привести к тому, что использование шумозащитных экранов для защиты от транспортного шума не сможет обеспечить соблюдение санитарных норм для жителей всех этажей.

В данной работе рассматривается два примера воздействия транспортного шума на высотные жилые здания и возможности применения шумозащитных экранов для снижения воздействия транспортного шума.

В первом случае рассматривается жилой комплекс «Долина Сетунь», расположенный по адресу г. Москва Минская ул., 2. Комплекс состоит из двух корпусов высотой 36 и 38 этажей (далее Объект 1). Вторым объектом является строящийся multifunctional гостиничный комплекс с апартаментами и подземной автостоянкой по адресу г. Москва, Бульварный проезд, вл.2/2». Комплекс состоит из двух корпусов высотой 20 этажей каждый (далее Объект 2).

Оба рассматриваемых объекта характеризует близкое расположение к источнику транспортного шума. В первом случае источником является автомобильный транспорт, движущийся по Минской улице. Расстояние от источника шума до ограждающих конструкций жилого комплекса – 20 м. Во втором случае источником шума является участок железной дороги, расположенный на расстоянии 25 м от запроектированного комплекса.

Для прогнозирования шумового воздействия в обоих случаях необходимо рассчитать ожидаемые уровни шума в 2 м от фасадов в ночной и дневной периоды, рассматривая автомобильную и железную дороги в качестве протяженных источников шума. Поскольку оба рассматриваемых объекта включают в себя два практически идентичных корпуса, равноудаленных от источника шума, для расчетов на каждом объекте был взят один из корпусов.

Модели и методы

Для выполнения акустических расчетов и построения карт шума и шумовых разрезов применяли программный комплекс АРМ «Акустика» версия 3.2.6, разработанный и поставляемый на рынок программных продуктов российской компанией ООО «Технопроект» (Санкт-Петербург). В данном программном комплексе для расчета распространения шума реализуются положения ГОСТ 31295.2-2005 [7] Апробация комплекса была выполнена сотрудниками НИИСФ РААСН [8].

Шумовые характеристики потоков автомобильного транспорта в виде максимальных и эквивалентных уровней звука на расстоянии 7,5 м от ближней к Объекту 1 полосы движения определяли посредством натурных измерений, проведенных в дневное и ночное время в соответствии с ГОСТ 20444-2014 [9]. В виду невозможности непосредственного измерения шумовые характеристики железной дороги в виде максимальных и эквивалентных уровней звука на расстоянии 25 м от оси ближнего к объекту пути движения, определяли расчетом на основании данных об интенсивности движения поездов на рассматриваемом участке железной дороги, предоставленных ГАУ «Институт Генплана Москвы», с использованием формул, приведенных в ГОСТ 33325 [10] и СП 276.1325800 [5]. Шумовые характеристики источников шума представлены в таблице 1.

Схема расположения зданий относительно источников шума, рассматриваемые фасады и расположение использованных в расчете шумозащитных экранов приведены на рис.1. Результаты прогнозного расчета ожидаемых эквивалентных уровней шума для дневного и ночного периодов представлены в виде шумовых карт фасадов и приведены на рис.2, 3.

Таблица 1 - Шумовые характеристики источников шума.

Источник шума	L_{Aeq}		L_{Amax}	
	День	Ночь	День	Ночь
Автомобильная дорога	82,4	82	91,4	89,7
Железная дорога	66,5	63,1	85,3	85,3

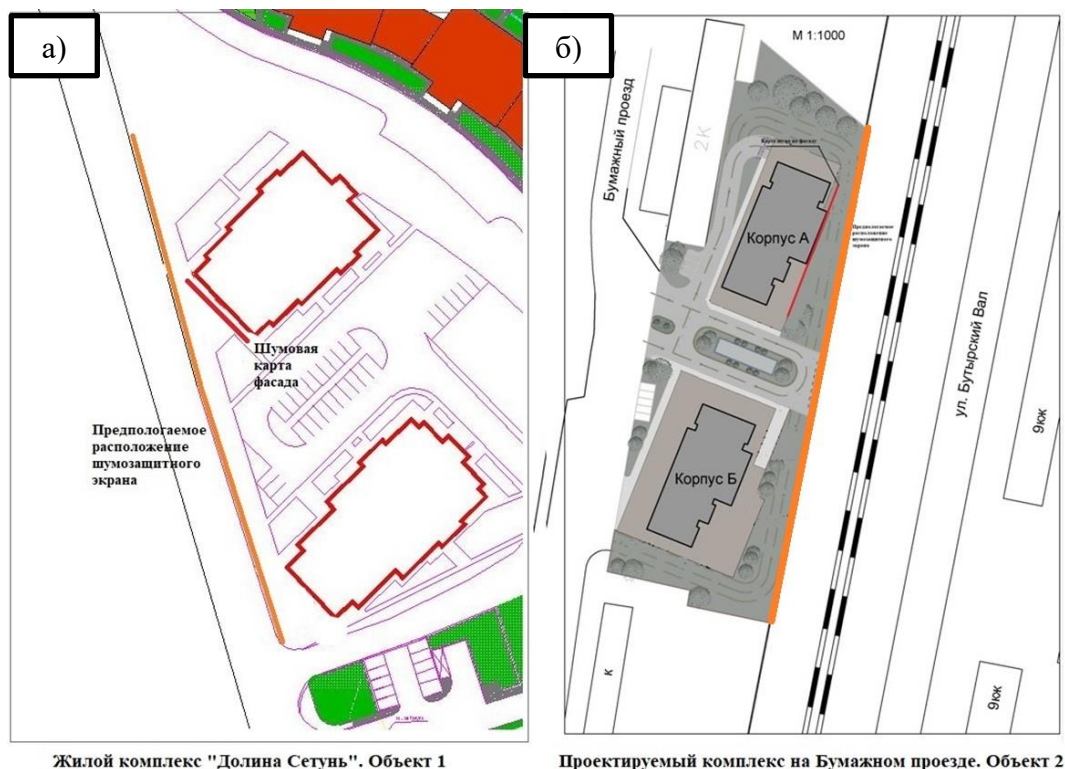


Рисунок 1 – Схема расположения рассматриваемых объектов: а) Объект 1, б) Объект 2

Результаты исследования и их анализ

Из результатов расчета видно, что без шумозащитных экранов, эквивалентные и максимальные уровни звука по фасадам рассматриваемых зданий значительно превышают допустимые уровни звука. Для первого объекта превышения в дневной период составляют более 20 дБА, на первых этажах, и снижаются до 10 дБА на последних в дневной период. Максимальные уровни шума превышают допустимые значения на высоте до 70 м. Величина превышений составляет 20 дБ на высоте до 15 м, и постепенно снижается до 5 дБ на высоте 45 м. В ночной период уровни звука по фасадам практически не отличаются от уровней для дневного периода, что приводит к превышениям норм шума в 30 дБА на первых этажах, которые постепенно снижаются до 20 дБА к последнему этажу. Величина и распределение превышений максимальных уровней шума в ночной период, соответствуют дневному периоду. Результаты расчета по второму объекту показывают, что без применения шумозащитного экрана по всей высоте фасада как в дневной, так и в ночной периоды времени будут зафиксированы превышения уровней звука более чем на 15 и 20 дБА соответственно. Превышения максимальных уровней шума в дневной и ночной периоды составят 20 дБ на уровнях до 15 м. С равномерным снижением до 10 дБ на уровнях последнего этажа.

В качестве меры защиты от транспортного шума в расчете рассматривали шумозащитные экраны высотой 6 м с дополнительным полуметровым козырьком. В случае первого объекта экран располагали вдоль участка автомобильной дороги на расстоянии 6 м от сере-

дины ближней к объекту полосы. Для второго объекта шумозащитный экран устанавливали по границе территории застройки на расстоянии 15 м от оси ближнего к объекту пути. Протяженность шумозащитного экрана в соответствии с требованием [5] (п. 11.1.4) в первом случае принимали равной 200 м, во втором – 160 м. Шумовые карты фасадов после установки экранов приведены на рисунках 2, 3.

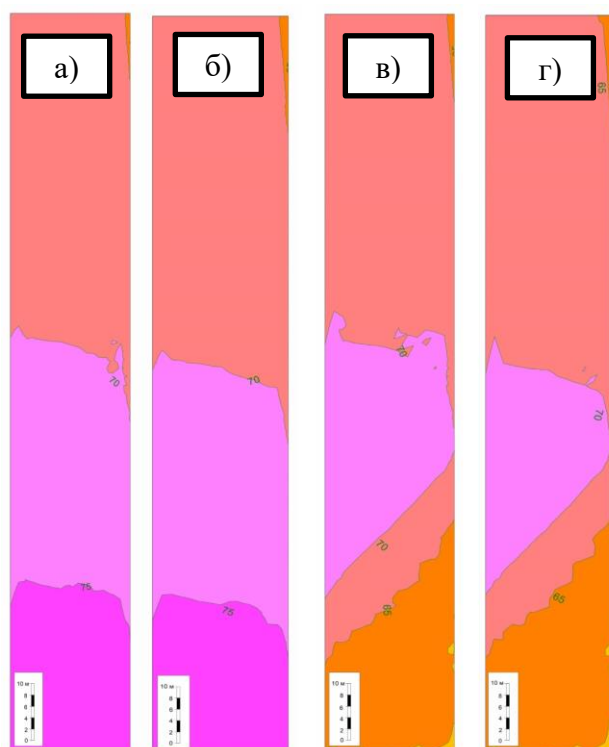


Рисунок 2 – Шумовые карты фасадов после установки экранов для Объекта 1: а) без экрана в дневной период, б) без экрана в ночной период, в) с экраном в дневной период, г) с экраном в ночной период)

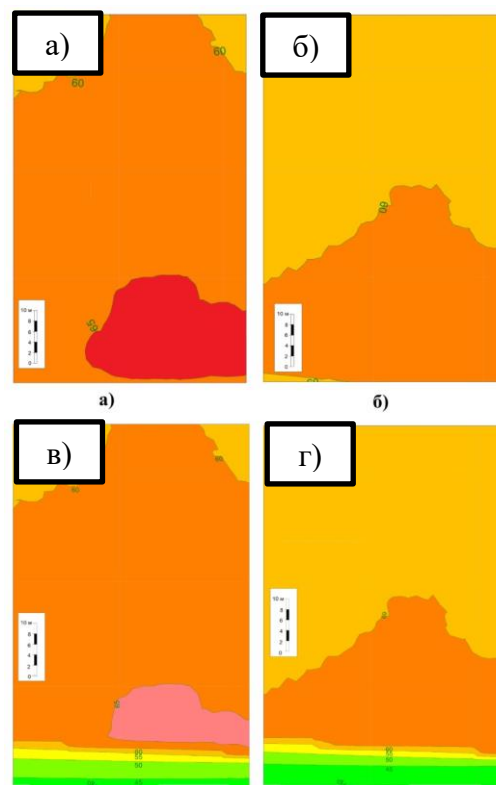


Рисунок 3 – Шумовые карты фасадов после установки экранов для Объекта 2: а) без экрана в дневной период, б) без экрана в ночной период, в) с экраном в дневной период, г) с экраном в ночной период)

Из результатов расчета видно, что установка экрана вблизи первого объекта приведет к снижению уровней шума до высоты 30 м, однако данного снижения будет недостаточно для удовлетворения санитарных норм, и превышения составят 10 дБ в дневной период и 15 дБ в. Начиная с высоты приблизительно 30 метров, эффект от применения шумозащитного экрана отсутствует, и уровни превышений останутся такими же как и в предыдущем расчете. С превышениями максимальных уровней шума наблюдается такая же картина. На уровне до 30 м превышения максимальных уровней шума будут отсутствовать. Начиная с высоты 30 м допустимые максимальные уровни шума будут превышены на 10 дБ. На втором объекте установка шумозащитных экранов позволит привести уровни шума к допустимым значениям до высоты 12 м, уровни шума на вышележащих этажах будут аналогичны варианту расчета без экрана. В ночной период экран позволит выполнить нормы до отметки в 8 м.

Выводы

1. Применение шумозащитных экранов имеет ограниченный эффект защиты от шума для высотных зданий. В зависимости от близости расположения экрана к источнику шума положительный эффект от экрана высотой 6 м наблюдается до высоты от 10 до 30 м. Для защиты верхних этажей подобных зданий применение шумозащитных экранов неэффективно.

2. При выполнении прогнозной оценки и разработке проектов шумозащиты необходимо выполнять акустические расчеты уровней шума на селитебной территории с использо-

ванием аттестованных программных продуктов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ Р 56234-2014 [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Е. Цукерников, Л.А. Тихомиров, Е.О. Соломатин, И.П.Салтыков, Н.А. Кочкин. Решение задач строительной акустики как фактора, обеспечивающего безопасность и комфортность проживания в зданиях // Жилищное строительство. 2014, №6, с. 49-52
2. L.C. (Eelco) den Boer, A. (Arno) Schroten. Traffic noise reduction in Europe. Health effects , social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise. Report. Delft, August 2007. 70 p. DOI 07/4451.27.
3. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году» /Под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС, 2018. — 358 с.
4. ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. М.: Технорматив, 2013. 116 с.
5. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. М.: Минстрой России. 2016. 85 с.
6. Benz Kotzen, Colin English. Environmental noise barriers. A guide to their acoustic and visual design. 2nd edition. – Taylor & Francis, London, New York, 2009. – 257 p.
7. GOST 31295.2-2005. "Noise. Sound attenuation during propagation on the ground. Part 2. General method of calculation. М.: Standardinform, 2006. 23 p.
8. Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств. Защита от повышенного шума и вибрации: Сб. докладов IV Всерос. науч.-практич. конференции с международным участием, БГТУ, СПб, 2013, с. 409 – 419.
9. ГОСТ 20444–2014 Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики. М.: Стандартинформ, 2015. 18 с.
10. ГОСТ 33325-2015 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом. М.: Стандартинформ, 2016. 27 с.
11. ГОСТ Р 56234-2014. Акустика. Программное обеспечение для расчетов уровней шума на местности. Требования к качеству и критерии тестирования. . М.: Стандартинформ, 2015. 27 с.

REFERENCES

1. I.E. Tsukernikov, L.A. Tikhomirov, E.O. Solomatin, I.P.Saltykov, N.A. Kochkin. Solving problems of building acoustics as a factor ensuring the safety and comfort of living in buildings. Housing construction. 2014, № 6, p. 49-52
2. L.C. (Eelco) den Boer, A. (Arno) Schroten. Traffic noise reduction in Europe. Health effects , social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise. Report. Delft, August 2007. 70 p/. DOI 07/4451.27.
3. Report "On the state of the environment in the city of Moscow in 2017" / Ed. A.O. Kulbachevsky. - Moscow.: DPiEP, 2018. 358 p.
4. ODM 218.2.013-2011. Guidelines for protection from traffic noise areas adjacent to roads. Moscow: Technical Regulations, 2013. 116 p.
5. Building Code of Russia SP 276.1325800.2016 Buildings and grounds. Rules for the design of protection from traffic noise. Moscow: Minstroy of Russia. 2016. 85 p.
6. Benz Kotzen, Colin English. Environmental noise barriers. A guide to their acoustic and visual design. 2nd edition. Taylor & Francis, London, New York, 2009. – 257 p.
7. Tsukernikov I.E., Tikhomirov L.A. Comparison of the results of the calculation of road noise of a residential area of Moscow, obtained using three software tools. Protection against increased noise and vibration: Sat. reports IV All-Russia. scientific practical conferences with international participation, BSTU, St. Petersburg, 2013, Pp. 409 - 419.
8. Russian standard GOST 20444–2014 Noise. Traffic flows. Methods for determining the noise characteristics. Moscow: Standardinform, 2015. 18 p.
9. Russian standard GOST 20444–2014 Noise. Traffic flows. Methods for determining the noise characteristics. M: Standardinform, 2015. 18 p.
10. Russian standard GOST 33325-2015 Noise. Methods for calculating the levels of external noise emitted by rail. Moscow: Standardinform, 2016. 27 p.

11. Russian standard GOST R 56234-2014. Acoustics. Software for calculating noise levels on the ground. Quality requirements and testing criteria. Moscow: Standardinform, 2015. 27 p.

Информация об авторах:

Цукерников Илья Евсеевич

Научно исследовательский институт строительной физики российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия.

Д-р техн. наук, проф. Гл. науч. сотр,

E-mail: 3342488@mail.ru

Тихомиров Леонид Александрович

Научно исследовательский институт строительной физики российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия.

Инженер, науч. сотр.

E-mail: niisf@mail.ru

Щурова Наталья Евгеньевна

Научно исследовательский институт строительной физики российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, Россия.

Инженер, вед. науч. сотр.

E-mail: tel4823712@yandex.ru

Невенчанная Татьяна Олеговна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский политехнический университет» МПУ, Москва, Россия.

Д-р. техн. наук, профессор,

E-mail: nevento@mail.ru

Information about authors:

Tsukernikov I. E.

Research Institute of Building Physics: Moscow, Russia.

doctor in tech. sc., prof., chief researcher,

E-mail: 3342488@mail.ru

Tihomirov L. A.

Research Institute of Building Physics: Moscow, Russia.

Engineer, researcher.

E-mail: niisf@mail.ru

Shchurova N.E.

Research Institute of Building Physics: Moscow, Russia.

Engineer, leading researcher.

E-mail: tel4823712@yandex.ru

Nevenchannaya T. O.

Press and Media Industry Higher School, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia.

doctor in tech. sc., prof.,

E-mail: nevento@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕКЛАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИЛЕГАЮЩУЮ ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ

ШМАРОВ И.А., КОЗЛОВ В.А.

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

Аннотация. Приведен анализ влияния цифровых рекламных конструкций на прилегающую жилую застройку на примере рекламных щитов формата 3х6 и 5х15 метров с цифровой сменой изображения. Рассмотрены основные параметры светодиодных экранов отдельно стоящих рекламных щитов, оказывающие влияние на прилегающую жилую застройку.

На основании проведенных НИИСФ РААСН светотехнических исследований получены предельно-допустимые расстояния от мест установки рекламных щитов до оконных проемов жилых зданий, при которых рекламные щиты могут эксплуатироваться в темное время суток в динамическом режиме в зависимости от угла расположения рекламных щитов по отношению к оконным проемам ближайших жилых зданий, представленные в виде графиков.

Отмечается важность полученных результатов, позволяющая оценить влияние цифровых рекламных конструкций на прилегающую застройку перед их установкой и определить их оптимальную «посадку» с целью устранения или минимизации их негативного влияния на жилую застройку в темное время суток при динамическом режиме эксплуатации.

Ключевые слова: рекламный щит, светодиодный экран, яркость, засветка окон, угловой размер рекламной установки, предельно-допустимое расстояние до рекламного щита, динамический режим работы.

THE IMPACT OF DIGITAL ADVERTISING STRUCTURES ON THE ADJOINING RESIDENTIAL DEVELOPMENT

SHMAROV I.A., KOZLOV V.A.

Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. The analysis of the influence of digital advertising structures on the adjacent residential buildings on the example of billboards 3x6 and 5x15 meters with digital image change. The main parameters of led screens of separate billboards, which have an impact on the adjacent residential buildings, are considered.

Based on the carried out NIISF RAACS lighting studies obtained maximum allowable distance from the installation of billboards to the window openings of residential buildings, in which billboards can be operated in the dark in dynamic mode, depending on the angle of the location of billboards in relation to the window openings of nearby residential buildings, presented in the form of graphs.

The importance of the obtained results is noted, which allows to assess the impact of digital advertising structures on the adjacent buildings before their installation and to determine their optimal "landing" in order to eliminate or minimize their negative impact on residential development in the dark during dynamic operation.

Key words: billboard, led screen, brightness, illumination of windows, the angular size of the advertising installation, the maximum allowable distance to the billboard, dynamic operation.

Введение

Данная работа выполнена на основе анализа многочисленных светотехнических исследований, выполненных специалистами НИИ строительной физики РААСН по определению влияния отдельно стоящих рекламных щитов с цифровой сменой изображения формата 3 х 6 метров и 5 х 15 метров на прилегающую жилую застройку. В настоящее время реклам-

ные щиты таких форматов наиболее распространены среди цифровых рекламных конструкций. Размер светодиодного видеоэкрана щитов формата 3 х 6 метров составляет 2,88 х 5,76 метров, а рекламных щитов 5 х 15 метров (суперсайтов) 4,80 х 14,40 метров. Данные рекламные щиты получили широкое распространение в г. Москве и устанавливаются в соответствии с территориальными требованиями к размещению такого типа конструкций [1]. На рис.1, рис.2, рис.3, рис. 4 показаны (в качестве примеров) общие виды рекламных щитов рассматриваемых форматов при их эксплуатации в темное время суток.

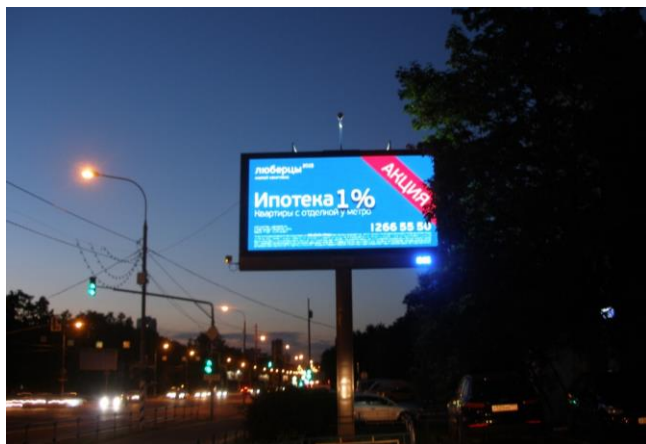


Рисунок 1 - Вид работающего в темное время суток рекламного щита формата 3 х 6 м по адресу: Москва, ЮЗАО, Севастопольский проспект, д.39

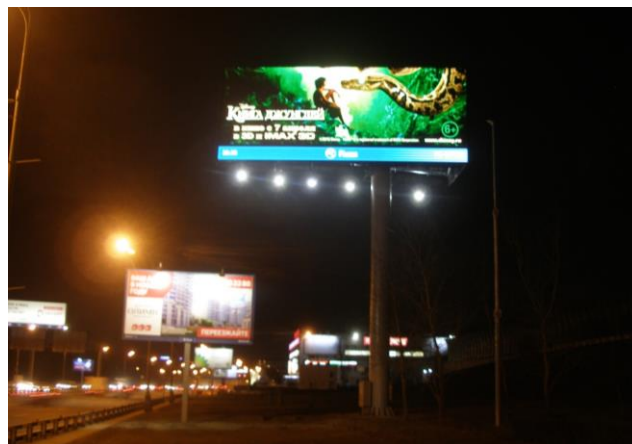


Рисунок 2 - Вид работающего в темное время суток рекламного щита формата 5 х 15 м по адресу: г. Москва, ТТК, внешняя сторона, 95 м от 1-го Сетуньского пр-да вл.10 г.

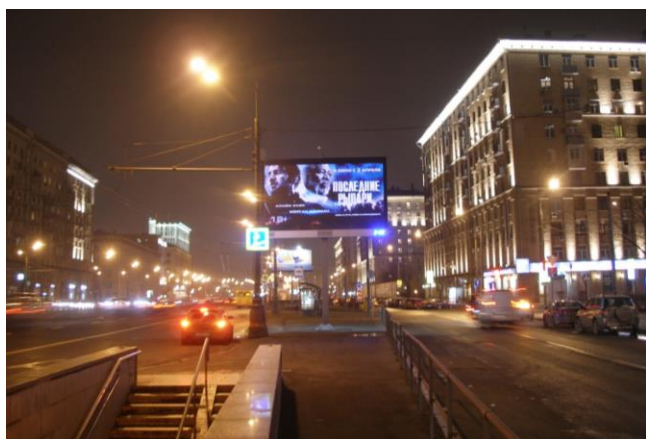


Рисунок 3 - Пример основного вклада в засветку окон от архитектурного освещения фасадов зданий при эксплуатации рекламного двухстороннего щита формата 3х6 метров по адресу: г. Москва, Проспект Мира, 91

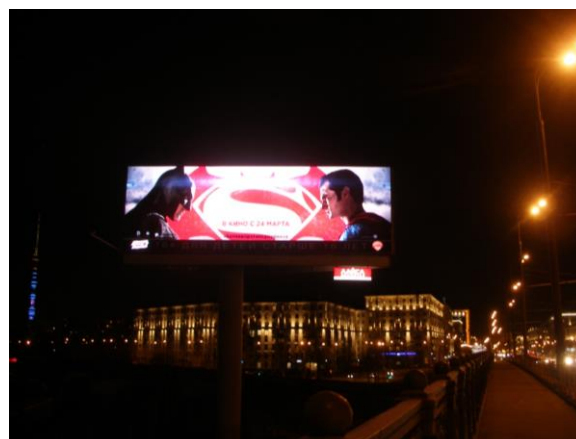


Рисунок 4 - Пример основного вклада в засветку окон от архитектурного освещения фасадов зданий при эксплуатации рекламного двухстороннего щита формата 5х15 метров по адресу: г. Москва, Проспект Мира, 81Б

Результаты исследований и их анализ

Рекламные щиты с цифровой сменой изображения проектируются, изготавливаются и устанавливаются в соответствии с существующими строительными нормами, ГОСТами [2,3,4], ПУЭ, техническими регламентами и другими нормативными актами, содержащими требования для конструкций данного типа и при этом должны соответствовать требованиям санитарных норм и правил. Основными параметрами, регламентирующими влияние рекламных щитов с цифровой сменой изображения на прилегающую застройку, являются яркость светодиодного экрана и угловой размер рекламного щита, видимого из точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра окон наиболее близко расположен-

ных зданий. Кроме этого, в соответствии с требованиями пункта 3.3.4. СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [5], уровни суммарной засветки окон жилых зданий, палат лечебных учреждений, палат и спальных комнат объектов социального обеспечения не должны превышать (в зависимости от средней яркости проезжей части) значений: 7 лк (при норме средней яркости проезжей части 0,4 кд/м²); 10 лк (при норме средней яркости проезжей части 0,6-1,0 кд/м²) и 20 лк (при норме средней яркости проезжей части 1,2-1,6 кд/м²). Согласно п.3.3.5 СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [5] уровни суммарной засветки окон жилых зданий, палат лечебных учреждений, палат и спальных комнат объектов социального обеспечения от архитектурного, рекламного освещения, а также установок освещения строительных площадок, не должны превышать более, чем на 10%-тов величин, указанных в п.3.3.4 СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [5]. Измерение уровня засветки окон производится по ГОСТ 24940-2016 [7], в соответствии с которым контрольные точки размещаются на внешней поверхности окна.

Проведенные специалистами НИИ строительной физики измерения уровней динамической засветки (вертикальной освещенности) окон, показывают, что в большинстве случаев она определяется уличным искусственным освещением, а в отдельных случаях – архитектурным освещением фасадов, но не превышает нормируемых величин суммарной засветки окон, установленных СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [5] и СП 52.13330.2016 [9] для соответствующей яркости проезжей части. На рисунке 3 и рисунке 4 приведены примеры, когда основной вклад в засветку окон (вертикальную освещенность) вносит архитектурное освещение фасадов зданий, а не установленные у проезжей части рекламные щиты.

В светлое время суток яркость рекламных щитов сопоставима с яркостью неба и поэтому не ограничивается и, следовательно, они могут работать на максимальной яркости при работе на 100%-тов мощности. Это же подтверждено и требованиями пункта 3.3.7. СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [5,6] не ограничивающим яркость рекламных щитов в дневное время суток.

В темное время суток светодиодные экраны рекламных щитов эксплуатируются на пониженной яркости, при работе рекламной установки от 0,5 до 3,0-х %-тов от максимальной мощности. Измерение яркости светодиодных экранов производится по ГОСТ 26824-2010 [8].

В соответствии с пунктом 3.3.6 СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [5], размещение динамических видеорекламных световых установок (к которым относятся рекламные щиты с цифровой сменой изображения) допускается при отсутствии их воздействия в точке, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема.

При установке отдельно стоящих рекламных щитов с цифровой сменой изображения необходимо учитывать их отдаленность от жилых зданий и зданий лечебных и лечебно-профилактических учреждений. При расположении в непосредственной близости от жилого дома, рекламный щит необходимо ориентировать таким образом, чтобы он, по возможности, не попадал в поле зрения наблюдателя, т.е. рекламный щит устанавливают под углом к жилому дому (во многих случаях под углом 90 градусов). В этом случае из расчетной точки ближайшего светового проема работающий светодиодный экран будет виден не целиком, а частично. При этом, в поле зрения наблюдателя, находящегося в расчетной точке, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема, длина рекламного щита будет восприниматься не полностью, а частично - как проекция на плоскость, перпендикулярной линии зрения наблюдателя. В работе [10] приведена методика расчета углового размера рекламного щита в зависимости от угла, под которым он расположен по отношению к оконному проему ближайшего жилого дома из окон которого он будет виден, а также представлена формула для углового размера (β , в угловых градусах) рекламного щита, види-

мого из точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема:

$$\beta = \arctg \frac{D_{\text{экв.}}}{R}, \quad (1)$$

где $D_{\text{экв.}}$ - эквивалентный (по площади видимой части светодиодного экрана рекламного щита – $F_{\text{вид.экр.}}$, м²) диаметр равнорного круга, м;

R – расстояние от расчетной точки до геометрического центра экрана, м.

Площадь видимой части светодиодного экрана рекламного щита – $F_{\text{вид.экр.}}$, будет определяется по формуле:

$$F_{\text{вид.экр.}} = L_{\text{пр.экр.}} \times H_{\text{экр}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{пр.экр.}}$ – проекция длины светодиодного экрана на плоскость перпендикулярную линии зрения наблюдателя, м;

$H_{\text{экр}}$ – высота светодиодного экрана, м.

Эквивалентный (по площади видимой части светодиодного экрана рекламного щита – $F_{\text{вид.экр.}}$, м²) диаметр равнорного круга $D_{\text{экв.}}$, м, определяется по формуле (3) [10]:

$$D_{\text{экв.}} = 2\sqrt{\frac{F_{\text{вид.экр.}}}{\pi}}. \quad (3)$$

В соответствии с действующими нормами [5, 6] угловой размер рекламного щита (β , в угловых градусах - по формуле (1)), видимого из точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра окон жилых зданий, палат лечебных учреждений, палат и спальных комнат объектов социального обеспечения, не должен превышать 2° (двух угловых градусов).

В случае, если угловой размер рекламного щита (β , °) окажется более двух угловых градусов, то в темное время суток рекламный щит должен работать только в статическом режиме (т.е. без смены изображений), а динамический режим работы рекламного щита (со сменой изображений) будет возможен только в светлое время суток.

Таким образом, одной из основных задач при установке рекламных щитов с цифровой сменой изображения является минимизация углового размера рекламной установки до предельного значения, не превышающего двух угловых градуса. Многочисленные светотехнические исследования, проведенные специалистами НИИ строительной физики позволили определить зависимость места расположения (установки) цифровой рекламной конструкции (на примере рекламных щитов формата 3 x 6 метров и 5 x 15 метров) в зависимости от угла, под которым рекламная конструкция видна из расчетной точки оконного проема ближайшего жилого дома и расстояния от рекламного щита до вышеуказанной расчетной точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра оконного проема. В результате была получена кривая предельно-допустимого расстояния от рекламного щита до расчетной точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема в зависимости от угла расположения рекламного щита (по отношению к оконному проему) при которых он может работать в темное время суток в динамическом режиме. На рисунке 5 такая кривая показана для рекламного щита с цифровой сменой изображения формата 3 x 6 метров. На рисунке 6 – для рекламного щита формата 5 x 15 метров.

Из графика рисунка 5 видно, что при установке рекламного щита формата 3 x 6 метров параллельно расположенному напротив жилому дому, минимально-допустимое расстояние будет составлять 140 метров. При установке рекламной конструкции в графической области ниже полученной кривой предельно-допустимого расстояния, динамический режим работы такой конструкции в темное время суток не допускается. В то же время, если расположить рекламный щит формата 3 x 6 метров в графической области выше

полученной кривой предельно-допустимого расстояния, то динамический режим работы такой конструкции в темное время суток допускается.

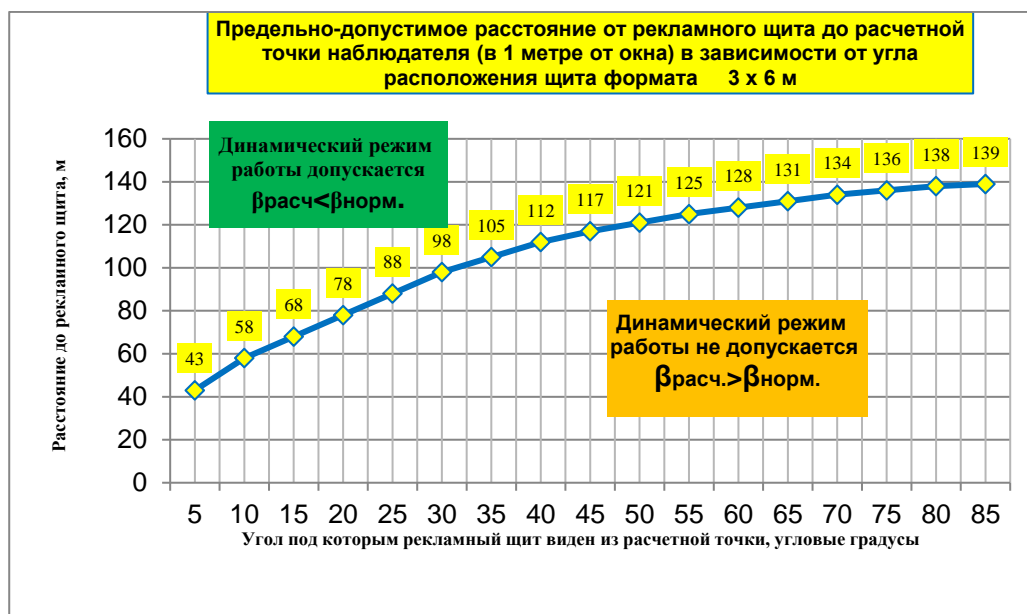


Рисунок 5 - Графическая зависимость влияния расстояния от рекламного щита формата 3 x 6 метров до расчетной точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от оконного проема ближайшего жилого дома от угла, под которым этот щит виден из расчетной точки

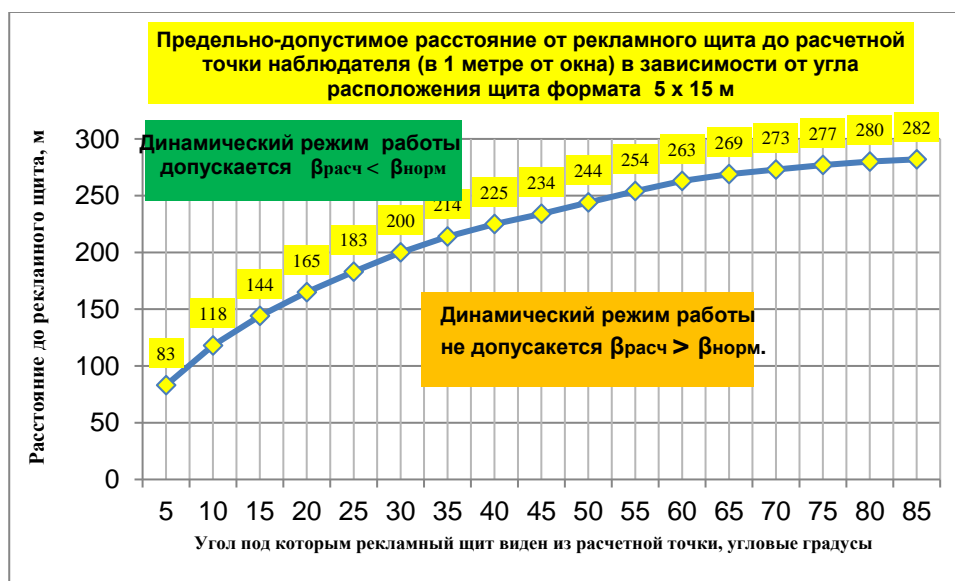


Рисунок 6 - Графическая зависимость влияния расстояния от рекламного щита формата 5 x 15 метров до расчетной точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от оконного проема ближайшего жилого дома от угла, под которым этот щит виден из расчетной точки

Из графика рисунка 6 видно, что при установке рекламного щита формата 5 x 15 метров параллельно расположенному напротив жилому дому, минимально-допустимое расстояние будет составлять 283 метра. При установке рекламной конструкции в графической области ниже полученной кривой предельно-допустимого расстояния, динамический режим работы такой конструкции в темное время суток не допускается. В то же время, если расположить рекламный щит формата 5 x 15 метров в графической области выше полученной кри-

вой предельно-допустимого расстояния, то динамический режим работы такой конструкции в темное время суток допускается.

Выводы

1. На основании анализа проведенных многочисленных светотехнических исследований получены зависимости взаимного влияния расположения рекламных конструкций по отношению к оконным проемам ближайших жилых зданий из окон которых они видны, представленные в графической форме.

2. Полученные графические зависимости позволяют еще до установки рекламной конструкции определить её оптимальную «посадку» на месте (на ситуационном плане), что позволит минимизировать ее угловой размер и, следовательно, уменьшить её «негативное» влияние на прилегающую жилую застройку в темное время суток при работе в динамическом режиме эксплуатации.

3. Полученные в данной работе результаты будут использованы при разработке проекта нового ГОСТа «Цифровые рекламные конструкции. Общие технические требования. Методы контроля».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила установки и эксплуатации рекламных конструкций в городе Москве. Постановление Правительства Москвы №712-ПП от 12.12.2012 г. (в редакции от 11.11.2014 года) 34 с.
2. ГОСТ Р 52044-2003. Технические средства организации дорожного движения. Наружная реклама на автомобильных дорогах и территориях городских и сельских поселений. Общие технические требования к средствам наружной рекламы. Правила размещения (С изменениями от 30.06. 2005; 24.03.2009; 29.02.2016). М.: Стандартинформ, 2016 – 45 с.
3. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2017 – 27 с.
4. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. М.: Стандартинформ, 2006 – 98 с.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-2003 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», 44 с.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-2010 Изменения и дополнения №1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 7 с.
7. ГОСТ 24940-2016. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности.
8. ГОСТ 26824-2010. Здания и сооружения. Методы измерения яркости.
9. СП 52.13330.2016 Актуализированный «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение», 126 с.
10. Шмаров И.А., Козлов В.А. К вопросу о влиянии рекламных щитов с цифровой сменой изображения на прилегающую жилую застройку // Строительство и реконструкция. 2015. №4(60). С.146-151.

REFERENCES

1. Pravila ustanovki i ekspluatatsii reklamnykh konstruktсий v gorode Moskve. Postanovleniye Pravitel'stva Moskvy №712-PP ot 12.12.2012 [The rules of installation and operation of advertising structures in the city of Moscow. The Moscow Government No 712-PP dated 12.12.2012 g(revision date 11.11.2014)]
2. Tekhnicheskiye sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Naruzhnaya reklama na avtomobil'nykh dorogakh i territoriyakh gorodskikh i sel'skikh poseleniy. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k sredstvam naruzhnoy reklamy. Pravila razmeshcheniya (S izmeneniyami ot 30.06. 2005; 24.03.2009; 29.02.2016) [Russian standard GOST R 52044-2003. Technical means of traffic management. Outside advertising on roads and territories of urban and rural settlements. General technical requirements for outdoor advertising. Rules of placement.(With changes from 30.06. 2005; 24.03.2009; 29.02.2016)]. Moscow: Standartinform, 2016. 45 p.
3. Russian standard GOST R 50597-2017. Dorogi avtomobil'nyye i ulitsy. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody kontrolya

[Roads and streets. Operational requirements- to the condition permissible under the conditions of road safety. Control method]. Moscow: Standartinform, 2017. 27 p.

4. Russian standard GOST R 52289-2004. Tekhnicheskiye sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Pravila primeneniya dorozhnykh znakov, razmetki, svetoforov, dorozhnykh ograzhdeniy i napravlyayushchikh ustroystv [Technical means of traffic management. Regulation applications of road signs, markings, traffic lights, road barriers and guiding devices]. Moscow: Standartinform, 2006. 98 p.

5. Sanitary rules and norms SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-2003 "Gigiyenicheskiye trebovaniya k yestestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshchennomu osveshcheniyu zhilykh i obshchestvennykh zdaniy" ["Hygienic requirements for daylighting, artificial and combined lighting for residential and public buildings"], 44 p.

6. Sanitary rules and norms SanPiN 2.2.1/2.1.1.2585-2010. Izmeneniya i dopolneniya №1 k sanitarnym pravilam i normam SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03. Gigiyenicheskiye trebovaniya k yestestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshchennomu osveshcheniyu zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [The changes and additions to the number 1 sanitary rules and norms 2.2.1/2.1.1.1278-2003 "Hygienic requirements for daylighting, artificial and combined lighting for residential and public buildings"], 7 p.

7. Russian standard GOST 24940-2016 Zdaniya i sooruzheniya. Metody izmereniya osveshchennosti [Buildings and structures. Methods of measurement the illuminance].

8. Russian standard GOST 26824-2010 Zdaniya i sooruzheniya. Metody izmereniya yarkosti [Buildings and structures. Methods of measurement the brightness].

9. Building Code of Russia SP 52.13330.2016 Aktualizirovannyi SNIp 23-05-95* "Yestestvennoye i iskusstvennoye osveshcheniye" [Actualized Building norms and rules SNIp 23-05-95* "Daylighting and artificial lighting"], 126 p.

10. Shmarov I. A., Kozlov V. A. K voprosu o vliyaniy reklamnykh shchitov s tsifrovoy smenoy izobrazheniya na prilegayushchuyu zhiluyu zastroyku [To the question about the impact of billboards with digital change the image to the adjacent residential buildings]. *Building and Reconstruction*. 2015. No 4 (60). Pp. 146-151.

Информация об авторах:

Шмаров Игорь Александрович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г.Москва, Россия,

канд.техн.наук, главный научный сотрудник лаборатории «Строительной светотехники» НИИСФ РААСН,

E-mail: shmarovigor@yandex.ru

Козлов Владимир Александрович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г.Москва, Россия,

канд.техн.наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Строительной светотехники» НИИСФ РААСН,

E-mail: kozlov.vladi@yandex.ru

Information about authors:

Shmarov Igor A.

Research Institute of building physics of the Russian Academy of architecture and building Sciences (NIISF RAACS), Moscow, Russia,

candidate in techn. sc., chief researcher of the laboratory lighting construction " NIISF RAACS.

E-mail: shmarovigor@yandex.ru

Kozlov Vladimir A.

Research Institute of building physics of the Russian Academy of architecture and building Sciences (NIISF RAACS), Moscow, Russia,

candidate in techn. sc, leading researcher of the laboratory lighting construction" NIISF RAACS.

E-mail: kozlov.vladi@yandex.ru

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

КУПРИЯНОВ В.Н.¹, СПИРИДОНОВ А.В.²

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы перегрева помещений за счет солнечной радиации в различных регионах страны. Проведена оценка действующих нормативных документов по проектированию солнцезащитных устройств. Показаны отсутствие в них действенных методов расчета оптимальных выносов затеняющих элементов солнцезащитных устройств. Предложены методы расчета параметров основных типов солнцезащитных устройств (СЗУ) в виде козырьков, вертикальных и горизонтальных ламелей, устанавливаемых перед светопроемами. Методы учитывают ориентацию светопроема, траекторию видимого движения солнца по небесной сфере, широту местности, энергетическую составляющую солнечной радиации. Приведены численные примеры расчета параметров солнцезащитных устройств и рекомендации по эффективному использованию солнцезащитных устройств в виде козырьков, вертикальных и горизонтальных ламелей. Проведены расчеты и анализ защитных характеристик СЗУ, что позволяет сформировать предварительные рекомендации по эффективности различных типов СЗУ. Солнцезащитные устройства в виде стационарных козырьков как сплошных, так и решетчатых будут эффективны только при высоких значениях высот стояния солнца. При средних высотах солнца, а тем более при низких высотах стационарные козырьки становятся не целесообразными из-за несоразмерно больших выносов. Более эффективными оказываются СЗУ в виде жалюзи с горизонтальным и вертикальным расположением ламелей, расположенных как перпендикулярно к поверхности стены, так и под некоторым углом к ней. В статье приведены рекомендации по эффективному использованию различных видов жалюзи в зависимости от ориентации светопроемов.

Ключевые слова: солнечная радиация, солнцезащитные устройства, козырьки, ламели, теневые узлы, светопроемы.

CALCULATION OF PARAMETERS OF SOLAR CONTROL AND SHADING DEVICES

KUPRIYANOV V.N.¹, SPIRIDONOV A.V.²

¹Kazan State University of Engineering and Architecture. Kazan, Russia

²Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. Questions of overheating of premises at the expense of solar radiation in various regions of the country are considered. The assessment of the existing normative documents on design of solar control and shading devices is carried out. Are shown absence in them effective methods of calculation of optimum carrying out of the shading elements of solar control and shading devices. Methods of calculation of parameters of the main types of solar control and shading devices (SCSD) in the form of awnings, vertical and horizontal lamellae established before fenestration are offered. Methods consider orientation of windows, a trajectory of apparent motion of the sun on the heavenly sphere, the latitude of the area, a power component of solar radiation. Are brought numerical an example of calculation of parameters of solar control and shading devices and the recommendation about effective use of solar control and shading devices in the form of awnings, vertical and horizontal lamellae. Calculations and the analysis of protective characteristics of SCSD are carried out that allows to create preliminary recommendations about efficiency of the SCSD various types. Solar control and shading devices in the form of stationary awnings both continuous, and trellised will be effective only at high values of heights of standing of the sun. With average heights of the sun and furthermore with low heights stationary awnings be-

come not expedient because of disproportionately big carrying out. SCSD in the form of blinds with horizontal and vertical arrangement of the lamellae located are more effective as it is perpendicular to a wall surface, and under some corner to it. Recommendations about effective use of different types of blinds depending on orientation of fenestration are provided in article.

Keywords: solar radiation, sun control and shading devices, awnings, lamellae, shadow nodes, apertures.

Введение

Защита зданий от перегрева теплом солнечной радиации, поступающей в помещение через световые проемы, является обязательной для южных регионов страны. Однако в последние годы, в связи с трендом современной архитектуры здания по увеличению площади световых проемов вплоть до полностью остекленных фасадов, проблема солнцезащиты зданий становится актуальной в средних и даже северных широтах страны.

Проектирование солнцезащиты зданий регламентируется рядом нормативных документов. Это СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий». В этих документах предписаны граничные условия и рекомендации по проектированию солнцезащиты, которые сводятся к соответствующей ориентации светопроемов, использованию солнцезащитных и теплопоглощающих стекол, устройству солнцезащитных устройств (СЗУ) и кондиционированию помещений.

Требования к солнцезащитным стеклам сформулированы в ГОСТ 33017-2014 «Стекло с солнцезащитным или декоративным твердым покрытием» и в ГОСТ 33086-2014 «Стекло с солнцезащитным или декоративным мягким покрытием». В ГОСТ EN 410-2014 представлены методы определения световых и солнцезащитных характеристик. Эти документы являются основой при исследовании солнцезащитных свойств остеклений [1-6].

Конструктивные решения СЗУ их номенклатура и классификация представлены в ГОСТ 33125-2014 «Устройства солнцезащитные. Технические условия». Правила проектирования солнцезащитных устройств и расчеты инсоляции помещений широко представлены в работах НИИСФ [7-9]. Однако, методы расчета параметров СЗУ особенно наиболее распространенных типов, таких как козырьки, жалюзи с вертикальными и горизонтальными ламелями изучены недостаточно. Решению этой задачи и посвящена настоящая статья.

Методология расчета параметров СЗУ

Солнцезащитные устройства (СЗУ) выполняют роль экрана для прямых солнечных лучей перед светопроемом. В зависимости от ориентации светопроема и времени суток изменяется угол падения солнечного луча на плоскость остекления, что требует учета при выборе типа СЗУ и направления затеняющих элементов. Кроме того, следует учитывать продолжительность периода облучения и энергию солнечной радиации за каждый час облучения, поскольку в разные часы суток интенсивность солнечной радиации различная. Так, в условиях Казани (56°с.ш.) за двухчасовой интервал с 6 до 8 часов привносится к остеклению 4,8 МДж/м², а за двухчасовой интервал 10-12 часов – 6,15 МДж/м².

При проектировании СЗУ следует учитывать энергетическую составляющую солнечного облучения и обеспечивать полное экранирование светопроема именно в те часы суток, в которые солнечная энергия достигает максимальных значений. При этом, в целях сохранения нормативного уровня естественного освещения, рекомендуется регулируемый способ управления СЗУ.

Координаты солнца в каждый час облучения светопроема определяются высотой его стояния h_0 и азимутом A_0 . Однако при проектировании СЗУ удобнее использовать не координаты солнца в каждый час облучения, а углами положения солнца, измеренные от нормали к поверхности остекления (A_n) в горизонтальной и вертикальной плоскости [10]. Такие углы получили название **горизонтальные и вертикальные теневые углы**.

Горизонтальные теневые углы определяются разностью или суммой азимутов A_o и A_n . Если азимуты A_o и A_n находятся в восточной или западной зоне круга горизонта, то горизонтальный теневой угол определяется разностью $(A_o - A_n)$. Отрицательная разность $(A_o - A_n)$, когда $A_n > A_o$, указывает на изменение направления тени на противоположность. Если указанные азимуты находятся в разных зонах круга горизонта (восточном и западном), то горизонтальный теневой угол определяется их сложением.

Вертикальные теневые углы определяются между размерами затеняющих элементов и проекциями их тени в вертикальной плоскости.

Формирование теневых углов рассмотрим на примере (рис.1). На этом рисунке представлена схема образования тени на вертикальной стене от стержня длиной OP , установленного перпендикулярно к этой стене. На рис.2 в горизонтальной плоскости на круге горизонта показана та же стена и тот же стержень OP , расположенный по направлению нормали к стене. На этом рисунке показаны также, азимуты солнца A_o и нормали к поверхности стены A_n .

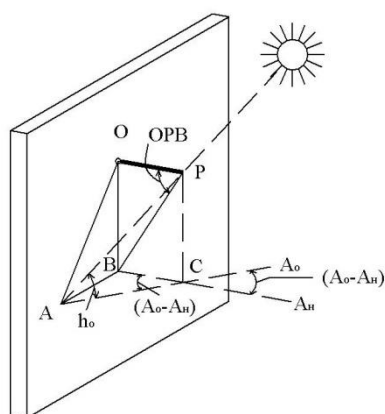


Рисунок 1 - Тень от горизонтального стержня на вертикальной стене.

OP – длина стержня, установленного перпендикулярно стене, OA – тень от стержня на стене, OPB – вертикальный теневой угол (угол между стержнем OP и проекцией его тени в вертикальной плоскости в которой находится стержень)

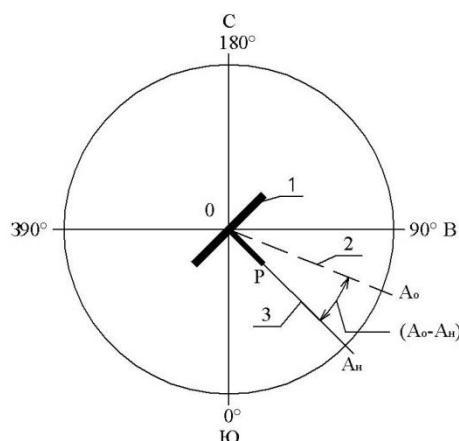


Рисунок 2 - Соотношение на плане между азимутом нормали к поверхности стены A_n , азимутом солнца A_o , стержнем длиной OP и горизонтальным теневым углом $(A_o - A_n)$

1 – стена, 2 – проекция солнечного луча на горизонтальную плоскость, 3 – нормаль к стене

На рис. 1 и 2 горизонтальный теневой угол $(A_o - A_n)$ определяется как угол (в плане) между азимутом солнца A_o и азимутом нормали к поверхности стены A_n . Вертикальный теневой угол (OPB) определяется углом между стержнем OP и проекцией его тени в вертикальной плоскости BP , в которой находится стержень.

Используя простые тригонометрические функции можно записать:

$$\operatorname{tg} OPB = \frac{OB}{OP} = \frac{PC}{BC} = \left(\frac{PC}{AC} \right) \cdot \left(\frac{AC}{BC} \right) = \operatorname{tg} h_o \cdot \operatorname{Sec}(A_o - A_n). \quad (1)$$

Используя эти соотношения можно определять форму, размеры и расположение теней на фасадах зданий при любых размерах затеняющих элементов СЗУ.

Пример 1. Определить протяженность и расположение тени на вертикальной стене от стержня длиной 1м, установленного перпендикулярно на этой стене. Параметры для расчета: $h_o = 32^\circ$, $A_o = 73^\circ$, $A_n = 45^\circ$, $(A_o - A_n) = 73 - 45 = 28^\circ$.

Горизонтальная составляющая тени:

$$l_r = 1 \cdot \operatorname{tg} (A_o - A_n) = 1 \cdot \operatorname{tg} 28 = 1 \cdot 0,5317 = 0,53 \text{ м.}$$

Вертикальная составляющая тени:

$$l_b = 1 \cdot \operatorname{tgh}_o \cdot \operatorname{Sec}(A_o - A_n) = 1 \cdot \operatorname{tg} 32 \cdot \left(\frac{1}{\cos 28} \right) = 1 \cdot 0,6249 \cdot \left(\frac{1}{0,8829} \right) = 0,71 \text{ м.}$$

Пример 2. Определить размер и расположение тени на вертикальной стене от горизонтально расположенного козырька шириной 1,2 м. Параметры для расчета: $h_o = 43^\circ$, $A_o = 23^\circ$ В, $A_n = 18^\circ$ З. Поскольку A_o и A_n находятся в разных зонах круга горизонта (A_o - в восточной, В; A_n - в западной, З) то горизонтальный теневой угол определяется сложением азимутов ($A_o + A_n = 23 + 18 = 41^\circ$).

Горизонтальная составляющая тени:

$$l_r = 1,2 \cdot \operatorname{tg}(A_o + A_n) = 1,2 \cdot \operatorname{tg} 41 = 1,2 \cdot 0,8693 = 1,04 \text{ м.}$$

Вертикальная составляющая тени:

$$l_b = 1,2 \cdot \operatorname{tgh}_o \cdot \operatorname{Sec}(A_o + A_n) = 1,2 \cdot \operatorname{tg} 43 \cdot \left(\frac{1}{\cos 41} \right) = 1,2 \cdot 0,9325 \cdot \left(\frac{1}{0,7547} \right) = 1,48 \text{ м.}$$

Пример 3. Определить размер и расположение тени на вертикальной стене от вертикального расположения ребра шириной 0,8 м. Параметры для расчета: $h_o = 20^\circ$, $A_o = 60^\circ$, $A_n = 15^\circ$, ($A_o - A_n = 60 - 15 = 45^\circ$).

Горизонтальная составляющая тени:

$$l_r = 0,8 \cdot \operatorname{tg}(A_o - A_n) = 0,8 \cdot \operatorname{tg} 45 = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ м.}$$

Вертикальная составляющая тени:

$$l_b = 0,8 \cdot \operatorname{tgh}_o \cdot \operatorname{Sec}(A_o - A_n) = 0,8 \cdot \operatorname{tg} 20 \cdot \left(\frac{1}{\cos 45} \right) = 0,8 \cdot 0,3640 \cdot \left(\frac{1}{0,7071} \right) = 0,41 \text{ м.}$$

Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Описание закономерности по построению теней позволяют решать обратную задачу, то есть определять размеры и расположение затеняющих элементов СЗУ для обеспечения экранирования светопроемов от солнечной радиации.

Результаты расчета параметров СЗУ

На рис.4 представлены схемы наиболее распространенных типов СЗУ. Это козырьки сплошные и решетчатые (а), жалюзи с горизонтальными (б) и вертикальными (в) ламелями. Ламели могут располагаться перпендикулярно к плоскости фасада или под некоторым углом в зависимости от ориентации светопроема и местоположения солнца в период облучения.

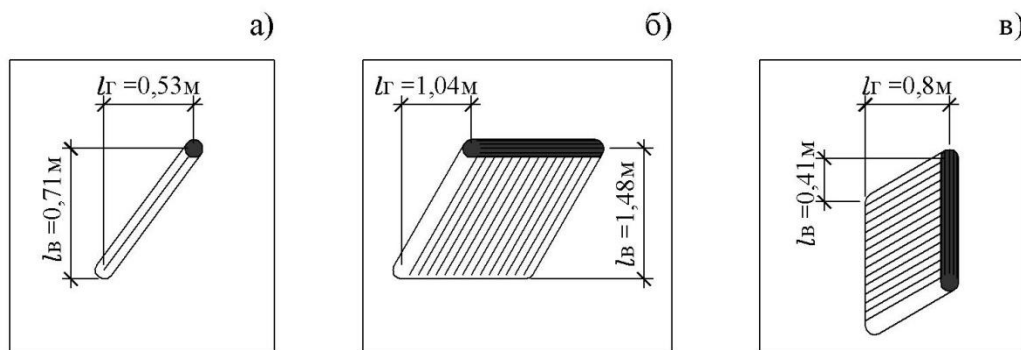


Рисунок 3 - Графическое представление теней к примерам 1 (а), 2(б) и 3 (в)

Солнцезащитные козырьки.

Видоизменяя формулу (1) можно получить выражение для определения вылета солнцезащитного козырька (l_k) над светопроемом (по схеме рис.4)

$$l_k = H \cdot \operatorname{Ctgh}_o \cdot \operatorname{Cos}(A_o - A_n), \quad (2)$$

где H – расстояние от козырька до нижней грани остекления, м; h_o – высота стояния солнца, град; ($A_o - A_n$) – угол между проекцией солнечного луча на горизонтальную плоскость и азимутом нормали к поверхности стены, град.

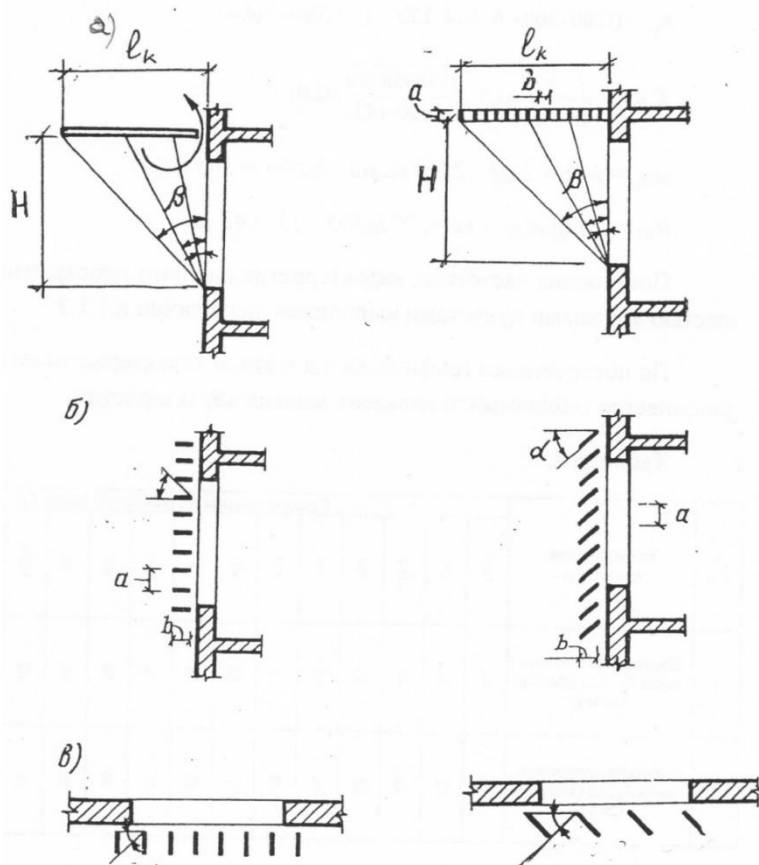


Рисунок 4 - Типовые схемы солнцезащитных устройств.

а – козырьки сплошные и решетчатые, б – жалюзи горизонтальные стационарные и регулируемые, в – жалюзи вертикальные стационарные и регулируемые

Пример 4. Определить вынос солнцезащитного козырька над окном высотой 1,5 м, расположенного на 0,2 метра выше верхней грани окна. Расчетные параметры координат солнца приняты по таблице 1[11] для интервала облучения 8 – 9 часов: $h_o=41^\circ$, $A_o=73^\circ$. Азимут нормали к поверхности остекления принят по рисунку 3[11], $A_n=45^\circ$.

$$l_k = 170 \cdot \text{Ctg}41 \cdot \text{Cos}28 = 170 \cdot 1,1504 \cdot 0,8829 = 173 \text{ см}$$

В качестве расчетных параметров в примере 4 были выбраны координаты солнца для одного из трех часов облучения условного светопроема (интервал 8 – 9 часов по рисунку 3[11] и таблице 1[11]). В другие часы облучения h_o и A_o имеют другие значения, следовательно, вынос козырька l_k будет иметь другие значения. Так в интервале облучения 7 – 8 часов $l_k=208$ см, а в интервале 6 – 7 часов $l_k=253$ см. Эти результаты нельзя считать оптимальными. Расчетные интервалы отличаются более низкими значениями h_o , так в интервале 7 – 8 часов $h_o=32^\circ$, а в интервале 6 – 7 часов $h_o=22^\circ$, по-видимому СЗУ в виде козырьков будут эффективными только при высоких значениях h_o . При низких значениях h_o следует использовать другие типы СЗУ, например, жалюзи с горизонтальным или вертикальным расположением ламелей.

Жалюзи с горизонтальным расположением ламелей

Проектирование СЗУ по типу «жалюзи» как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением ламелей сводится к определению ширины и расстояния между ламелями при которых обеспечивается полное экранирование солнечных лучей.

Для горизонтально расположенных ламелей расстояние между ними определяется вертикальной составляющей тени l_v (см.рис.3 б)

Пример 5. Определить расстояние между горизонтальными ламелями при заданной ширине ламелей равной 20 см. Для расчета использованы исходные данные, приведенные на рисунке 3[11]и таблице 1 [11].

В интервале облучения 6 – 7 часов: $h_0=22^\circ$, $A_0= 98^\circ$, $A_n=45^\circ$, $(A_0 - A_n) = 98 - 45=53^\circ$,

$$l_b = 20 \cdot \operatorname{tg} 22 \cdot \operatorname{Sec} 53 = 20 \cdot 0,4040 \cdot \left(\frac{1}{\cos 53} \right) = 13,4 \text{ см.}$$

В интервале облучения 7 – 8 часов: $h_0=32^\circ$, $A_0= 85^\circ$, $A_n=45^\circ$, $(A_0 - A_n) = 85 - 45=40^\circ$,

$$l_b = 20 \cdot \operatorname{tg} 32 \cdot \operatorname{Sec} 40 = 20 \cdot 0,6249 \cdot \left(\frac{1}{\cos 40} \right) = 16,3 \text{ см.}$$

В интервале облучения 8 – 9 часов: $h_0=41^\circ$, $A_0= 73^\circ$, $A_n=45^\circ$, $(A_0 - A_n) = 73 - 45=28^\circ$,

$$l_b = 20 \cdot \operatorname{tg} 41 \cdot \operatorname{Sec} 28 = 20 \cdot 0,8693 \cdot \left(\frac{1}{\cos 28} \right) = 19,7 \text{ см.}$$

Результаты расчета показывают, что для обеспечения полного экранирования солнечной радиации расстояние между ламелями в процессе облучения должно изменяться. В стационарных устройствах этого достичь невозможно. Требуется научно обоснованный выбор одного значения l_b .

Таблица 1 - Рекомендации по эффективному использованию СЗУ в виде жалюзи

№ п/п	Расположение ламелей в СЗУ	Ориентация светопроема (азимут нормали к поверхности стены от направления на юг, A_n)
1	Горизонтальные ламели, расположенные под углом к стене (правая схема по рис.7.18, б)	ЮГ $A_n=0\pm 15^\circ$
2	Горизонтальные ламели, расположенные перпендикулярно стене(левая схема по рис.7.18,б)	Юг, ЮЮВ $A_n=\pm(15^\circ\div 30^\circ)$
3	Вертикальные ламели, расположенные под углом к стене(правая схема по рис.7.18,в)	ЮВ, ЮЗ $A_n=45^\circ\pm 15^\circ$
4	Вертикальные ламели, расположенные к перпендикулярно к стене(левая схема по рис.7.18,в)	В,З $A_n=90^\circ\pm 15^\circ$

Исходя из целей СЗУ – снижение перегрева воздуха в помещении при его облучении солнечной радиацией, следует обеспечить полное экранирование светопроема в тот период облучения, в который интенсивность солнечной радиации имеет максимальное значение. В данном случае это период 8 – 9 часов (2,254 МДж/м², таблица 1 [11]), следовательно оптимальным расстояние между ламелями будет 19,7 см.

Жалюзи с вертикальным расположением ламелей

При вертикальном расположении ламелей, для обеспечения полного экранирования солнечной радиации, расстояние между ламелями определяется горизонтальной составляющей тени l_r (см.рис. 3 в).

Пример 6. Определить расстояние между вертикальными ламелями для полного экранирования солнечной радиации при заданной ширине ламели равной 20 см. Для расчета использованы данные, приведенные на рисунке 3 [11] и в таблице 1 [11].

В интервале облучения 6 – 7 часов: $h_0=22^\circ$, $A_n=45^\circ$, $A_0= 98^\circ$, $(A_0 - A_n) = 98 - 45=53^\circ$.

$$l_r = 20 \operatorname{tg}(A_0 - A_n) = 20 \cdot \operatorname{tg} 53 = 20 \cdot 1,327 = 26,5 \text{ см.}$$

В интервале облучения 7 – 8 часов: $h_0=32^\circ$, $A_0= 85^\circ$, $A_n=45^\circ$, $(A_0 - A_n) = 85 - 45=40^\circ$.

$$l_r = 20 \operatorname{tg}(A_0 - A_n) = 20 \cdot \operatorname{tg} 40 = 20 \cdot 0,8391 = 16,8 \text{ см.}$$

В интервале облучения 8 – 9 часов: $h_0=41^\circ$, $A_0= 73^\circ$, $A_n=45^\circ$, $(A_0 - A_n) = 73 - 45=28^\circ$.

$$l_r = 20 \operatorname{tg}(A_0 - A_n) = 20 \cdot \operatorname{tg} 28 = 20 \cdot 0,5317 = 10,6 \text{ см.}$$

В этом случае рекомендуется использовать тот же принцип, который использован при определении оптимального расстояния между горизонтально расположенными ламелями. То есть следует обеспечить полное экранирование солнечной радиации в те часы облучения, в которые ее интенсивность имеет максимальное значение. Это интервал облучения 8 – 9 часов ($2, 254 \text{ МДж/м}^2$, таблица 1 [11]), что позволит снизить прирост температуры воздуха помещения при облучении, если расстояние между ламелями будет 10,6 см. Однако, такое решение не является оптимальным, поскольку с высокой вероятностью возникнут проблемы с обеспечением естественной освещенности помещения.

Положительный эффект может быть достигнут если вертикально расположенные ламели расположить под некоторым углом к поверхности стены, как это показано на рис.4 в (правая схема). В этом случае определяющими является размер и расстояние между ламелями, чтобы обеспечить достаточное освещение помещений, а также угол наклона ламелей к стене и их ориентация, чтобы обеспечить экранирование солнечного облучения при высокой интенсивности солнечной радиации.

Наибольший эффект экранирования солнечной радиации, достигается в тех случаях, когда наклон ламелей ориентирован в сторону восхода солнца при юго-восточной ориентации светопроема или в сторону заходящего солнца или юго-западной ориентации светопроема. При таком размещении ламелей солнечная радиация проходит в помещение, но ее интенсивность после восхода солнца или перед закатом невысокая и не вызовет существенного перегрева помещений. К полудню возрастает высота стояния солнца и интенсивность солнечной радиации и возникает необходимость ее экранирования. Угол наклона ламелей и их ориентация должны быть такими, чтобы с определенного часа суток, когда интенсивность солнечной радиации приближается к максимальной, полностью экранировать поступление солнечной радиации в помещение. Схема этого процесса приведена на рис. 5.

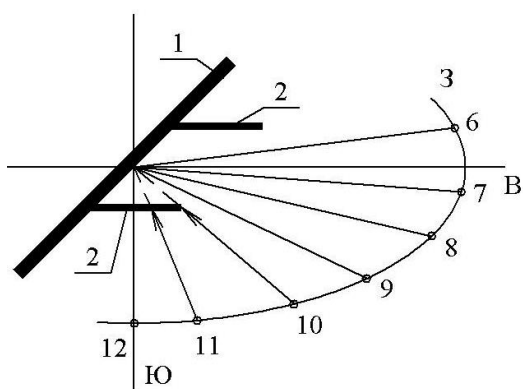


Рисунок 5 - Схема экранирования солнечных лучей вертикальными ламелями, установленными под углом к плоскости стены.

1 – стена, 2 – ламели, 3 – траектория движения солнца на солнечной карте (фрагмент)

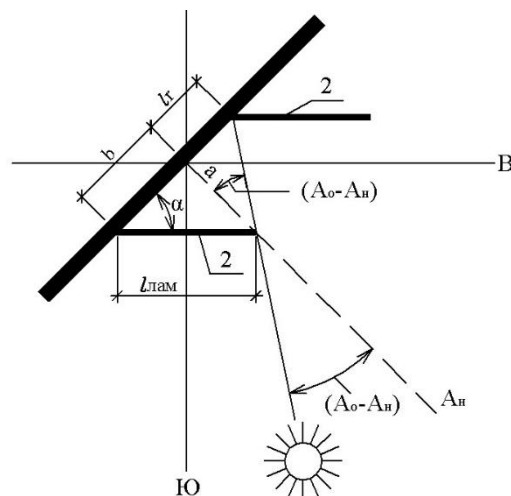


Рисунок 6. Расчетная схема к определению расстояния между ламелями.

1 – стена, 2 – ламели, α – угол наклона ламели к стене, $l_{\text{лам}}$ – ширина ламели, A_n – азимут нормали к плоскости стены, A_0 – азимут солнца, a и b – стороны вспомогательного прямоугольного треугольника, l_2 – горизонтальная составляющая тени

Если известен угол наклона ламелей и задана их ширина, то расстояние между ними определяется из условия полного экранирования солнечной радиации в критический час суток. То есть при таких координатах солнца (h_0 и A_0), при которых интенсивность солнечной радиации становится значимой для возникновения перегрева помещений. Расстояние между ламелями может быть определено по методике, изложенной выше с учетом полного экраниро-

вания солнечной радиации в критические часы облучения. Расчетная схема приведена на рис. 6.

По вспомогательному прямоугольному треугольнику со сторонами a , b и $l_{\text{лам}}$, а также углу α между плоскостью стены и ламелем, определяются его параметры:

$$a = l_{\text{лам}} \cdot \sin \alpha,$$

$$b = l_{\text{лам}} \cdot \cos \alpha.$$

Горизонтальная составляющая тени определяется известным выражением:

$$l_{\Gamma} = a \cdot \operatorname{tg}(A_o - A_n) = l_{\text{лам}} \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(A_o - A_n).$$

Расстояние между ламелями $l_{\text{рас}}$ определяется суммой $b + l_{\Gamma}$:

$$l_{\text{рас}} = b + l_{\Gamma} = l_{\text{лам}} \cdot \cos \alpha + l_{\text{лам}} \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(A_o - A_n) = l_{\text{лам}} [\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(A_o - A_n)].$$

Пример 7. Определить расстояние между ламелями $l_{\text{рас}}$ при ширине ламелей $l_{\text{лам}}$, установленных под углом α к поверхности стены:

$$1) l_{\text{лам}} = 22 \text{ см}, \alpha = 45^\circ, A_o = 25^\circ, A_n = 45^\circ, (A_n - A_o) = 20^\circ,$$

$$l_{\text{рас}} = l_{\text{лам}} [\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(A_o - A_n)] = 20(0,7071 + 0,7071 \cdot 0,3640) = 19,1 \text{ см},$$

$$2) l_{\text{лам}} = 30 \text{ см}, \alpha = 60^\circ, A_o = 25^\circ, A_n = 53^\circ, (A_n - A_o) = 28^\circ,$$

$$l_{\text{рас}} = 30(\cos 60 + \sin 60 \cdot \operatorname{tg} 28) = 30(0,5 + 0,8660 \cdot 0,5317) = 28,8 \text{ см}.$$

Заключение и рекомендации

Приведенные расчеты и анализ защитных характеристик СЗУ позволяют сформировать предварительные рекомендации по эффективности различных типов СЗУ.

Солнцезащитные устройства в виде стационарных козырьков как сплошных, так и решетчатых будут эффективны только при высоких значениях высот стояния солнца (h_o). При средних высотах солнца, а тем более при низких высотах стационарные козырьки становятся не целесообразными из-за несоразмерно больших выносов.

Более эффективными оказываются СЗУ в виде жалюзи с горизонтальным и вертикальным расположением ламелей, расположенных как перпендикулярно к поверхности стены, так и под некоторым углом к ней. В табл. 1 приведены рекомендации по эффективному использованию различных видов жалюзи в зависимости от ориентации светопроемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коркина Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам // Жилищное строительство. 2015. №6. С. 60-62.
2. Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Шмаров И.А., Пастушков П.П. Исследование влияния низкоэмиссионного покрытия стекла на спектральное пропускание света // Строительство и реконструкция. 2015. №2 (58). С. 90-95.
3. Lee E.S., DiBartolomeo D.L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window // Energy and Building. 2006. V.38. Pp. 30-44.
4. Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T. Energy saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows // Renewable Energy. 2005. V.30. № 3. P. 281-304.
5. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Экологические аспекты инсоляции естественного освещения жилых и общественных зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2012. № 2. С. 38-41.
6. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multi-layered structures // Applied Optics. 2001. № 40. P. 6670-6676.
7. Спиридонов А.В. О своде правил «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования.» // 3-й Конгресс ODF «Фасады России», М.: 13-15 сентября 2016 г. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. Свод Правил СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования».
9. Шмаров И.А., Земцов В.В., Козлов В.А. Обновленная методика расчета продолжительности инсоляции помещений и территорий по инсоляционным графикам // Жилищное строительство, 2018, № 6, с. 24-31.
10. Харкнес Е.Л., Мехта М.Л. Регулирование солнечной радиации зданий /пер. с англ. М.: Стройиздат, 1984. -176с.

11. Куприянов В.Н. К оценке теплового комфорта помещений облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Часть 1. Расчет энергии солнечной радиации, приходящей к наружной поверхности оконного блока // Вестник ПТО РААСН. ННГАСУ, 2019., Вып. 22, с.97-104.

REFERENCES

1. Korkina E.V. Kompleksnoe sravnenie okonnykh blokov po svetotekhnicheskim i teplotekhnicheskim parametrov [Comprehensive comparison of window units for lighting and heat engineering parameters]. *Zhishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No 6. Pp. 60–62. (rus)
2. Gagarin V.G., Korkina E.V., Shmarov I.A., Pastushkov P.P. Issledovanie vliyaniya nizkoemissionnogo pokrytiya stekla na spektral'noe propuskaniye sveta [The study of the effect of low-emissivity glass coating on the spectral transmittance of light]. *Building and Reconstruction*. 2015. No. 2 (58). Pp. 90–95. (rus)
3. Lee E.S., DiBartolomeo D.L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window. *Energy and Building*. 2006. Vol. 38. Pp. 30–44.
4. Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T. Energy saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows. *Renewable Energy*. 2005. Vol. 30. No. 3. Pp. 281–304.
5. Zemcov V.A., Gagarina E.V. Ekologicheskie aspekty insolyatsii i estestvennogo osveshcheniya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Ecological aspects of insolation and natural lighting of residential and public buildings]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2012. No. 2. Pp. 38–41. (rus)
6. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures. *Applied Optics*. 2001. No. 40. Pp. 6670–6676.
7. Spiridonov A.V. O svode pravil «Ustroystva solnchezashchitnye zdaniy. Pravila proektirovaniya» [About the set of rules “Devices for sun-protection of buildings. Design rules”]. 3rd Kongress ODF «FasadyRossii», Moscow: 13–15 sentyabrya. 2016. (CD-ROM). (rus)
8. Building Code of Russia SP 370.1325800.2017 SvodPravil “Ustroystva solnchezashchitnye zdaniy. Pravila proektirovaniya”
9. Shmarov I.A., Zemcov V.V., Kozlov V.A. Obnovlennaya metodika rascheta prodolzhitel'nosti insolyatsii pomeshcheniy i territoriy po insolyatsionnym grafikam [An updated method for calculating the duration of insolation of premises and territories using insolation graphs]. *Zhishchnoe stroitel'stvo*. 2018. No. 6. Pp. 24–31. (rus)
10. Harkness E.L., Mehta M.L. Solar Radiation Control in Buildings. Moscow: Strojizdat, 1984. 176 p. (rus)
11. Kupriyanov V.N. K ocenke teplovogo komforta pomeshcheniy obluchaemykh solnechnoy radiatsiy cherez svetovye proemy. CHast' 1. Raschet energii solnechnoy radiatsii, prihodiyashchey k naruzhnoy poverhnosti okonnogo bloka [To assess the thermal comfort of the premises of irradiated solar radiation through light openings. Part 1. Calculation of the energy of solar radiation coming to the outer surface of the window unit]. *Vestnik PTO RAASN. NNGASU*. 2019. Vol. 22. Pp.97–104. (rus)

Информация об авторах:

Куприянов Валерий Николаевич.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань. Россия, докт. техн. наук, проф., профессор кафедры «Архитектура»
E-mail: kupriyan@kgasu.ru

Спирidonov Александр Владимирович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики» (НИИСФ РААСН), Москва, Россия, канд.техн.наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории «Энергосберегающие технологии в строительстве»
E-mail: spiridonov@aprok.org

Information about authors:

Kupriyanov V. N

Kazan State University of Engineering and Architecture, Kazan, Russia, doctor in tech. sc., prof., prof. of the dep. of architecture
E-mail: kupriyan@kgasu.ru

Spiridonov A. V

Research Institute for Building Physics, Moscow, Russia, cand. in tech. sc., main researcher, leader of the laboratory ‘Energy Saving Technologies in Construction’
E-mail: spiridonov@aprok.org

НОВАТОРСКИЙ ОПЫТ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ В МАГНИТОГОРСКЕ

ВАРЛАМОВ А.А.^{1,2}, РИМШИН В.И.³, ТВЕРСКОЙ С.Ю.², ЧИКОТА С.И.¹

¹Магнитогорский Государственный технический университет, г. Магнитогорск, Россия,

²АО «Магнитогорскгражданпроект», г. Магнитогорск, Россия,

³Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

Аннотация. В связи с 90-летием города Магнитогорска рассматривается передовой опыт его строителей в освоении крупнопанельного домостроения. Работа магнитостроевцев всегда отличалась новаторством и передовым опытом. В 30-е годы XX века на стройках Магнитки впервые был применен электропрогрев бетона при зимнем бетонировании, созданы механизмы для разработки мерзлого грунта, организовано производство крупных блоков из бетона на основе доменных шлаков, построены одни из первых в СССР крупноблочные многоэтажные жилые дома. В работе приведено описание конструктивных сборных элементов и особенностей узлов их сопряжения в первом крупнопанельном жилом доме СССР, построенном в Магнитогорске в 1951 году. В основу планировочного решения первого панельного здания был положен проект рядовой блок-секции каркасно-панельного дома серии М-1. Отмечены преимущества крупнопанельных бескаркасных жилых домов. Применение полносборной строительной системы по сравнению с традиционной позволило снизить затраты труда в два с половиной раза, сократить сроки строительства в 1,5 - 2 раза, снизить сметную стоимость – на 12 - 15%. Приведены примеры использования магнитогорского опыта строительства бескаркасных крупнопанельных домов в других городах. Рассмотрены вопросы развития крупнопанельного домостроения в городе, начиная с серий крупнопанельных жилых домов, освоенных в Магнитогорске начиная с 1958 года после пуска в эксплуатацию завода крупнопанельного домостроения. Приведены обобщенные характеристики жилых домов, предназначенных для массовой застройки в разные временные периоды.

Ключевые слова: крупнопанельные бескаркасные жилые дома, полносборное строительство домов, стеновые панели, панели перекрытий, строительный комплекс Магнитогорска.

INNOVATIVE EXPERIENCE OF LARGE-PANEL HOUSING IN MAGNITOGORSK

VARLAMOV A.A.^{1,2}, RIMSHIN V. I.³, TVERSKOY S.Y.², CHIKOTA S. I.¹

¹Nosov Magnitogorsk state technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

²JSC "Magnitogorskgrazhdanproekt", Magnitogorsk, Russian Federation

³Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. In connection with the 90th anniversary of the city of Magnitogorsk reviewed best practices of builders in the development of large-panel housing construction. The work of Magnitostroi always been innovation and best practices. In the 30 years of the twentieth century in the construction of Magnitogorsk was first applied electric warming up of concrete under winter concreting, established mechanisms for the development of frozen soil, organized the production of large blocks of concrete based on blast furnace slag, built one of the first in the USSR large-block high-rise residential buildings. The paper contains a description of structural precast elements and characteristics of the nodes, their pairing in the first large-panel residential building of the USSR, built in Magnitogorsk in 1951. The basis of planning decisions of the first panel of the building was based on the project ordinary block section of frame-panel houses a series of M-1. The marked advantages of frameless large-panel residential buildings. The use of prefabricated building systems compared with traditional reduced labor costs two and a half times, to reduce the construction time by 1.5 - 2 times, reduce estimated cost by 12 - 15%. Discussed

the development of panel construction in the city, starting with a series of large-panel residential buildings, developed in Magnitogorsk since 1958 after the commissioning of the factory panel construction. The article presents the characteristics of houses designed for mass construction in different time periods

Keywords: *frameless large-panel houses, precast construction of houses, wall panels, roof slab, the building complex of Magnitogorsk.*

Введение

В 2019 году исполняется 90 лет Магнитогорску – одному из самых известных и легендарных социалистических городов. Вместе с городом празднование девяностолетия по праву разделяет трест «Магнитострой», строители которого самоотверженным трудом практически на не обжитой территории воздвигли гигантский металлургический комбинат и город, имеющие важнейшее значение для России.

Работа магнитостроевцев всегда отличалась новаторством и передовым опытом. В 30-е годы XX века на стройках Магнитки впервые был применен электропрогрев бетона при зимнем бетонировании, созданы механизмы для разработки мерзлого грунта, организовано производство крупных блоков из бетона на основе доменных шлаков, построены одни из первых в СССР крупноблочные многоэтажные жилые дома [1,2]. В послевоенные годы развернулось широкомасштабное строительство жилых районов на правом берегу реки Урал. Этот период совпал с реализацией в СССР программы индустриализации строительства.

В 1949 году, ровно 70 лет назад трест «Магнитострой» выступил в роли пионера крупнопанельного домостроения. До этого в Советском Союзе дома бескаркасного типа из крупных панелей не возводились. Первый такой дом был построен в Магнитогорске в 1951 году (рис.1).



Рисунок 1– Первый крупнопанельный жилой дом г. Магнитогорска 1951 года постройки

Проекты первых трех- и четырехэтажных крупнопанельных домов были разработаны бригадой Академии архитектуры СССР (арх. З. Нестерова, инж. Б. Смирнов, рук. Г. Кузнецов) [3]. В основу планировочного решения был положен проект рядовой блок-секции серии М-1, спроектированной арх. Л.О. Бумажным для застройки города домами с неполным каркасом [4]. Конструктивная схема была изменена в соответствии с крупнопанельной концепцией: несущий остов сформирован системой внутренних несущих стен, а наружные стены выполнены самонесущими слоистого типа (рис. 2).

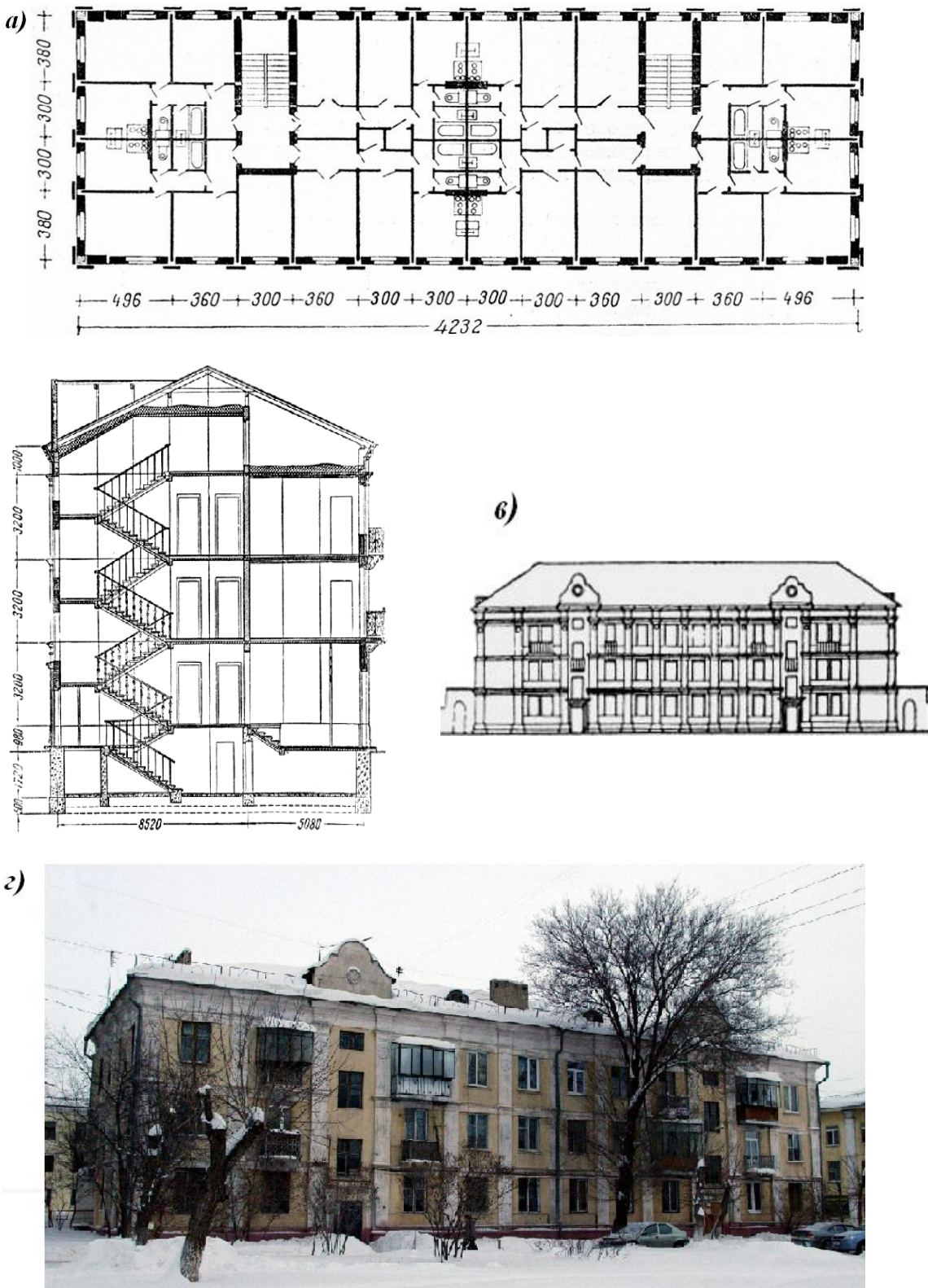


Рисунок 2–Трехэтажный крупнопанельный жилой дом в г. Магнитогорске (1951 г.) [2-5]:
а – план; б – разрез; в – фасад; г) – общий вид со стороны двора

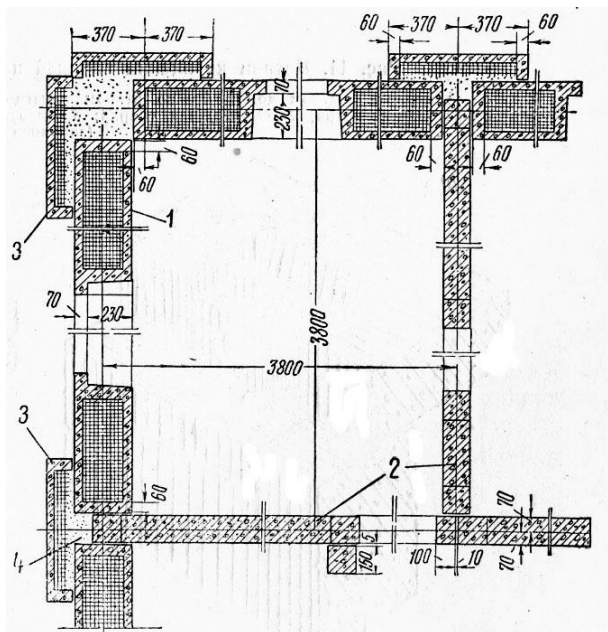


Рисунок 3 – Сопряжение стеновых панелей (план) [4]

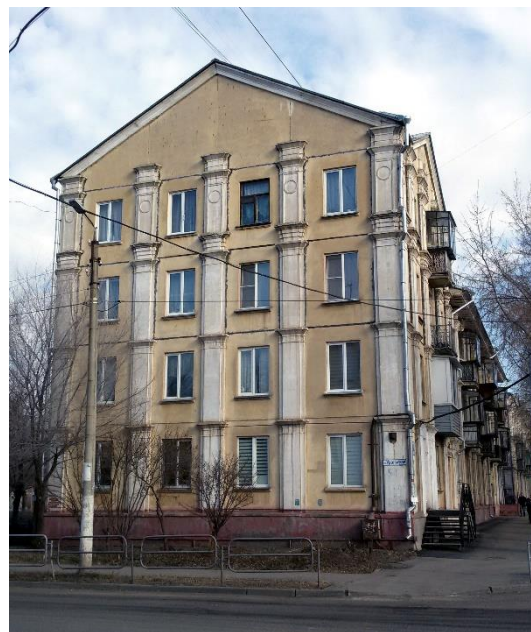


Рисунок 4 – Вид фасада с пилястрами

Внутренние несущие панели толщиной 140 мм изготавливали из шлакобетона с обрамлением тяжелым бетоном по контуру панели и контуру дверных проемов [4]. Для возведения дома потребовалось 12 типоразмеров панелей внутренних стен. Наружные стеновые панели имеют размеры на комнату и решены трехслойными с жесткими связями по периметру панели и периметру оконного проема. Средний слой, обеспечивающий теплозащиту – пенобетон, внутренний слой – обычный бетон, наружный фасадный слой – декоративный бетон. Панели наружных стен имеют 4 типоразмера.

В соответствии с принятой конструктивной схемой панели перекрытий опирались тремя сторонами только на внутренние несущие стены. Первоначально изготавливались сплошными однослойными из тяжелого бетона толщиной 90 мм. Впоследствии стал использоваться легкий бетон и панели изготавливаться двухслойными: общая толщина панели увеличилась до 120 мм, а рабочая арматура в виде сварных сеток располагалась в слое тяжелого бетона толщиной 30 мм.

При формировании сопряжения стеновых панелей панели внутренних стен заводили между торцами наружных панелей (рис. 3).

Вертикальные стыки со стороны фасада закрывали сборными пилястрами шириной 740 мм (рис. 4).

Место стыка заполняли раствором на основе гранулированного доменного шлака. По проекту горизонтальные стыки наружных стеновых панелей имели теплопроводные включения в виде контурных обоев из тяжелого бетона. В процессе строительства было принято решение бетонную обойму на участке горизонтального стыка подрезать, исключив теплопроводные включения, а в монтажный шов добавить конструктивно-теплоизоляционный бетон (рис. 5).

Панели перекрытий опирали на панели внутренних несущих стен нижнего этажа, а стеновые панели последующего этажа устанавливали сверху на плиты перекрытий.

Изготовление сборных элементов первых панельных домов осуществляли непосредственно на строительной площадке (рис. 6). При изготовлении применяли не металлические формы, а простые металлические борт-формы, которые устанавливали на бетонных стендовых площадках [3]. Такая технология позволяла совершенствовать конструктивное исполнение и изменять опалубочные размеры изготавливаемых элементов.

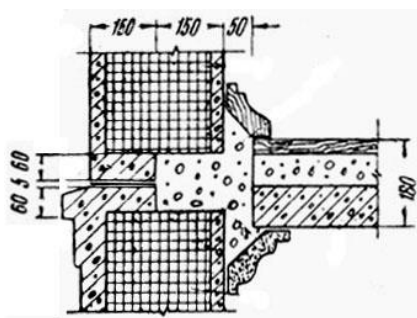


Рисунок 5 – Горизонтальный стык стеновых панелей [4]

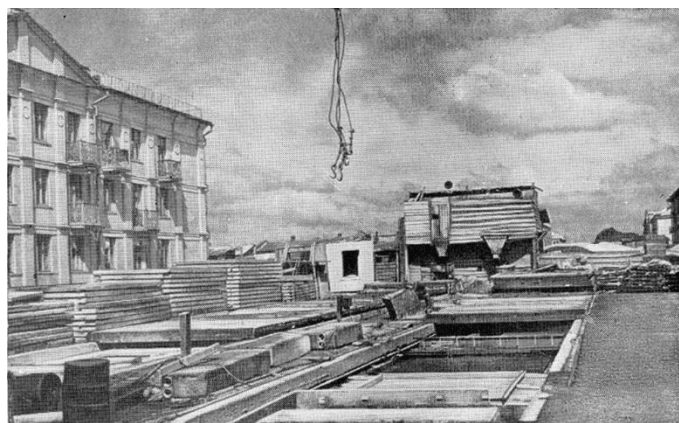


Рисунок 6 – Общий вид полигона по изготовлению крупнопанельных сборных элементов здания [3]

Применение полносборной строительной системы по сравнению с традиционной позволило снизить затраты труда в два с половиной раза, сократить сроки строительства в 1,5 - 2 раза, снизить сметную стоимость – на 12 - 15%. Отмечались следующие преимущества крупнопанельных бескаркасных жилых домов [5]:

- сокращение числа сборных элементов;
- упрощение монтажа;
- повышенная заводская готовность сборных элементов;
- улучшение звукоизоляции помещений;
- улучшенные планировочные качества помещений;
- снижение металлоемкости.

Магнитогорский опыт строительства бескаркасных крупнопанельных домов был использован в ряде других городов [6]. С 1955 года в Мурманске велось строительство крупнопанельных 4-этажных жилых домов с использованием конструктивных решений, опробованных в Магнитогорске. В 1957 - 1959 годах в Москве при застройке микрорайона Новые Черемушки были возведены три крупнопанельных 5-этажных общежития коридорной планировочной системы, где использованы незначительно переработанные конструктивные решения магнитогорских домов. В Готвальдове, пригородах Праги и Брно (Чехословакия), возведено несколько десятков крупнопанельных домов с поперечными несущими стенами.

Одной из задач опытного строительства являлась подготовка к промышленному серийному производству крупнопанельных домов. Завод крупнопанельного домостроения (ЗКПД) в Магнитогорске начали строить в 1953 году. В 1958 году ЗКПД был введен в эксплуатацию и более чем на пятьдесят лет определил стратегию жилищного строительства в городе.

После пуска ЗКПД был начат выпуск сборных конструкций для крупнопанельных (серия 1-464) жилых домов (рис. 7). В 60-е годы произошел переход на усовершенствованную серию 1-464А. Дома этих серий возводились в городе практически до конца 70-х годов.

В 70-80-е годы совершенствование серий жилых крупнопанельных домов ориентировано на увеличения этажности зданий до 9...16 этажей. С 1976 года ЗКПД освоил выпуск сборных изделий для строительства 9 этажных жилых домов по всесоюзной серии 111-121 (крупнопанельные дома улучшенной планировки) (рис. 8). Появление в этот период поворотных и угловых блок-секций позволило разнообразить застройку и улучшить её выразительность.

С середины 90-х годов и по настоящее время жилые районы в массовом порядке застраиваются крупнопанельными домами новых типов (серия 111-97), главной отличительной особенностью которых является более гибкая планировочная система, вследствие применения большого шага внутренних несущих стен [8-10]. Высота помещений во многих проектах впервые за много лет увеличена до 2,7 м. Все конструкции панелей проходили испытаний в условиях завода и на строительной площадке [11-18].



Рисунок 7 – Крупнопанельный жилой дом серии 1-464 60-х годов постройки в г. Магнитогорске



Рисунок 8 – Крупнопанельные жилые дома серии 111-121 80-х годов постройки в г. Магнитогорске

Обобщенная характеристика жилых домов, предназначенных для массовой застройки в разные временные периоды, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика крупнопанельных домов массовых серий [7]

Серия домов	Годы	Формула заселения (К - число комнат, N - количество проживающих)	Средняя общая площадь квартир, м ²	Общая средняя площадь на 1 жителя, м ² /чел	Соотношение жилой и подсобной площадей, %
1-464	1958-1964	$K=N-1, K=N-2$	40	10	83/17
1-464А	1964-1976	$K=N-1$	45	12	66/34
111-121	1976-2000	$K=N-1$	55	15	60/40
111-97	2000	$K=N, K=N+1, K=N+2$	≥ 65	≥ 20	60/40

Строительный комплекс г. Магнитогорска в советский период занимал лидирующие позиции в освоении передовых технологий крупнопанельного домостроения и достаточно полно отражал динамику развития этого процесса в целом по России.

Выводы

Строительство первого панельного здания в Магнитогорске вызвало огромный интерес к строительству панельных зданий в стране и во всем мире. В настоящее время более 80 % жилых многоэтажных зданий в городе Магнитогорске построено из панелей

Панельное домостроение позволило достичь заметного удешевления строительства при постепенном улучшении комфорта проживания. На настоящий момент себестоимость квадратного метра жилья в городе одна из самых наименьших в стране.

Первому построенному панельному зданию уже около 70 лет. Осмотр здания показал отсутствие коррозионных поражений стыков. Состояние первого панельного здания позволяет прогнозировать срок его службы еще не менее 70 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молошников И., Шкарапут А. Магнитострой – пионер строительной индустрии страны // Архитектура СССР. 1979. № 7. С.21-22.
2. Строительство первых крупнопанельных домов в Магнитогорске. Режим доступа: https://vuzlit.ru/1124654/stroitelstvo_pervyh_krupnopanelnyh_domov_magnitogorske
3. Казаринова В.И., Павличенков В.И. Магнитогорск. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 248 с.
4. Смирнов В.Н. Опыт проектирования крупнопанельных домов в Магнитогорске // Архитектура и конструкции многоэтажных крупнопанельных жилых домов. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. 1954. С. 77-85.
5. Нестерова З.Н. Особенности архитектурного решения крупнопанельных жилых домов // Архитектура и конструкции многоэтажных крупнопанельных жилых домов. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. 1954. С. 33-43.
6. Дроздов П.Ф., Себекин И.М. Проектирование крупнопанельных зданий (каркасных и бескаркасных). М.: Издательство литературы по строительству, 1967. 416 с.
7. Магай А.А., Штейман Б.И. Крупнопанельное домостроение России // Жилищное строительство. – 2005. - № 12. С. 21 – 25.
8. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Этенко В.П. Панельно-каркасное домостроение – новый этап развития КПД // Жилищное строительство. 2015. №2. С.3-7.
9. Николаев С.В. Возрождение крупнопанельного домостроения в России // Жилищное строительство. 2012. №4. С. 2-8.
10. Николаев С.В. Возрождение домостроительных комбинатов на отечественном оборудовании // Жилищное строительство. 2015. №5. С.4-8.
11. Варламов А.А., Пивоварова О.В., Пивоваров В.С. Испытание фрагмента сборно-монолитного перекрытия с новым шпоночным стыком // Жилищное строительство. 2012. №5. С.16-18
12. Варламов А.А., Римшин В.И. Модели поведения бетона. Общая теория деградации. М.: ИНФРА-М, 2019. 436 с. www.dx.doi.org/10.12737/monography5c8a716e3c4460.52838016. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/993546>
13. Никитина О.В., Варламов А.А. Анализ экспериментальных данных исследования работы сборно-монолитного перекрытия с новым вариантом шпоночного стыка // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. Т.15. №3. С.20-25.
14. Kuzina, E., Rimshin, V., Kurbatov, V. The Reliability of Building Structures Against Power and Environmental Degradation Effects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 463(4), 042009. 2018
15. Бондаренко В.М., Курзанов А.М., Римшин В.И. Механизм сейсмических разрушений зданий // Вестник Российской академии наук. 2000. 70(11), С. 1005-1009.
16. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. The General theory of degradation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 463(2018), Part 1 P.1-6. Doi:10.1088/1757-899X/463/2/022028.
17. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. Durability of buildings in urban environment Materials Science Forum. 2018 ISSN:1662-9752. Vol.931.pp. 340-345. Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.931.340

REFERENCES

1. Moloshnikov I., Shkaraput A. Magnitostroy – pioner stroitel'noj industrii strany [Magnitostroy – pioneer the country's construction industry] *Arhitektura SSSR*. 1979. No 7. Pp. 21-22. (rus)
2. Stroitel'stvo pervyh krupnopanel'nyh domov v Magnitogorske. Rezhim dostupa: https://vuzlit.ru/1124654/stroitelstvo_pervyh_krupnopanelnyh_domov_magnitogorske.
3. Kazarinova V.I., Pavlichenkov V.I. Magnitogorsk. [Magnitogorsk] Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, arhitekture i stroitel'nym materialam. 1961. 248 p. (rus)
4. Smirnov V.N. Opyt proektirovaniya krupnopanel'nyh domov v Magnitogorske [Experience in the design of large-panel houses in Magnitogorsk] *Arhitektura i konstrukcii mnogoetazhnyh krupnopanel'nyh zhilyh domov*. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo li-teratury po stroitel'stvu i arhitekture. 1954. Pp. 77-85. (rus)
5. Nesterova Z.N. Osobennosti arhitekturnogo resheniya krupnopanel'nyh zhilyh domov [Features of architectural decisions Krupnova-nalnyj residential buildings] *Arhitektura i konstrukcii mnogoetazhnyh krupnopanel'nyh zhilyh domov*. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arhitekture. 1954. Pp. 33-43. (rus)
6. Drozdov P.F., Sebekin I.M. Proektirovanie krupnopanel'nyh zdaniy (karkasnyh i beskar-kasnyh) [Design of large-panel buildings (framed and frameless)] Moscow: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1967. 416p. (rus)
7. Magaj A.A., SHtejman B.I. Krupnopanel'noe domostroenie Rossii [large-panel housing construction in Russia] *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2005. No 12. Pp. 21 – 25. (rus)
8. Nikolaev S.V., SHrejber A.K., Etenko V.P. Panel'no-karkasnoe domostroenie – novyj etap razvitiya KPD [Panel-frame houses – a new stage of development efficiency KPD] *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015.No2. Pp.3-7. (rus)
9. Nikolaev S.V. Vozrozhdenie krupnopanel'nogo domostroeniya v Rossii [The Revival of large-panel housebuilding in Housing] *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No 4. Pp. 2-8. (rus)
10. Nikolaev S.V. Vozrozhdenie domostroitel'nyh kombinatov na otechestvennom oborudovanii [The Revival of house-building factories in the domestic equipment] *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction] 2015. No5. Pp.4-8. (rus)
11. Varlamov A.A., Pivovarov O.V., Pivovarov V.S. Ispytanie fragmenta sborno-monolitnogo perekrytiya s novym shponochnym stykom [Test fragment of precast-monolithic overlap with the new keyed joint] *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2012. No5. Pp. 16-18. (rus)
12. Varlamov A.A., Rimshin V.I. Modeli povedeniya betona. Obshchaya teoriya degradacii [Behaviors of concrete. The General theory of degradation] Moscow: INFRA-M, 2019. 436 s. www.dx.doi.org/10.12737/monography5c8a716e3c4460.52838016. (rus)
13. Nikitina O.V., Varlamov A.A. Analiz eksperimental'nyh dannyh issledovaniya raboty sborno-monolitnogo perekrytiya s novym variantom shponochnogo styka [Analysis of experimental studies of precast-monolithic overlap with the new version of the keyed joint] *Vestnik SUSU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2015.vol.15. No3. Pp.20-25. (rus)
14. Kuzina E., Rimshin V., Kurbatov V. The Reliability of Building Structures Against Power and Environmental Degradation Effects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 463(4), 042009. 2018
15. Bondarenko, V.M., Kurzanov, A.M., Rimshin, V.I. The mechanism of seismic destruction of build-ings. Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk 70(11), Pp. 1005-1009. 2000
16. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. The General theory of degradatio IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 463(2018), Part 1. Pp.1-6. Doi:10.1088/1757-899X/463/2/022028.
17. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. Durability of buildings in urban environment Materials Science Forum.2018 ISSN:1662-9752. Vol.931. Pp. 340-345. Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.931.3401.

Информация об авторах:

Варламов Андрей Аркадьевич

Магнитогорский Государственный технический университет, г. Магнитогорск, Россия,
канд. техн. наук., доцент, профессор кафедры проектирования зданий и строительных конструкций;
АО ПИ «Магнитогорскгражданпроект», г. Магнитогорск, Россия,
главный строитель.
E-mail: mgrp@mgn.ru

Римшин Владимир Иванович

Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН): Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, руководитель института развития города.
E-mail: v.rimshin@niisf.ru

Тверской Сергей Юрьевич

АО Проектный институт гражданского строительства, планировки и застройки городов и поселков «Магнитогорскгражданпроект», г. Магнитогорск, Россия,
генеральный директор.
E-mail: mgrp77@mgn.ru

Чикота Сергей Иванович

Магнитогорский Государственный технический университет. г. Магнитогорск, Россия,
канд. техн. наук., доцент, профессор кафедры проектирования зданий и строительных конструкций
E-mail: s.chikota@magtu.ru

Information about authors:

Varlamov Andrew A.

Nosov Magnitogorsk state technical University, Magnitogorsk, Russian Federation,
candidate in tech., associate prof., prof. of the dep. the design of buildings and building structures
E-mail: mgrp@mgn.ru

Rimshin Vladimir I.

Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russian Federation,
Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS, Head of Institute of City Development
E-mail: v.rimshin@niisf.ru

Tverskoy Sergey Y

JSC "Magnitogorskgrazhdanproekt", Magnitogorsk, Russian Federation,
General Head
E-mail: mgrp77@mgn.ru

Chicota Sergey I.

Nosov Magnitogorsk state technical University, Magnitogorsk, Russian Federation,
candidate in tech., associate prof., prof. of the dep. the design of buildings and building structures
E-mail: s.chikota@magtu.ru

ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКОННЫХ БЛОКОВ ИЗ ПВХ ПРОФИЛЕЙ

КОНСТАНТИНОВ А.П.¹, ВЕРХОВСКИЙ А.А.²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена вопросу изучения теплотехнических характеристик современных оконных блоков из ПВХ профилей при отрицательных температурах наружного воздуха, а также оценке их соответствия требованиям действующих нормативных документов. Для исследования были отобраны типовые конструкции оконных блоков, массового применяемые в строительстве.

Лабораторные испытания показали, что под воздействием перепада температур наружного и внутреннего воздуха, соответствующего зимним условиям эксплуатации, профильные элементы оконных блоков приобретают значительные деформации. Температурные деформации профилей ПВХ, а также снижение эластичности уплотнительных прокладок приводят к снижению теплозащитных качеств оконных блоков. Эффект проявляется в повышении их воздухопроницаемости, а также в снижении температур на внутренних поверхностях их профильных элементов. Это приводит не только к повышению инфильтрационных теплопотерь через данный класс светопрозрачных конструкций, но и нарушению нормируемых параметров микроклимата в помещении. Установленный экспериментальным методом эффект снижения теплотехнических характеристик оконных блоков из ПВХ профилей при отрицательных температурах наружного воздуха не учитывается существующими методиками расчета, что говорит об необходимости их корректировки.

Ключевые слова: окна ПВХ, оконные блоки из ПВХ профилей, воздухопроницаемость, инфильтрационные теплопотери, тепловая защита, энергоэффективность

INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF PVC WINDOWS

KONSTANTINOV A.P.¹, VERKHOVSKY A.A.²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Research Institute of Building Physics of the RAACS, Moscow, Russia

Abstract. The experimental studies of thermal characteristics of PVC windows at negative temperatures of the outside air are performed. The experimental studies results are compared with the requirements of regulatory documents and existing calculation methods of infiltration heat loss through the windows.

The laboratory tests show, that under the influence of the temperature difference of the external and internal air (in winter) window profiles get large deformation. The temperature deformation of PVC profiles and window gaskets elasticity degradation lead to a violation of the window thermal characteristics. The effect is to increase the windows air permeability and reduce the temperature on the inner surfaces of their profile elements. This leads to an increase in infiltration heat loss through the windows and violation of the normal microclimate parameters in the room. The established effect of reducing the PVC windows thermal characteristics at negative outside air temperatures is not taken into account by the existing calculation methods.

Keywords: PVC windows, air permeability, infiltration heat loss, thermal protection, energy efficiency

Введение

Ключевая особенность современной отечественной оконной отрасли заключается в том, что она базируется на применении оконных систем, изначально разработанных для климатических условий стран Западной Европы (Германии, Австрии и др.) [1-3]. При этом в настоящее время еще не разработаны специализированные и обязательные к применению отечественные нормативные документы, комплексно регламентирующие правила расчета и проектирования оконных конструкций для климатических условий РФ [4]. В сложившейся ситуации при назначении конструктивного решения окон специалисты строительной отрасли руководствуются только положениями отдельных отечественных нормативных документов, затрагивающих лишь некоторые вопросы проектирования окон, а также вынуждены использовать европейские методики расчета и лабораторные методы определения эксплуатационных характеристик подобных конструкций. Однако более чем 25-ти летний опыт применения современных типов окон в климатических условиях России отчетливо показывает негативные стороны данного подхода. Это проявляется, прежде всего, в появлении типовых проблем с окнами на стадии эксплуатации объектов строительства (например, сложности при открывании-закрывании створок для проветривания помещений, повышенной инфильтрации через окна, появлении конденсата и наледи на внутренних поверхностях профильных элементов в зимнее время и пр.) Особенно наглядно это проявляется в случае оконных блоков из ПВХ профилей, которые находят в настоящее время наибольшее применение в массовом жилищном строительстве.

Климатические условия России характеризуются значительно более низкими зимними эксплуатационными температурами наружного воздуха по сравнению со странами Западной Европы. Поэтому для России одной из актуальных научных и инженерных задач, требующей решения, является изучение особенностей работы оконных блоков ПВХ в качестве ограждающих элементов здания при отрицательных температурах наружного воздуха. Причем данная задача связана с исследованием не только самих теплотехнических характеристики оконных блоков, но также требует изучения влияния отрицательных температур наружного воздуха на напряженно-деформированное состояние подобных конструкций. Исследование данного вопроса является актуальным ввиду следующих предпосылок:

- существующего подхода к проектированию окон, при котором наибольшее внимание уделяется вопросам обеспечения их энергосберегающих характеристик, исходя из зимних условий эксплуатации;
- текущего повышения нормативных требований к сопротивлению теплопередаче окон (с введением изменения № 1 СП 50.13330), вынуждающего уже сейчас закладывать в проекты профильные системы ПВХ с повышенной монтажной шириной, которые более подвержены температурным деформациям;
- современных тенденций в архитектуре, связанных с широким использованием даже в объектах массового строительства крупноформатных оконных блоков из ПВХ профилей.

Стоит отметить, что к настоящему моменту уже проведено некоторое количество исследований по данному вопросу. В частности, были рассмотрены теоретические предпосылки влияния эксплуатационных температур и солнечной радиации на деформации профильных элементов оконных блоков [5-7]. Проводились исследования по оценке величины температурных деформаций оконных блоков ПВХ под действием температурных нагрузок [8]. В нескольких работах проведены исследования воздухопроницаемости оконных блоков ПВХ при отрицательных температурах наружного воздуха [9-12]. Они показали, что при снижении температур наружного воздуха наблюдается повышение воздухопроницаемости оконных блоков. В тоже время в данных работах не проведено их сравнение с нормируемыми эксплуатационными показателями, что не позволяет использовать полученные результаты в существующей инженерной практике.

Современные оконные блоки из ПВХ профилей являются сложными, многокомпонентными конструкциями, их основные эксплуатационные характеристики зависят от внешних

климатических условий (совместного действия ветровых нагрузок, температур наружного воздуха, солнечной радиации и пр.) и не являются постоянными. В условиях отсутствия системных исследований особенностей их работы в различных расчетных ситуациях, в действующие методики расчета самих окон, а также в методики расчета по смежным дисциплинам закладываются упрощенные модели окон, которые не в полной мере отражают реальную физическую природу их работы.

Рассмотрим для примера действующую методику расчета энергетического паспорта зданий, регламентированную одним из ключевых в отечественной системе нормирования документе - СП 50.13330. Согласно данной методике при расчете инфильтрационных теплопотерь через окна используются не фактические, а нормируемые значения сопротивления воздухопроницанию окон. При этом, заложенные в методику нормируемые значения в несколько раз выше фактических показателей современных оконных конструкций [13]. Данное обстоятельство сказывается не только на точности расчета теплобаланса зданий, но и приводит к существенному ухудшению микроклимата помещений на стадии эксплуатации (недостаточная кратность воздухообмена, превышение нормируемой температуры воздуха внутри помещений) [14,15]. Очевидно, что для решения данных проблем необходимо закладывать в расчетах либо фактические характеристики воздухопроницаемости окон с учетом влияния отрицательных температур, либо хотя бы изменить нормативные значения воздухопроницаемости окон на значения, отвечающие современному уровню развития оконной отрасли. В тоже время, решение данной проблемы требует не только проведения соответствующих научных исследований, но также разработки и внедрение в практику новых методик испытаний светопрозрачных конструкций на воздухопроницаемость при отрицательных температурах.

В рамках данной работы авторы ставят перед собой задачу по оценке соблюдения нормативных требований СП 50.13330 современными оконными блоками ПВХ, а также анализу соответствия заложенных в СП 50.13330 методик расчета теплотехнических параметров окон с учетом их фактической работы при отрицательных температурах наружного воздуха, соответствующих условиям различных климатических регионов России.

Модели и методы

Одной из ключевых теплотехнических характеристик окон является их воздухопроницаемость. Существующие лабораторные методы определения воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций, используемые в отечественной и европейской инженерной практике, базируются на проведении испытаний при стандартных условиях (т.е. при комнатной температуре воздуха $T_b=20\pm4^\circ\text{C}$). К настоящему времени в инженерную практику еще не внедрены методы испытания воздухопроницаемости окон при отрицательных температурах. Это связано с рядом технических сложностей по созданию в рабочей камере стенда избыточного давления воздуха, охлажденного до необходимой температуры. Некоторыми исследователями делались попытки проведения подобных испытаний на стандартных испытательных стендах, предназначенных для определения воздухопроницаемости окон [12]. Для этого стенды были дооснащены климатическими установками, которые охлаждали воздух рабочей камеры до необходимой температуры. Однако, ввиду конструктивных особенностей стенда, определение показателей воздухопроницаемости окон производилось за счет нагнетания теплого воздуха из лабораторного помещения. По мнению авторов, данный подход не является корректным, т.к. показатели воздухопроницаемости окон значительно зависят от физических параметров воздуха (его температуры, плотности, вязкости и пр.), проходящего через конструкцию.

Кроме того, существенное влияние на корректность получаемых экспериментальных результатов влияет стационарный режим проведения испытаний. Добиться стационарного процесса предлагаемым методом сложно, а зачастую технически невозможно. Очевидно, что подобный метод испытания окон на воздухопроницаемость при отрицательных температурах может быть использован только проведения оценочных измерений. Поэтому для реализации поставленных задач авторы использовали специальную методику, разработанную специали-

стами ФГБУ НИИСФ РААСН (см. патент на изобретение №2445610 «Способ определения воздухопроницаемости строительных ограждающих конструкций»).

В основу предлагаемого авторами экспериментального метода лежит первоначальное достижение заведомо стационарного теплотехнического процесса в климатической камере и установление стационарных условий как с точки зрения климатического воздействия, так и установившихся напряженно-деформированных состояний конструкций.

Исследование влияния наружных отрицательных температур воздуха на деформации и теплотехнические характеристики оконных блоков ПВХ проводились в лабораторных условиях на базе испытательного центра «Фасады СПК» ФГБУ НИИСФ РААСН.

Для испытаний были выбраны три двухстворчатых оконных блока из ПВХ профилей с различной монтажной шириной коробки – 70 мм, 82 мм и 86 мм. Оконный блок (далее оконный блок №1) с монтажной шириной коробки 70 мм имел два контура уплотнения, оконные блоки с монтажной шириной коробки 82 мм (далее оконный блок №2) и 86 мм (далее оконный блок №3) имели соответственно три и два контура уплотнения. Оконные блоки имели типовые габаритные размеры, применяемые в массовом жилищном строительстве. Габаритные размеры первых двух блоков составляли $H \times B = 1,40 \times 1,20$ м, а последнего $H \times B = 1,47 \times 1,47$ м. Рама каждого оконного блока была разделена по середине вертикальным импостом. Каждый из оконных блоков имел глухую часть, а также одну открывающуюся поворотно-откидную створку.

Перед проведением основного объема лабораторных исследований каждый оконный блок был испытан на воздухопроницаемость и сопротивление ветровой нагрузке при перепадах давлений воздуха в диапазоне -1500 Па ...+1500 Па. Испытания выполнялись на стационарном стенде для испытаний на воздухо- водопроницаемость и сопротивление ветровой нагрузке ВВВ-2008.

Лабораторные исследования оконных блоков проводились в климатической камере КТК-2009. Климатическая камера состояла из двух отсеков («холодного» и «теплого»), разделенных теплоизолированной перегородкой с проемом для монтажа оконного блока. Для измерения воздухопроницаемости оконных блоков климатическая камера было дооборудована приставным стендом с воздушным нагнетателем давления, смонтированным со стороны «теплого» отсека, а также расходомером воздуха, установленным в «холодном» отсеке.

Закрепление оконных блоков, а также устройство узлов примыкания к проему теплоизолированной перегородки выполнялось с учетом требований действующих нормативных документов на монтаж подобных конструкций (ГОСТ 30971-2012).

Исследования деформаций и теплотехнических характеристик оконных блоков выполнялось в следующей последовательности:

1. Определение воздухопроницаемости смонтированного оконного блока при комнатной температуре воздуха $T_{в}=+20$ °С и сопоставление полученных значений с результатами испытаний на стенде для испытаний на воздухо-, водопроницаемость и сопротивление ветровой нагрузке.
2. Установка датчиков линейных перемещений, датчиков измерения температуры и тепловых потоков на профильные элементы оконных блоков (раму, импост, створки).
3. Вывод «холодного» отсека на заданную отрицательную температуру воздуха и достижение стационарного режима.
4. Измерение контролируемых параметров оконных блоков при установившемся стационарном режиме: деформаций профильных элементов оконных блоков; температур и тепловых потоков на наружной и внутренней поверхности профильных элементов.
5. Измерение воздухопроницаемости оконных блоков и деформаций его профильных элементов при заданной отрицательной температуре внутри «холодного» отсека. Данные измерения проводились при перепадах давлений воздуха между «холодным» и «теплым» отсеком в 50 Па.

Указанные в пп. 3-5 действия были выполнены для каждого исследуемого оконного блока при следующих температурах воздуха в «холодном» отсеке: -5 °С, -15 °С, -25 °С, -35 °С, -45 °С для первых двух оконных блоков, а также при температурах -20 °С, -28 °С, -40 °С и -50 °С для третьего оконного блока. При этом в «теплом» отсеке постоянно поддерживалась температура воздуха +20 °С.

Общий вид климатической камеры с установленным оконным блоком и средствами измерений представлен на рисунке 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Общий вид климатической камеры с установленным оконным блоком в ходе исследований теплотехнических характеристик: а) Внешний вид испытываемого оконного блока, б) Внешний вид установки для измерения воздухопроницаемости

Результаты исследования и их анализ

Согласно СП 50.13330 подбор требуемого конструктивного решения окон производится исходя из обеспечения следующих параметров:

- нормируемого значения сопротивления теплопередаче оконных блоков (п. 5.2);
- нормируемых температур на внутренней поверхности оконных блоков (п. 5.7);
- нормируемого значения сопротивления воздухопроницанию оконных блоков (п. 7.5).

Оценим соблюдение данных параметров для испытанных оконных блоков, а также проведем анализ заложенных в СП 50.13330 методик определения теплотехнических характеристик окон на предмет соответствия фактическим условиям работы подобных конструкций.

Вопрос определения сопротивления теплопередаче оконных блоков в рамках данной работы не рассматривался, т.к. данный теплотехнический параметр определяется не только характеристиками профильных элементов, но и конструкций стеклопакета (формулой стеклопакета, типом дистанционной рамки и пр.). В рамках данной работы исследовались оконные блоки с профильными элементами с декларируемым приведенным сопротивлением теплопередаче комбинации «рама+створка» не менее 0,78 ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)/Вт, 1,06 и 0,94 ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)/Вт (для оконных блоков №1, 2 и 3 соответственно). Очевидно, что при использовании стеклопакета с соот-

ветствующими теплотехническими характеристиками, фактическое приведенное сопротивление теплопередаче данных оконных блоков будет соответствовать нормативным требованиям.

Испытания показали, что для оконного блока №1 при температуре наружного воздуха -25 °С температура на внутренней поверхности нижнего бруска рамы опускалась ниже нормативных значений, определяемых согласно п. 5.7 СП 50.13330 (см. рисунок 2). Для оконных блоков № 2 и №3 данное явление наблюдалось уже при температуре наружного воздуха -45°С и -50 °С соответственно. Причиной нарушения теплозащитных качеств испытанных оконных блоков являются деформации их профильных элементов (рам, створок), а также снижение эластичности уплотнительных прокладок под действием отрицательных температур наружного воздуха.

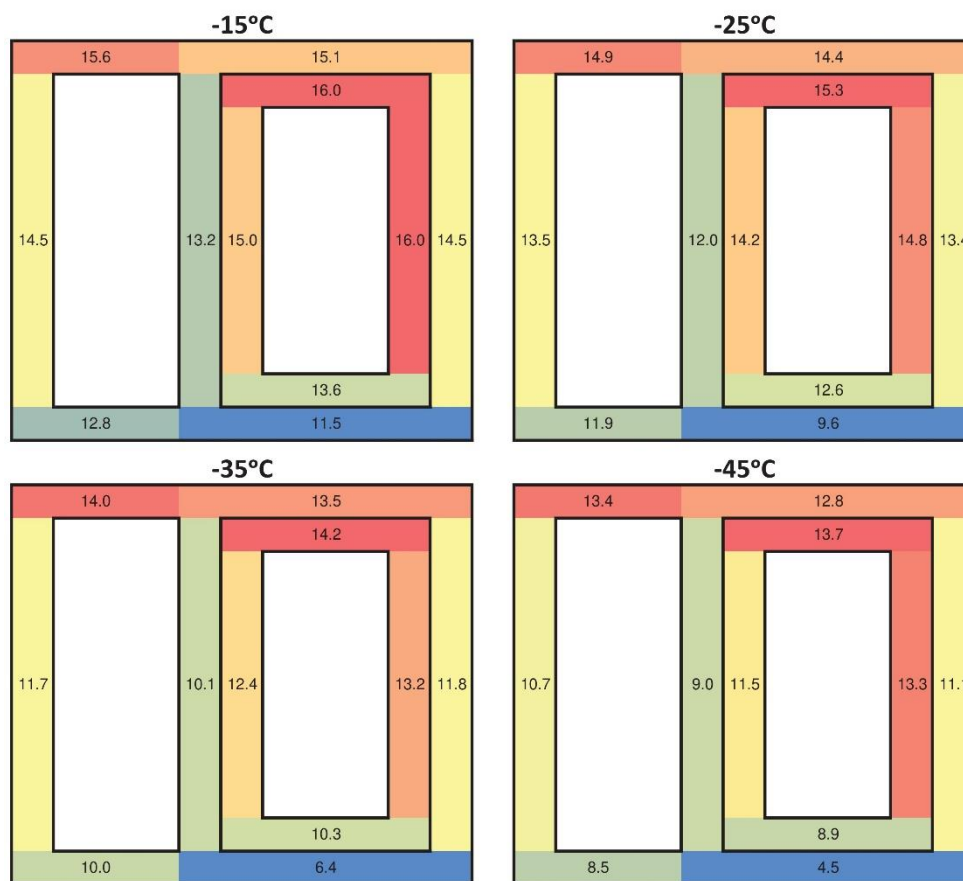


Рисунок 2 – Распределение температур на внутренней поверхности профильных элементов оконного блока №1 при различных температурах наружного воздуха

В тоже время, расчет указанного узла (для оконного блока 1) в программном комплексе численного моделирования двухмерных температурных полей Flixo 6 показал, что нормируемая температура на внутренней поверхности нижнего бруска оконного блока обеспечивается (см. рисунок 3). Исходя из этого можно говорить о том, что применяемые в настоящее время в инженерной практике численные методы расчета двухмерных температурных полей узлов примыкания оконных блоков к проемам наружных стен могут использоваться только для качественной оценки проектных решений [17]. Это связано с использованием упрощенной модели расчета, не учитывающей как изменение геометрии профильных элементов оконных блоков и эксплуатационных характеристик применяемых материалов (эластичности уплотнительных прокладок, прочностных характеристик ПВХ и пр.), так и инфильтрацию воздуха через технологические отверстия, а также неплотности, появляющиеся при воздействии температурных перепадов.

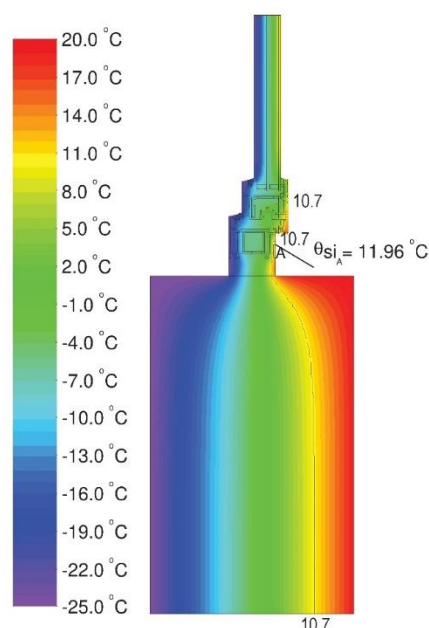


Рисунок 3 – Результаты расчета двумерных температурных полей нижнего узла примыкания оконного блока №1

ПВХ профилей, измеренная при отрицательных температурах наружного воздуха, в большинстве случаев оказалась ниже нормируемых значений ($5,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) для ПВХ согласно таблице 9 СП 50.13330) (см. таблицу 2). При этом измерения проводились при перепаде давлений 50 Па ввиду того, что при перепаде давления 10 Па, для которого назначается нормированное значение поперечной воздухопроницаемости окон согласно методике СП 50.13330, воздухопроницаемость оконных блоков была близка к нулевому значению.

Таблица 1 – Результаты определения деформаций импоста оконного блока №1 при различных температурах наружного воздуха и значениях ветрового давления

Температурные деформации импоста оконного блока при различных температурах воздуха в «холодном» отсеке				
T=-5 °C	T=-15 °C	T=-25 °C	T=-35 °C	T=-45 °C
0,92	1,39	1,67	2,30	2,66
Деформации импоста оконного блока при различных значениях ветрового давления и температуре T=20°C				
ΔP=500 Па	ΔP=750 Па	ΔP=900 Па	ΔP=1200 Па	ΔP=1500 Па
0,98	1,46	1,75	2,33	2,90

Таблица 2 – Результаты определения поперечной воздухопроницаемости оконных блоков, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, при перепаде давления воздуха 50 Па и различных температурах воздуха в «холодном» отсеке климатической камеры

Оконный блок №1				
T=+20°C	T=-5°C	T=-15°C	T=-25°C	T=-35°C
0,36	2,52	5,08	5,38	7,00
Оконный блок №2				
T=+20°C	T=-5°C	T=-15°C	T=-25°C	
0,18	1,65	2,53	3,50	
Оконный блок №3				
T=+24°C	T=0°C	T=-20°C	T=-28°C	T=-50°C
0,06	1,09	2,55	3,43	4,97

Дополнительным фактором, влияющим на сходимость расчетных и экспериментальных результатов, может быть отличие коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности, принимаемого в расчетной модели от реальных значений, существенно зависящих от геометрии узла примыкания.

Измерения температурных деформаций импостов оконных блоков при различных температурах наружного воздуха показали, что они могут достигать существенных значений, сопоставимых с деформациями от ветровой нагрузки (см. таблицу 1). Исходя из этого можно сделать вывод, что применяемый в настоящее время в инженерной практике подход к расчету жесткостных показателей импостов оконных блоков, учитывающий действие только ветрового давления [18,19], нуждается в корректировке.

Фактическая поперечная воздухопроницаемость испытуемых оконных блоков из

Учитывая тот факт, что в существующей инженерной практике воздухопроницаемость оконных блоков определяют в большинстве случаев начиная с испытательного давления 50 Па, авторы считают целесообразным проведение корректировки нормативных значений и алгоритмов расчета воздухопроницаемости оконных блоков в существующей методике СП 50.13330 под этим перепад давления.

Выводы

Лабораторные исследования теплотехнических характеристик современных оконных блоков ПВХ при отрицательных температурах наружного воздуха в диапазоне от -5 °С до -50 °С, соответствующих большинству климатических регионов РФ, также сравнение полученных результатов с требованиями действующих нормативных документов показали следующее:

1. Фактическая поперечная воздухопроницаемость современных оконных блоков из ПВХ профилей, изготовленных с учетом рекомендаций производителей профильных элементов и фурнитуры, определенная при отрицательных температурах наружного воздуха не превысила нормируемых значений СП 50.13330. Поэтому, учитывая текущие тенденции по повышению нормируемых значений приведенного сопротивления теплопередаче окон, а также существующий уровень развития оконных технологий, необходимо также повышать требования к сопротивлению воздухопроницанию окон.

2. Воздухопроницаемость оконных блоков из ПВХ профилей не является постоянной характеристикой, и увеличивается при понижении температуры наружного воздуха (воздухопроницаемость испытанных оконных блоков, измеренная при температуре наружного воздуха соответственно +20 и -25 °С увеличилась в абсолютном значении не менее чем в 15 раз.) Поэтому в действующую методику расчета инфильтрационных потерь через окна, регламентируемую СП 50.13330, и базирующуюся на применении данных о воздухопроницаемости окон при стандартных условиях (+20 °С) необходимо вносить коррективы. Использование новой методики расчета воздухопроницаемости окон, соответствующей реальной физической модели их работы при отрицательных температурах наружного воздуха, позволит увеличить точность проводимых расчетов.

3. Температурные деформации профильных элементов оконных блоков из ПВХ профилей под действием отрицательных температур наружного воздуха значительно снижают теплозащитные качества подобных конструкций. Лабораторные испытания показали, что при формальном обеспечении требований по приведенному сопротивлению теплопередаче оконных блоков их теплозащитные качества были нарушены. Это выразалось в снижении температуры внутренних поверхностей оконных профилей ниже нормируемых значений вследствие их температурных деформаций. В целях исключения подобных ситуаций на практике необходимо разрабатывать и использовать в инженерной практике методы расчета температурных деформаций оконных профилей.

4. Температурные деформации профильных элементов ПВХ, вызванные действием отрицательных температур наружного воздуха, сопоставимы с их деформациями от действия ветровой нагрузки, что говорит о необходимости уточнения существующих методик статического расчета оконных блоков из ПВХ профилей.

Благодарности

Авторы работы выражают глубокую признательность инженеру испытательного центра «Фасады СПК» ФГБУ НИИСФ РААСН Брызгалину В.В. за помощь в организации и проведении лабораторных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борискина И.В., Щуров А.Н., Плотников А.А. Окна для индивидуального строительства. Москва: Функэ Рус. 2013. 320 с.
2. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Выбор. 2008. 360 с.
3. Борискина И.В., Шведов Н.В., Плотников А.А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий. Справочник проектировщика. Том II Оконные системы из ПВХ. Санкт-Петербург: НИУПЦ «Межрегиональный институт окна». 2005. 320 с.
4. Константинов А.П., Ибрагимов А.М. Комплексный подход к расчету и проектированию светопрозрачных конструкций // Жилищное строительство. 2019. № 1-2. С. 14-17.
5. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 1. Зимние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 1-2. С. 6-9.
6. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 2. Летние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 3. С. 12-15.
7. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 3. Интенсивность прямого солнечного излучения // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 4. С. 34-38.
8. Елдашов Ю.А., Сесюнин С.Г., Ковров В.Н. Экспериментальное исследование типовых оконных блоков на геометрическую стабильность и приведённое сопротивление теплопередаче от действия тепловых нагрузок // Вестник МГСУ. 2009. №3. С. 146-149.
9. Шеховцов А.В. Воздухопроницаемость оконного блока из ПВХ профилей при действии отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 263-269.
10. Верховский А.А., Зимин А.Н., Потапов С.С. Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 16-19.
11. Власенко Д. Зима неизбежна. Из окон снова будет дуть. Исследование воздухопроницаемости металлопластикового оконного блока при воздействии отрицательных наружных температур // Светопрозрачные конструкции. 2010. № 4.
12. Кунин Ю.С., Алекперов Р.Г., Потапова Т.В. Зависимость воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций от температурных воздействий. // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 114-120.
13. Константинов А.П., Верховский А.А. Воздухопроницаемость современных оконных блоков из ПВХ и алюминия // Жилищное строительство. 2019. № 4. С. 39-45.
14. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6(65). С. 182-187.
15. Сайфутдинова А.М., Куприянов В.Н. Качественные характеристики воздухообмена жилых помещений и их зависимость от объемно-планировочных и конструктивных решений зданий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. №1 (27). С. 113-118.
16. Умнякова Н.П., Верховский А.А. Оценка воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2013. № 5. С. 48-53.
17. Козлов В.В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей. Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62-74.
18. Константинов А.П. Вопросы расчета оконных блоков из ПВХ на ветровую нагрузку // Перспективы науки. 2018. № 1 (100). С. 26-30.
19. Konstantinov A., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings. E3S Web of Conferences. 2018. Volume 33. 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302025

REFERENCES

1. Boriskina I.V., Shchurov A.N., Plotnikov A.A. Okna dlya individual'nogo stroitel'stva [Windows for individual construction]. Moscow: Funke Rus. 2013. 320 p. (rus)
2. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zaharov A.V. Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskih zdaniy. Uchebnoe posobie [Design of modern window systems for civil buildings. Text book]. Sankt-Peterburg: Vyor. 2008. 360 p. (rus)
3. Boriskina I.V., Shvedov N.V., A. Plotnikov A.A. Sovremennyye svetoprozrachnyye konstrukcii grazhdanskih zdaniy. Spravochnik proektirovshchika. Tom II Okonnyye sistemy iz PVH [Modern translucent structures of civil buildings. Handbook of the designer. Volume II PVC Window systems]. Sankt-Peterburg: NIUPC «Mezhregional'nyj institut okna». 2012. 320 p. (rus)
4. Konstantinov A.P., Ibragimov A.M. Kompleksnyj podhod k raschetu i proektirovaniyu svetoprozrachnykh konstrukcij [Complex approach to the calculation and design of translucent structures]. Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]. 2019. No.1-2, Pp. 14-17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17> (rus)

5. Kalabin V.A. Ocenka velichiny teplovoj deformacii PVH-profil'ya. Chast' 1. Zimnie poperechnye deformacii [Assessment of PVC profile thermal deformation. Part 1. Winter transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2013. No 1-2. Pp. 6-9. (rus)
6. Kalabin V.A. Ocenka velichiny teplovoj deformacii PVH-profil'ya. Chast' 2. Letnie poperechnye deformacii [Assessment of PVC profile thermal deformation. Part 2. Summer transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2013. No 3. Pp. 12-15. (rus)
7. Kalabin V.A. Ocenka velichiny teplovoj deformacii PVH-profil'ya. Chast' 3. Intensivnost' pryamogo solnechnogo izlucheniya [Assessment of PVC profile thermal deformation. Part 2. Summer transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2013. No 4. Pp. 34-38. (rus)
8. Eldashov Y.A., Sesyunin S.G., Kovrov V.N. Eksperimental'noe issledovanie tipovykh okonnykh blokov na geometricheskuyu stabil'nost' i privydyonnoe soprotivlenie teploperedache ot deystviya [Experimental study of typical window blocks on geometric stability and reduced resistance to heat transfer from the action of thermal loads]. *Vestnik MGSU*. 2009. No 3. Pp. 146-149. (rus)
9. Shekhovtsov A.V. Vozduhopronicaemost' okonnogo bloka iz PVH profilej pri deystvii otricatel'nykh temperatur [Air permeability of an PVC-window when exposed to freezing temperatures]. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3-1. Pp. 263-269. (rus)
10. Verkhovsky A.A., Zimin A.N., Potapov S.S. Primenimost' sovremennykh svetoprozrachnykh ograzhdayushchih konstrukcij dlya klimaticheskikh regio-nov Rossii [The applicability of modern translucent walling for the climatic regions of Russia]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6. Pp. 16-19. (rus)
11. Vlasenko D. Zima neizbezhna. Iz okon snova budet dut'. Issledovanie vozduhopronica-emosti metalloplastikovogo okonnogo bloka pri vozdeystvii otricatel'nykh naruzhnykh temperatur [Winter is inevitable. The Windows will blow again. Investigation of the air permeability of the metal-plastic window unit under the influence of negative external temperatures]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2010. No 4. (rus)
12. Kunin Y.S., Alekperov R.G., Potapova T.V. Zavisimost' vozduhopronicaemosti svetoprozrachnykh konstrukcij ot temperaturnykh vozdeystvij [Dependence of air permeability of translucent structures on temperature impacts]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2018. No 10. Pp. 114-120. (rus)
13. Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A. Vozduhopronicaemost' sovremennykh okonnykh blokov iz PVH i aluminiya [Air permeability of modern pvc and aluminum window blocks]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 4. Pp. 39-45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-4-39-45> (rus)
14. Datsyuk T.A., Grimitlin A.M. Vliyanie vozduhopronicaemosti ograzhdayushchih konstrukcij na energopotreblenie zhilykh zdaniy [The effect of the enclosing structure air permeability value on the energy consumption of residential building]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No 6(65). Pp. 182-187. (rus)
15. Sayfutdinova A.M., Kupriyanov V.N. Kachestvennye harakteristiki vozduhoobmena zhilykh pomeshchenij i ih zavisimost' ot ob'emno-planirovochnykh i konstruktivnykh reshenij [Qualitative characteristics of air exchange of premises and their dependence on space-planning and constructive solutions of buildings]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2014. No1 (27). Pp. 113-118. (rus)
16. Umnyakova N.P., Verkhovsky A.A. Ocenka vozduhopronicaemosti ograzhdayushchih konstrukcij zdaniya [Assessment of air permeability of building envelopes]. *AVOK: Ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2013. No. 5, pp. 48-53. (rus)
17. Kozlov V.V. Voprosy tochnosti rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache i temperaturnykh polej [Accuracy of calculation of the resistant resistance of heat transfer and temperature fields]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. Vol. 77. No. 3. Pp. 62-74. (rus)
18. Konstantinov A.P. Voprosy rascheta okonnykh blokov iz PVH na vetrovuyu nagruzku [Calculation of PVC window blocks for wind load]. *Perspektivy nauki*. 2018. No 1 (100). Pp. 26-30. (rus)
19. Konstantinov A., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings. E3S Web of Conferences. 2018. Volume 33. 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302025

Информация об авторах:

Константинов Александр Петрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия, канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений,
E-mail: apkonst@yandex.ru

Верховский Алексей Адольфович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Ограждающие конструкции высотных и уникальных зданий, руководитель испытательного центра «Фасады СПК»
E-mail: v2508@rambler.ru

Information about authors:

Konstantinov Aleksandr P.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., associated prof. of the dep. of design of buildings and structures
E-mail: apkonst@yandex.ru

Verkhovsky Aleksei A.

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., head of department «Tall and unique building envelope», head of testing center «Facades SPK»
E-mail: v2508@rambler.ru

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ЗДАНИЙ. ВЛИЯНИЕ УТЕПЛЕННОЙ ОТМОСТКИ

ЛЕВИН Е.В.¹, ОКУНЕВ А.Ю.^{1, 2}

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

²Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. В малоэтажном строительстве большое значение в тепловом балансе имеют тепловые потери в грунтовые основания. По ряду технических причин данный вопрос является недостаточно изученным. В работе предложена физико-математическая и численная методика расчета нестационарного теплопереноса, учитывающего годовые изменения температуры атмосферного воздуха. Предложена модель расчета теплопотерь в грунтовых водах. Численная модель основана на использовании явного двухшагового по времени высокоустойчивого конечно-разностного метода. Объектами проведенного исследования являются неотапливаемое и отапливаемое здание с фундаментом типа плита по грунту. Рассматривается влияние утепленной отмостки на температурное поле под зданием и теплопотери в грунт. Показана роль термического сопротивления отмостки и ее геометрического размера.

Ключевые слова: численное моделирование, температура, нестационарный теплоперенос, основание здания, отмостка.

HEAT TRANSFER IN SOIL FOUNDATIONS OF BUILDINGS. IMPACT OF INSULATED BLIND AREA

LEVIN E.V.¹, OKUNEV A.Yu.^{1, 2}

¹Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

²State University of Land Management, Moscow, Russia

Abstracts. In low-rise construction, heat losses to soil foundations are of great importance in the heat balance. For a number of technical reasons, this subject is not well understood. The paper proposes a physical-mathematical and numerical method for calculating unsteady heat transfer, which takes into account outside temperature year changing. A model for calculating heat losses in groundwater is proposed. The numerical model is based on the use of an explicit two-step-in-time, highly stable finite difference computational method. The objects of the study are unheated and heated building with a foundation like a slab on the ground. The effect of insulated blind area on the temperature field under the building and heat loss to the ground is considered. The role of thermal resistance of the blind area and its geometric size is shown.

Keywords: numerical simulation, temperature, unsteady heat transfer, building foundation, blind area.

Введение

В строительной отрасли достаточно большее внимание уделяется вопросам энергосбережения и механической устойчивости при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений. Отдельной строкой здесь проходят малоэтажные строительные объекты, к которым относятся многие производственные здания, складские сооружения, общественные здания (магазины, кинотеатры, офисы и др.), а также многоквартирные и малоквартирные жилые дома. Общей характеристикой малоэтажных строительных объектов является то, что у них площадь контакта здания с грунтовым основанием является заметно большей величиной по отношению к площади оболочки, контактирующей с наружным воздухом. По этой причине для таких зда-

ний теплопотери через основание могут составлять значительную долю от общих трансмиссионных теплопотерь и должны учитываться в общем тепловом балансе. Фундаменты малоэтажных зданий, как правило, являются мелкозаглубленными и малонагруженными, что может вызвать определенные механические проблемы за счет морозного пучения грунта при образовании под зданием отрицательной температуры в зимнее время. Отсюда возникает задача анализа теплопереноса в системе здание - грунтовое основание и к расчету всех необходимых параметров, включая конструкцию тепловой защиты элементов здания, контактирующих с основанием.

Решение подобной задачи встречается со многими физическими и математическими трудностями, которые связаны со сложной структурой грунтов и теплофизических процессов в них протекающих. Это, прежде всего, тепловые эффекты за счет фазовых переходов в воде, капиллярная и сезонная миграция воды, влияние грунтовых вод, в которых происходит конвективный унос тепла и, самое главное, нестационарность теплопереноса. Грунт является высокоинерционным аккумулятором тепла, подверженным сезонным и суточным нестационарным температурным воздействиям со стороны атмосферного воздуха. Существующие инструменты инженерного расчета теплопереноса в основаниях условно можно разбить на аналитические [1-6] и численные [7-12] методики. Первые из них удобны для применения на практике, но в силу того, что разработаны с использованием значительных упрощений при постановке решаемой задачи, дают оценочные результаты. Детально учесть нестационарность теплопереноса аналитические методики принципиально не дают возможности. Численные методики во многом устраняют проблемы, связанные с нестационарностью и сложностью теплопереноса, и на практике должны быть основным инструментом при проведении инженерных расчетов. Для того, чтобы ими можно было эффективно пользоваться предварительно должен быть выполнен цикл исследований, качественно показывающих основные закономерности теплопереноса и тепловых потерь, которые могут встречаться в системе здание - грунтовое основание [13-15].

Настоящая публикация посвящена части таких исследований, целью которых является показать, каким образом утепление поверхности грунта вблизи стен здания может повлиять на температурный режим под ним и на теплопотери в основание. Утепление может быть, как естественным (например, снежный или травяной покров), так и искусственным в виде отмостки с утепляющим слоем. Отмостка с утеплителем широко используется на практике, например, для фундаментов по типу плита на грунте [16].

В качестве объектов исследования выбраны неотапливаемое и отапливаемое здания на плитном фундаменте. Для неотапливаемого здания (здание в процессе строительства, реконструкции, склады, ангары и пр.) исследуется возможность исключения образования под фундаментом отрицательной температуры. Для отапливаемого здания анализу подлежат параметры отмостки, которые могут позволить заметно снизить теплопотери в грунтовое основание. Исследования выполнены с помощью постановки вычислительных экспериментов.

Метод исследования

В качестве метода исследования использовано проведение серии вычислительных экспериментов на основе численного решения краевой задачи нестационарного теплопереноса в ограниченной расчетной области, моделирующей грунтовое основание, находящееся под зданием, и участок открытого грунта вне здания. В общем случае рассматривается трехмерная пространственная задача. Предполагается, что под расчетной областью может находиться водоносный слой. В отдельных случаях для сокращения объема вычислительной работы задача сводится к двумерной (ширина - глубина) путем использования эффективной расчетной ширины здания в виде отношения внутренней площади перекрытия здания по основанию к полупериметру [17, 18].

В физико-математической модели теплоперенос в расчетной области грунтового основания описывается уравнением теплопроводности

$$c \frac{\partial T}{\partial t} + \operatorname{div}(-\lambda \operatorname{grad} T) = 0 \quad (1)$$

Здесь T – температура; t – время; c – удельная теплоемкость грунта; λ – коэффициент теплопроводности. В модели полагается, что грунт имеет слоистую структуру, в каждом слое которой c и λ могут оказаться различными, но постоянными постоянны, хотя для численного моделирования это не является принципиальным.

В качестве начального условия задается распределение температуры вглубь грунта, соответствующее распределению температуры в открытом грунте для климатических условий данной местности на время начала расчетов t_0

$$T(0, x) = T^*(t_0, x) \quad (2)$$

Распределение $T^*(t_0, x)$ получается как решение одномерной задачи нестационарного теплопереноса для периода времени в несколько десятков лет (в этом случае оно становится квазистационарным для годовых циклов и практически не будет зависеть от используемого начального условия). Достаточно просто его можно получить с помощью численных расчетов.

Граничные условия для краевой задачи имеют следующий вид:

$$T = \text{const} \quad (3)$$

- условие постоянства температуры. Может быть использовано для нижней границы расчетной области грунтового основания.

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (4)$$

- условие отсутствия (малости) потока тепла. Может быть использовано для боковых и нижней границы расчетной области грунтового основания.

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha (T(t)^{\text{out}} - T) \quad (5)$$

- условие непрерывности теплового потока для теплообмена с окружающей средой. Может быть использовано для наружной поверхности грунта вне здания, а также внутри здания на границах его элементов, контактирующих с грунтом. Здесь α – коэффициент теплоотдачи ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), T^{out} – температура воздуха, которая может меняться во времени.

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\alpha (T(t)^{\text{out}} - T)}{\alpha R + 1} \quad (6)$$

- условие, аналогичное (5) для теплозащищенной поверхности с термическим сопротивлением утепления R , ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. Под тепловой защитой подразумевается утепление элементов конструкции внутри здания или естественное образование тепловой защиты на поверхности грунта (снег, травяной покров и пр.).

Между слоями грунта с постоянными c и λ должно быть использовано граничное условие, соответствующее непрерывности теплового потока

$$\lambda_m \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_m^+ = \lambda_{m+1} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{m+1}^- \quad (7)$$

В модели на нижней границе основания, контактирующей с грунтовыми водами, используется граничное условие

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\bar{T}^w - T}{\bar{R}^w} \quad (8)$$

где

$$\bar{R}^w = \frac{2}{3\lambda^w} \sqrt{\frac{2a^w}{w}} L \quad (9)$$

- среднее по ширине основания термическое сопротивление водоносного слоя, \bar{T}^w – температура грунта в водоносном слое, λ – коэффициент теплопроводности грунта над водоносным слоем, λ^w – коэффициент теплопроводности грунта в водоносном слое, w – средняя по толщине плотность потока воды в водоносном слое ($\text{м}^3/\text{м}^2/\text{с}$), $a^w = \lambda^w / c^w$ – коэффициент температуропроводности водоносного слоя, c^w – удельная теплоемкость грунта в водоносном слое, L – характерный размер расчетной области в направлении движения воды. Температура \bar{T}^w в общем случае зависит от глубины. На практике на сравнительно небольших глубинах (например, для Московского региона для глинистых грунтов это 6-8 метров) температура \bar{T}^w уже практически постоянна и соответствует среднегодовой температуре наружного воздуха. Средняя величина плотности потока воды в грунтовых водах может находиться в пределах от 10^{-2} - 10^{-3} м/с – для песчаных и гравийных грунтов, до 10^{-10} - 10^{-14} м/с – для глинистых грунтов высокой степени уплотнения.

Для численного решения краевой задачи (1) – (8) используется явный двухшаговый по времени конечно-разностный метод, принцип построения которого поясняется уравнениями (10) и (11) на примере одномерного по координате уравнения теплопроводности и его конечно-разностной аппроксимации

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2}, \quad (10)$$

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^{n-1}}{2\Delta\tau} = \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta\eta^2} \approx \frac{T_{i+1}^n - (T_i^{n+1} + T_i^{n-1}) + T_{i-1}^n}{\Delta\eta^2}, \quad (11)$$

здесь $\tau = t / \tau^0$ – безразмерное время, $\eta = x / X$ – безразмерная координата, $\tau^0 = X^2 c / \lambda$ – масштаб времени, X – характерный размер расчетной области, n – номер шага по времени, i – номер узла на пространственной расчетной сетке.

В (11) первый вариант сеточной аппроксимации второй производной по координате соответствует явной схеме Рундсона, которая хоть и обладает вторым порядком точности, но является абсолютно неустойчивой [19] и для расчетов не годится. Второй, используемый в численной модели, вариант аппроксимации соответствует схеме «чехарда» (или, как ее называют по имени авторов – схеме Дюфорта-Франкеля) [19], которая является абсолютно устойчивой, т.е. расчеты могут проводиться с любыми по величине шагами по времени $\Delta\tau$ и пространству $\Delta\eta$. Порядок точности схемы Дюфорта-Франкеля определяется как

$$O(\Delta\tau^2, \Delta\eta^2, (\Delta\tau / \Delta\eta)^2), \quad (12)$$

т.е. является вторым по пространству и времени, но для обеспечения высокой точности дополнительно требует выполнения условия $\Delta\tau < \Delta\eta$. В целом схема Дюфорта-Франкеля при заданной точности имеет быстроедействие, в несколько раз превышающее быстроедействие наиболее часто используемой на практике явной одношаговой по времени схемы. Причем при решении трехмерной задачи ее преимущества увеличиваются.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим теперь результаты исследований теплопереноса, показывающие влияние утепленной отмостки на тепловой режим основания и теплопотери из здания. Во всех расчетах для упрощения анализа использовались параметры однородного по всей расчетной области глинистого грунта ($\lambda=1,5$ Вт/(м·°С), $c=10^6$ Дж/(м³·°С)). Под основанием на глубине 8-10 метров расположен водоносный слой, среднее термическое сопротивление (9) для которого составляет $\bar{R}^w=10^{-2}$ °С·м²/Вт. Такое термическое сопротивление может соответствовать сравнительно высокой плотности потока воды на уровне $w=10^{-2}$ – 10^{-3} м³/м²/с.

Принятые во всех расчетах колебания температуры наружного воздуха соответствовали плавному изменению среднемесячной температуры в Московском регионе и с помощью граничных условий (5) и (6) задавалась периодическая годовая нестационарность теплопереноса в основании. По истечении нескольких десятков расчетных лет нестационарность принимала вид периодически повторяющихся годовых колебаний температуры в толще грунта.

Неотапливаемое здание на плитном фундаменте.

Данное исследование предназначено для оценки температурного режима основания с целью определения степени защищенности фундамента от вероятного воздействия морозного пучения. Базовые расчеты проведены при высоком термическом сопротивлении утепления плиты $R_{п}=8 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$ (здание изначально проектируется к эксплуатации, как неотапливаемое, а теплозащита фундамента служит элементом защиты от морозного пучения) и расчетной ширине фундамента $B=8\text{ м}$. Из данных, приведенных на рисунке 1 а), видно, что в установившемся на 15-й год циклическом годовом колебательном температурном режиме под фундаментом вблизи его края в течение января-февраля может иметь место стабильное повторяющееся зимнее промерзание грунта. Размеры области отрицательных температур под фундаментом порядка полуметра в вертикальном и горизонтальном направлениях. В более ранние годы относительно начала расчетов локализация промерзания и его продолжительность имели больший масштаб. Пунктиром на графике отмечена наружная граница плиты фундамента. На кадрах: Y – номер года после начала расчетов, M – номер месяца в году. Расчеты начинаются с января. Температурное поле показано для правой полуширины основания на последний день каждого месяца.

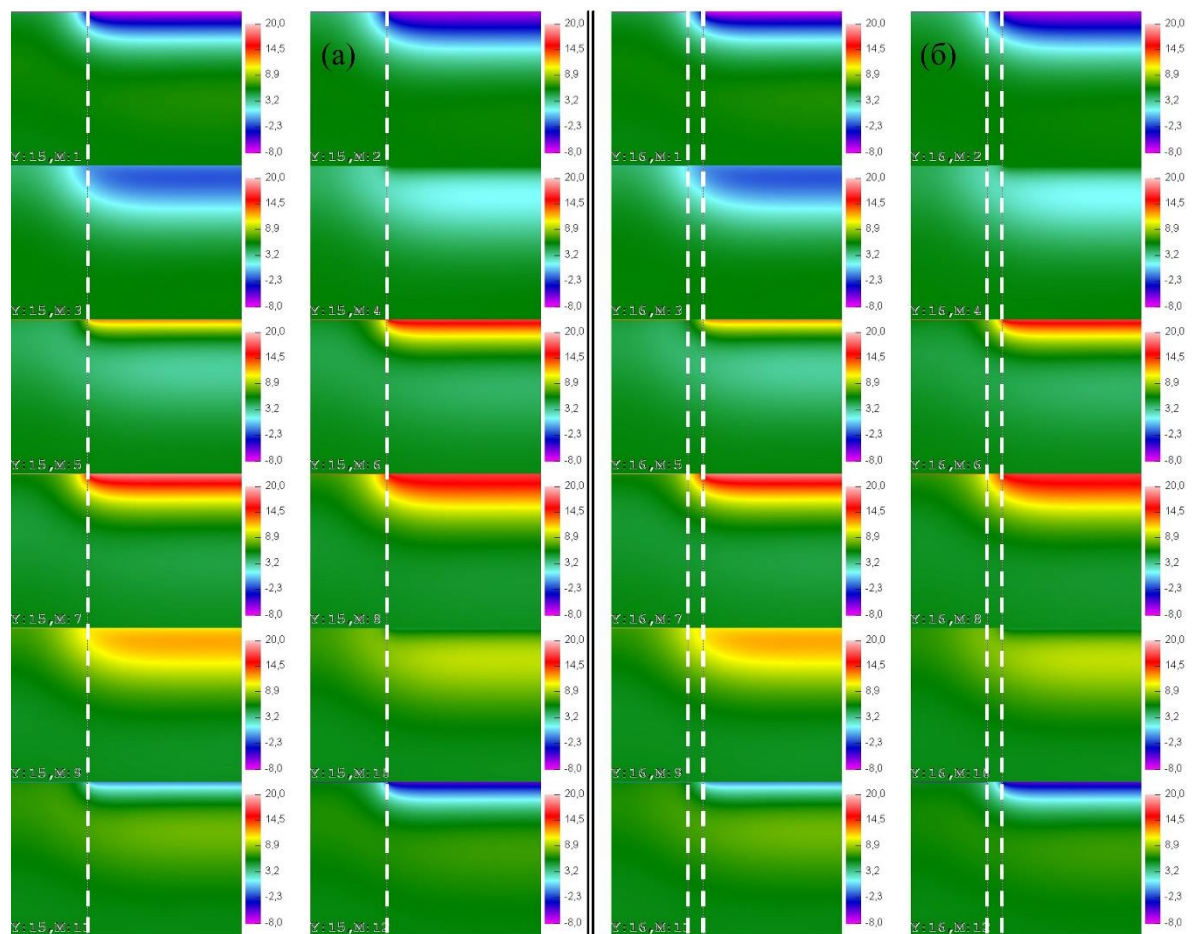


Рисунок 1 – Распределения температуры в основании под неотапливаемым плитным фундаментом:
а) - без утепленной отмостки, б) - с утепленной отмосткой

На рисунке 1 б) к фундаменту добавлена утепленная отмостка шириной 0,8м с термическим сопротивлением $R_o = 2 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$ (границы отмостки отмечены пунктирами). Результаты приведены для 16-го года эксплуатации (появление отмостки увеличило инерционность установления повторяющегося колебательного изменения температуры на один год). Видно, что такое решение позволяет фактически исключить отрицательные температуры под плитой самого фундамента и вероятное промерзание грунта под ним. Использование сравнительно небольшой механически не нагруженной как фундамент отмостки гораздо более проще в реализации, нежели обустройство непучинистой подушки под всем фундаментом.

На рисунке 2 приведены графики зависимости температуры под ребром фундаментной плиты от времени для различных вариантов утепления плиты и отмостки. Расчеты приведены для тех же условий, что и на рисунке 1, только изменяется термическое сопротивление утепления плиты. Отмостка, там, где она есть, имеет ширину 0,8м и термическое сопротивление $R_o = 2 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$. Термическое сопротивление утепления плиты приведено на графике в виде легенды. Закрашенные маркеры соответствуют плите с отмосткой, пустые – без отмостки. Приведенные на рис.2 данные соответствуют первым четырем годам эксплуатации неотапливаемого фундамента. В последующие годы могут наблюдаться только незначительные количественные различия.

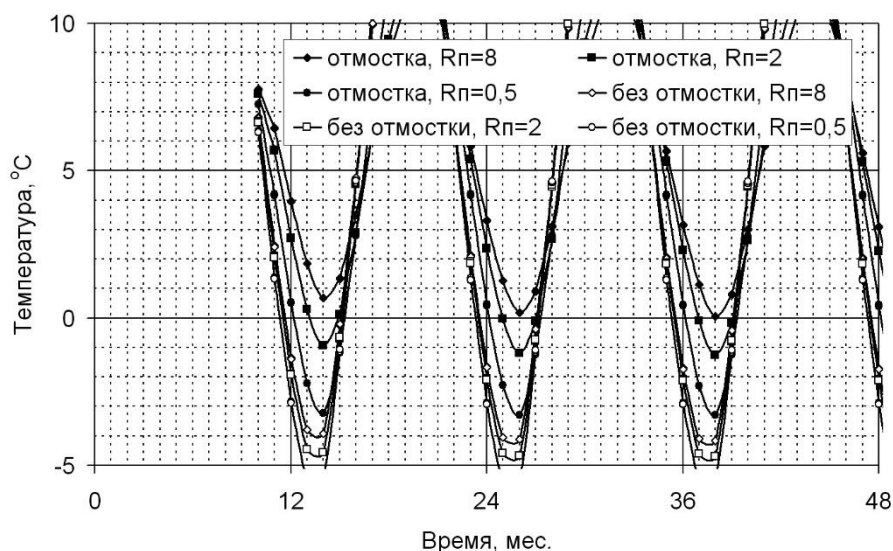


Рисунок 2 - Зависимость температуры под краем утепленной плиты от времени для различных вариантов утепления

Из рисунка 2 следует, что основное влияние на поддержание положительной температуры под плитой оказывает утепленная отмостка, обеспечивающая затруднение уноса тепла наружному воздуху из массива основания под зданием. Большое значение имеет и величина утепления самого фундамента, но, в принципе, для достижения поставленной цели термическое сопротивление отмостки может быть гораздо ниже, чем у фундамента. За счет утепления отмостки могут быть снижены требования к утеплению самого фундамента.

Рассмотрим теперь влияние отмостки, в том случае, когда здание на плитном фундаменте является отапливаемым. Как можно понять из вышеприведенных результатов, в этом случае за счет поступления тепла из самого здания вероятность промерзания грунта под фундаментом может быть практически исключена и вопрос только в том, каким образом наличие отмостки может сократить тепловые потери из здания в основание.

Отапливаемое здание на плитном фундаменте.

Рассмотрим теперь влияние отмостки на теплопотери в отапливаемом здании, также расположенном на плитном фундаменте. Температура в здании в течение всего времени поддерживается постоянной $+20^\circ\text{C}$. Остановимся на варианте, когда плитный фундамент является

неутепленным. В этом случае роль утепленной отмостки может оказать наибольшее влияние на величину теплопотерь. Расчетная ширина здания B составляет 14 метров, а ширина расчетной области по грунту – 40 метров. Толщина стен здания – 0,25 м. Унос тепла через пол происходит в грунтовые воды и в воздух над поверхностью грунта и отмосткой. Поверхность грунта задается неутепленной (отсутствие снежного или травяного покрова), а отмостка может иметь различное утепление с термическим сопротивлением R_o °С·м²/Вт и различную ширину L_o . В представленных результатах ширина отмостки задается отношением $\eta = L_o / B$.

На рисунке 3 представлены графики зависимости средних теплопотерь q , Вт/м, отнесенных к единице длины пола первого этажа, от времени и термического сопротивления утепления отмостки R_o . В расчетах относительная ширина отмостки составила $\eta=0,071$. Время представлено в годах относительно начала отопления здания (октябрь месяц первого года). Из приведенных данных средняя плотность теплового потока на единицу площади (Вт/м²) вычисляется делением на расчетную полуширину здания (для данного примера – 7 метров). Десятилетний цикл, показанный на графиках, показывает следующие особенности теплопереноса в рассматриваемом примере:

- периодически повторяющиеся годовые циклы изменения теплопотерь наступают примерно на третий год эксплуатации отопительной системы здания. Причем, утепленная отмостка позволяет сократить этот период примерно на год. Данное обстоятельство может быть учтено при проектировании эксплуатационных характеристик отопительных систем первого этажа;
- утепление отмостки приводит к значительному, примерно на 30%, сокращению теплопотерь в зимнее время и практически не влияет на теплопотери в летнее время;
- требуемая величина термического сопротивления утепления отмостки незначительна и составляет примерно $R_o \approx 0,5$ °С·м²/Вт. Например, при использовании влагостойкого утеплителя с коэффициентом теплопроводности на уровне $\lambda \approx 0,05$ Вт/(м·°С) его толщина составит 2,5 см. Дальнейшее увеличение R_o в случае неутепленной плиты по грунту дает малый эффект.

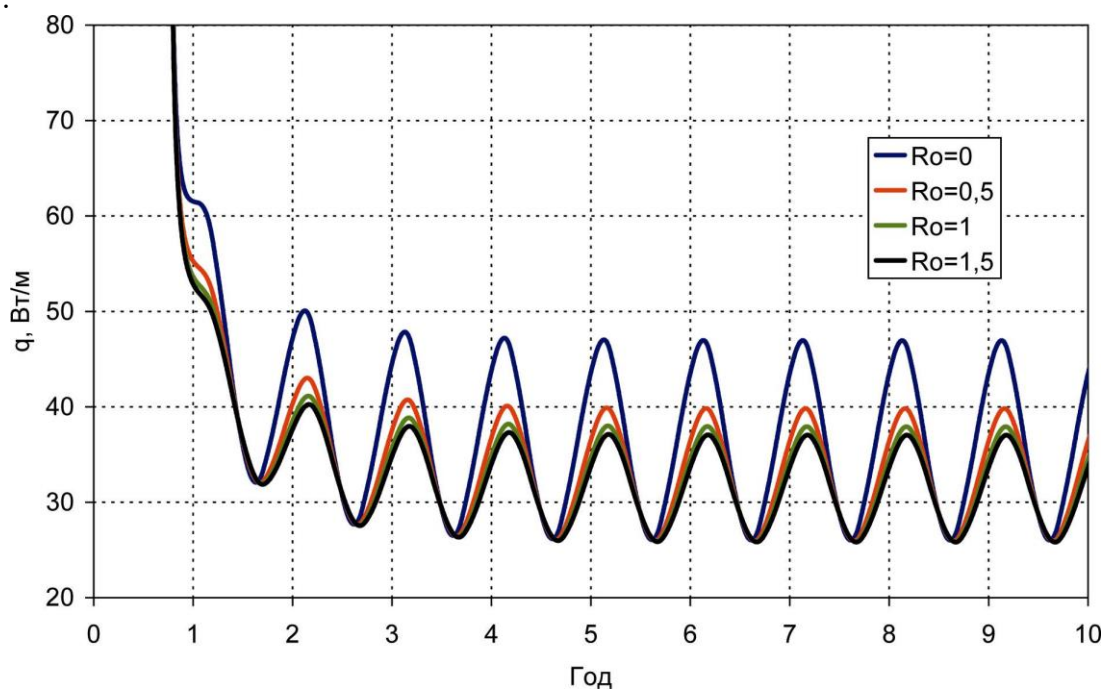


Рисунок 3 – Зависимость средней линейной плотности теплопотерь, отнесенных к единице длины пола здания от времени и термического сопротивления утепления отмостки

Рассмотрим теперь, какую роль в снижении теплопотерь играют геометрические размеры утепленной отмостки, а именно, ее ширина. В качестве критерия эффективности отмостки используем отношение количества тепловой энергии, уходящей на единицу площади пола первого этажа U (кВт·ч/м²) за отопительный период, к ее количеству U_0 , когда утепленная отмостка отсутствует. В графических материалах используется 13-й год после подачи отопления, на который годовые циклы для тепловых потоков внутри основания являются практически повторяющимися (при условии годовой повторяемости температуры наружного воздуха).

На графиках рисунка 4 представлены результаты соответствующих расчетов в зависимости от относительной ширины отмостки $\eta = L_0 / B$ и для разных величин ее термического сопротивления R_0 .

Из приведенных данных можно сделать вывод, что в рассмотренном случае достаточно эффективной является сравнительно узкая отмостка с шириной, составляющей порядка 5% от ширины здания. В этом случае достигается самое заметное снижение теплопотерь через пол (порядка 15%), причем сам эффект достаточно слабо зависит от термического сопротивления отмостки, и, как это также было показано в примере на рисунке 3, может быть получен при низком термическом сопротивлении на уровне $R_0 \approx 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$.

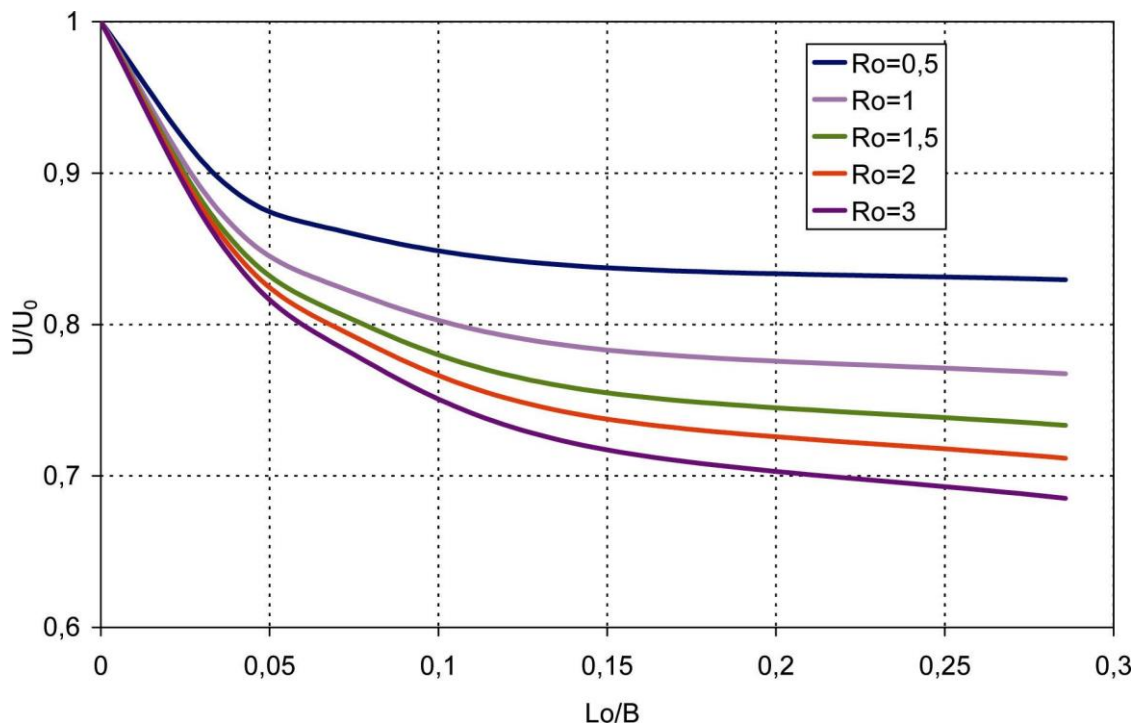


Рисунок 4 – Зависимость теплопотерь в основание за отопительный период от относительной ширины отмостки и термического сопротивления ее утепления

Увеличение ширины отмостки может привести к дальнейшему снижению теплопотерь, но для этого понадобится ее дополнительное утепление, что на практике может быть сопряжено с определенными техническими проблемами.

Рассмотренные тепловые процессы в основании здания при наличии утепленной отмостки явно положительно влияют на сокращение тепловых потерь. При этом возникает вопрос: а, что, если полученные результаты применить не к отмостке, а к естественному утеплению грунта вокруг здания за счет снега, а отмостку не возводить? Теоретически это возможно и в некоторой мере обосновано, тем более, снежный покров может обладать термическими свойствами, близкими к полученным в результате настоящего исследования [20]. Единственным недостатком «естественных» утеплителей является их нестабильность, в т.ч. возможность

полного отсутствия или деградации за счет теплопотуплений. Искусственная отмостка выполняет и другие функциональные назначения, тем более, как показано выше, ее обустройство (геометрические и теплотехнические параметры) не требует существенных затрат.

Выводы

1. С помощью постановки вычислительных экспериментов показано, что утепленная отмостка вокруг неотапливаемого здания позволяет снизить вероятность образования отрицательных температур грунта под его плитным фундаментом. За счет утепления отмостки могут быть существенно снижены требования к утеплению фундамента.

2. Для отапливаемого здания утепленная отмостка в зимнее время позволяет до 30% снизить текущие тепловые потери в грунтовое основание, эффект достигается и при сравнительно небольшом утеплении отмостки с термическим сопротивлением на уровне $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$.

3. В отапливаемом здании с использованием утепленной отмостки тепловые потери в грунт за отопительный период могут быть снижены на величину порядка 15% и более, при этом ширина отмостки может быть сравнительно небольшой, на порядок меньше ширины здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачинский В. Д. Теплопередача в строительстве. М. – Л.: Госстройиздат, 1939. 343 с.
2. Власов О.Е. Основы строительной теплотехники. М.: Издание военно-инженерной академии РККА, 1938. 96 с.
3. Сотников А.Г. Теплофизический расчет теплопотерь подземной части зданий // Теплоэнергоэффективные технологии. 2010. № 4. С. 23-28.
4. Anderson B.R. Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor // Building and Environment. 1991. Vol. 26. Pp. 405-415.
5. Hagentoft, C.E. Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow – I. Infinite ground water flow rate // Building and Environment. 1996. Vol. 31. Pp. 3-11.
6. Hagentoft C.E. Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow – II. Finite ground water flow rate // Building and Environment. 1996. Vol. 31. Pp. 13-19.
7. Wang F.S. Mathematical modelling and computer simulation of insulation systems in below grade applications // Proceedings of the ASHRAE/DOE-ORNL conference on the Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings. 1979. December 3- 5, Orlando, Florida, USA.
8. Walton G.N. Estimating 3-D heat loss from rectangular basements and slabs using 2-D calculations // ASHRAE Transactions. 1987. Vol. 93. Pp. 791-797.
9. Макаревич С.А. Краевые условия и потери теплоты через полы и заглубленные части зданий // "Изв.вузов. Энергетика". Минск: 1990. – С.10.
10. Adjali M.H., Davies M., Rees S.W. and Littler J. Temperatures in and under a slab-on-ground floor: two- and three-dimensional numerical simulations and comparison with experimental data // Building and Environment. 2000. Vol. 35. Pp. 655-662.
11. Janssen H., Carmeliet J., Hens H. The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground // Building and Environment. 2004. Vol. 39. Pp. 825– 836.
12. Вабищевич П.Н., Варламов С.П., Васильев В.И., Васильева М.В., Степанов С.П. Численное моделирование температурного поля многолетнемерзлого грунтового основания железной дороги // Матем. Моделирование. 2016. Т. 28, № 10. С. 110–124.
13. Ершов И.О. Методические вопросы расчета сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, находящихся ниже уровня земли // Строительство и реконструкция. 2016. №3(65), С. 109-112.
14. Окунев А.Ю., Левин Е.В. Методы расчета теплопотерь через основания зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 25–28.
15. Окунев А.Ю., Левин Е.В., Шагинян К.С. Исследование теплопереноса в основании здания с неотапливаемым подвалом // Строительство и реконструкция. 2017. №3 (71). С. 75–80.
16. СТО 72746455-4.2.1-2013 ООО "ТехноНИКОЛЬ–Строительные Системы" Мелкозаглубленные плитные фундаменты. Проектирование и устройство мелкозаглубленных плитных фундаментов типа "Утепленная шведская плита". – М: 2013. 32 с.
17. European Committee for Standardization. Thermal Performance of Buildings–Heat Transfer Via the Ground–Calculation Methods. European Standard EN ISO 13370. Second edition. 2007-12-15.

18. Anderson B.R. 1991. Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor // *Building and Environment*. 1991. Vol. 26. Pp. 405-415.
19. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. Пер. с англ. М. : Мир. 1980. – 616 с.
20. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Чернов Р.А. Влияние стратиграфии снежного покрова на его термическое сопротивление // *Лёд и снег*. 2013. №3 (123). С.64-70.

REFERENCES

1. Machinsky V.D. *Teploperedacha v stroitelstve* [Heat transfer in construction]. Moscow – Leningrad: Gostroyizdat. 1939. 343 p. (rus)
2. Vlasov O.E. *Osnovy stroitelnoy teplotekhniki* [Basics of building heat engineering]. Moscow: Publication of the Military Engineering Academy of the Red Army. 1938. 96 p. (rus)
3. Sotnikov A.G. *Teplofizicheskiy raschet teplopoter podzemnoy chasti zdaniy* [Thermophysical calculation of heat loss of the underground part of buildings]. *Teploenergoeffektivnye tekhnologii*. 2010. No 4. S. 23-28. (rus)
4. Anderson B.R. Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor. *Building and Environment*. 1991. Vol. 26. Pp. 405-415.
5. Hagentoft, C.E. Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow – I. Infinite ground water flow rate. *Building and Environment*. 1996. Vol. 31. Pp. 3-11.
6. Hagentoft C.E. Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow – II. Finite ground water flow rate. *Building and Environment*. 1996. Vol. 31. Pp. 13-19.
7. Wang F.S. Mathematical modelling and computer simulation of insulation systems in below grade applications . Proceedings of the ASHRAE/DOE-ORNL conference on the Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings. 1979. December 3- 5, Orlando, Florida, USA.
8. Walton G.N. Estimating 3-D heat loss from rectangular basements and slabs using 2-D calculations. *ASHRAE Transactions*. 1987. Vol. 93. Pp. 791-797.
9. Makarevich S.A. *Kraevnye usloviya i poteri teploty cherez poly v zaglublennyye chasty zdaniy* [Boundary conditions and heat losses through the floors and buried parts of buildings]. *News of Universities. Energy*. 1990. P.10. (rus)
10. Adjali M.H., Davies M., Rees S.W. and Littler J. Temperatures in and under a slab-on-ground floor: two- and three-dimensional numerical simulations and comparison with experimental data. *Building and Environment*. 2000. Vol. 35. Pp. 655-662.
11. Janssen H., Carmeliet J., Hens H. The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground. *Building and Environment*. 2004. Vol. 39. Pp. 825– 836.
12. Vabishevich P.N., Varlamov S.P., Vasil'eva M.V., Stepanov S.P. *Chislennoye modelirovaniye temperaturnogo pol'ya mnogoletnemernozhogo gruntovogo osnovaniya zheleznoy dorogi* [Numerical simulation of the temperature field of the permafrost soil foundation of the railway]. *Matematicheskoye modelirovaniye*. 2016. №10 (28). Pp. 110-124. (rus)
13. Ershov I.O. *Metodicheskie voprosy rascheta soprotivleniya teploperedache ograzhdayuschikh konstruktsiy, nakhod'aschikhs'ya nizhe urovn'ya zemli* [Methodical issues of calculating the resistance to heat transfer enclosing structures that are below ground level]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2016. No 3 (65). S. 109-112. (rus)
14. Okunev A.Yu., Levin E.V. *Metody rascheta teplopoter cherez osnovaniya zdaniy i soorizheniy* [Methods of calculating heat losses through the bases of buildings and structures]. *Zhilyshnoye stroitel'stvo*. 2016. No 6. Pp. 25-28. (rus)
15. Okunev A.Yu., Levin E.V., Shaginyan K.S. *Issledovaniye teploperenosa v osnovanii zdaniya s neotaplivayemym podvalom* [Study of heat transfer in the basement of a building with an unheated underground floor]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No 3 (71). Pp. 75-80. (rus)
16. STO 72746455-4.2.1-2013 «TechnoNICOL – Building Systems» Ltd. Shallow-depth slab foundations. Design and construction of shallow-depth slab foundations of the type "Insulated Swedish slab". Moscow, 2013. 32 p. (rus)
17. European Committee for Standardization. *Thermal Performance of Buildings–Heat Transfer Via the Ground–Calculation Methods*. European Standard EN ISO 13370. Second edition. 2007-12-15.
18. Anderson B.R. 1991. Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor. *Building and Environment*. 1991. Vol. 26. Pp. 405-415.
19. Roache P. *Vichislitel'naya gidrodinamika* [Computational fluid dynamics]. Transl. from Engl. Moscow: Mir. 1980. 616 p. (rus)
20. Osokin N.I., Sosnovsky A.V., Chernov R.A. *Vliyanie stratigrafii snezhnogo pokrova na ego termicheskoye soprotivleniye*. *Led i sneg*. 2013. No 3 (123). Pp.63-70 (rus)

Информация об авторах:

Левин Евгений Владимирович

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия,
кандидат физ.-мат. наук, доцент, главный научный сотрудник

E-mail: aqwsrv@list.ru

Окунев Александр Юрьевич

ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия,
кандидат физ.-мат. наук

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия,
главный научный сотрудник, доцент

E-mail: okunevay@gmail.com

Information about authors:

Levin Evgeny V.

Research Institute of Building Physics of RAACS (NIISF RAACS), Moscow, Russia,
candidate in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher,

E-mail: aqwsrv@list.ru

Okunev A.Yu.

candidate in Physical and Mathematical Sciences

Research Institute of Building Physics of RAACS (NIISF RAACS), Moscow, Russia, Chief Researcher,
FGBOU VO State University of Land Management, Moscow, Russia,
Associate Professor

E-mail: okunevay@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОСТАВЕ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ

ПАСТУШКОВ П.П.¹, ПАВЛЕНКО Н.В.²

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Аннотация. Для моделирования условий эксплуатации основных видов теплоизоляционных материалов в составе различных фасадных систем был разработан и смонтирован экспериментальный стенд. Проведены отборы проб теплоизоляционных материалов для установления эксплуатационной влажности после летнего периода и в поздний осенний период года в начале отопительного периода. Показано, что моделирование подтопления в зоне стыка стены с грунтом, значительно сказывается на значениях и характере распределения эксплуатационной влажности внутри слоев утеплителя. По мониторингу параметров, определяющих теплозащитные свойства ограждающих конструкций, сделан вывод о том, что грунт в зоне сопряжения со стеной в результате промерзания в холодный период года не улучшает теплозащитных характеристик ограждающей конструкции, поэтому эта зона конструкции требует утепления. Подтверждена правильность внесенных изменений в нормативные документы, касающихся исследованных вопросов.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, фасадная система, эксплуатационные условия, эксплуатационная влажность, сопротивление теплопередаче

MODELING OF THE CONDITIONS OF OPERATION OF THERMAL INSULATION MATERIALS IN THE COMPOSITION OF FACADE SYSTEMS

PASTUSHKOV P.P.¹, ZHEREBCOV A.V.²

¹Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. To simulate the operating conditions of the main types of heat-insulating materials as part of various facade systems, an experimental stand was designed and installed. Sampling of heat-insulating materials was carried out to establish the operating humidity after the summer period and in the late autumn period of the year at the beginning of the heating period. It is shown that the modeling of flooding in the zone of the wall joint with the ground, significantly affects the values and nature of the distribution of operating humidity inside the insulation layers. By monitoring the parameters that determine the heat-shielding properties of the enclosing structures, it was concluded that the soil in the interface zone with the wall as a result of freezing in the cold period of the year does not improve the thermal protection characteristics of the building barrier, therefore this design zone requires insulation. Confirmed the correctness of the changes in the regulatory documents relating to the studied issues.

Keywords: thermal insulation materials, facade system, operating conditions, operating humidity, heat transfer resistance

Введение

В рамках НИОКР «Разработка методик прогнозирования эксплуатационных теплофизических показателей для определения коэффициентов условий эксплуатации теплоизоляционных материалов в составе ограждающих конструкций зданий» лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН проведен комплекс натурных исследований эксплуатационных

свойств различных типов теплоизоляционных материалов в составе фасадных систем. Для этого был разработан и смонтирован экспериментальный стенд, моделирующий условия эксплуатации основных видов теплоизоляционных материалов: минеральной ваты, формованного и экструзионного пенополистирола в составе различных фасадных систем: в системе со скрепленной теплоизоляцией и тонким штукатурным слоем (СФТК) и в навесной фасадной системе с вентилируемой прослойкой (НФС).

В процессе проведения эксперимента из фасадных систем в разные периоды года проводился отбор проб использованных типов теплоизоляционных материалов с целью установления эксплуатационной влажности [1] и теплопроводности. Также в отопительный период проводился мониторинг в режиме круглосуточной автоматической записи следующих параметров, определяющих теплозащитные свойства ограждающих конструкций: температуры на внутренней поверхности в разных зонах (в том числе в зоне сопряжения с грунтом), теплового потока через различные участки (с различными смонтированными с внешней стороны системами утепления и при отсутствии внешнего утепления), температуры воздуха на улице и внутри помещения. По полученным экспериментальным данным были проведены расчеты сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающих конструкций с различными типами эффективных утеплителей и анализ изменения сопротивления теплопередаче в процессе эксплуатации.

Настоящая статья посвящена описанию результатов проведенного комплекса исследований.

Описание эксперимента

Для моделирования условий эксплуатации основных видов теплоизоляционных материалов в составе различных фасадных систем на стене акустического корпуса НИИСФ РААСН был смонтирован экспериментальный стенд. Стена акустического корпуса представляет собой кладку из силикатного кирпича толщиной 510 мм. Для монтажа стенда был выбран фрагмент ограждающей конструкции, представляющий собой глухую стену с углом на южную и восточную стороны (рис. 1). За стеной находится зал акустических испытаний, отапливаемый в холодный период года, с параметрами микроклимата, соответствующими помещению общественного здания.



Рисунок 1 - Здание акустического корпуса до монтажа экспериментального стенда



Рисунок 2 - Экспериментальный стенд, смонтированный на стене акустического корпуса

Была разработана принципиальная схема экспериментального стенда – три фрагмента СФТК на южной стороне стены с разными типами утеплителей: минеральной ватой, формованным пенополистиролом (EPS) и экструдированным пенополистиролом (XPS), а также НФС с теплоизоляционным слоем из минеральной ваты, заходящая за угол на восточную сторону

здания. Экспериментальный стенд по устройству и используемым материалам полностью соответствовал современным фасадным системам [2]. Толщины слоев теплоизоляции были подобраны, исходя из нормативных значений приведенного сопротивления теплопередаче для жилых и общественных зданий в климатических условиях г. Москвы по СП 50.13330.2012 [3]: толщина минеральной ваты в СФТК и НФС – 150 мм, EPS в СФТК – 150 мм, XPS в СФТК – 120 мм. Также для СФТК была запроектирована специальная конструкция, которая на высоту 60 см от земли была заполнена грунтом со специальным лотком, наполняемым водой. Эта конструкция моделировала эксплуатацию теплоизоляционных фасадных систем ниже уровня грунта и подтопление водой в зоне стыка стены с грунтом в осенне-весенний период года. Для НФС был установлен лоток с водой, моделирующий подтопление в зоне стыка стены с грунтом в осенне-весенний период года (рис. 2).

Результаты исследований эксплуатационных показателей теплоизоляционных материалов

Были проведены отборы проб теплоизоляционных материалов после летнего периода (в первой половине сентября) и в поздний осенний период года в начале отопительного периода (в середине ноября). С середины сентября лоток с водой, моделирующий подтопление в зоне стыка стены с грунтом, смонтированный на конструкцию, заполненную грунтом, ежедневно наполнялся водой. Образцы из СФТК извлекались из зоны сопряжения грунта с теплоизоляцией – наиболее подверженной увлажнению в эксплуатационных условиях, из НФС – из нижнего слоя утеплителя, который при реальной эксплуатации также может подвергаться замачиванию. Для отбора проб лотки с водой были отодвинуты. При отборе всех типов теплоизоляционных материалов слой утеплителя условно делился на 3 части (внешняя – соприкасающаяся со штукатурным слоем, средняя, внутренняя – соприкасающаяся с кирпичной кладкой). Результаты натурных экспериментов по определению эксплуатационной влажности по методике из [4] теплоизоляционных материалов в различных фасадных системах после летнего периода представлены в табл. 1, в начале отопительного периода – в табл. 2.

Таблица 1 – Эксплуатационная влажность образцов теплоизоляционных материалов, отобранных из экспериментального стенда после летнего периода

Вид теплоизоляционного материала/ тип фасадной системы	Эксплуатационная влажность, w_z , %		
	внешняя часть	средняя часть	внутренняя часть
Минеральная вата/НФС	0,8	1,12	0,97
Минеральная вата/СФТК	0,60	0,79	0,72
EPS/СФТК	0,44	1,20	1,31
XPS/СФТК	0,69	0,83	0,53

Таблица 2 – Эксплуатационная влажность образцов теплоизоляционных материалов, отобранных из СФТК осенью

Вид теплоизоляционного материала	Эксплуатационная влажность, w_z , %		
	внешняя часть	средняя часть	внутренняя часть
Минеральная вата	3,04	0,73	1,53
EPS	8,56	1,52	1,19
XPS	1,30	1,23	1,08

Как видно, моделирование подтопления в зоне стыка стены с грунтом, которое может происходить в реальности, например, в результате проливных дождей перед началом отопительного периода, значительно сказалось на значениях и характере [5] распределения эксплуатационной влажности внутри слоев утеплителя. Для подтверждения полученных результатов по влиянию подтопления в зоне стыка стены с грунтом на эксплуатационную влажность разных типов теплоизоляционных материалов эксперимент с моделированием необходимо продолжить.

Результаты анализа показателей теплозащиты фасадных систем с применением различных типов теплоизоляционных материалов

Для определения сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающей конструкции [6] с разными типами смонтированных фасадных систем на внутренней поверхности стены были установлены датчики температур и тепловых потоков многоканального измерителя плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03. На каждом фрагменте ограждающей конструкции было закреплено по 2 датчика температуры и теплового потока – в нижней части конструкции (для СФТК заглубленной в грунт) и в средней части. Датчики в автоматическом режиме сохраняли показания температуры на поверхности и теплового потока с периодичностью 10 минут. Также в автоматическом режиме записывались показания температуры воздуха внутри помещения и наружного воздуха с помощью измерителей Testo 174-Н.

Для расчета средних значений показателей теплозащиты фрагментов ограждающей конструкции был выбран временной период с 28-го февраля по 4-е марта 2018 г., когда наружная температура была стабильно низкой (варьировалась от -11 °С до -16 °С), а температура воздуха внутри помещения практически не менялась (составляла от 25,1 °С до 25,6 °С), поэтому тепловой поток через ограждающую конструкцию установился стационарным.

В табл. 3 представлены измеренные температуры на внутренней поверхности фрагментов ограждающей конструкции и средняя температура воздуха внутри помещения.

Таблица 3 – Средние значения температуры на поверхности фрагментов ограждающей конструкции и внутреннего воздуха

Зона	Температура на внутренней поверхности стены, °С					Температура воздуха внутри помещения, °С
	НФС/ мин.вата	СФТК/ XPS	СФТК/ EPS	СФТК/ мин.вата	Кирпич. кладка без утепления	
Нижняя	22,2	25,0	24,4	22,8	18,3	25,4
Средняя	23,4	25,2	24,9	22,9	19,4	

В табл. 4 представлены осредненные за выбранный период времени значения сопротивления теплопередаче, R_o , м²·°С/Вт, фрагментов ограждающих конструкций, вычисленные по формуле:

$$R_o = \frac{t_{в} - t_{н}}{q},$$

где $t_{в}$ и $t_{н}$ – температуры внутреннего и наружного воздуха, °С, соответственно;

q – плотность теплового потока через фрагмент ограждающей конструкции, Вт/м².

Таблица 4 – Средние значения сопротивлений теплопередаче фрагментов ограждающей конструкции

Зона	Сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции, R_o , м ² ·°С/Вт				
	НФС/мин.вата	СФТК/XPS	СФТК/EPS	СФТК/мин.вата	Кирпичная кладка без утепления
Нижняя	1,12	2,74	2,71	1,86	0,82
Средняя	1,07	2,61	2,57	1,79	0,76

Стоит отметить, что зафиксированные столь низкие значения сопротивления теплопередаче у НФС связаны, скорее всего, с расположением этой системы на углу здания, поэтому

их некорректно сравнивать с результатами, полученными на СФТК, смонтированной на южной стене [7].

Практический интерес представляет сравнение полученных значений сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающей конструкции с СФТК в нижней и средней зоне – для этой системы снаружи был смонтирован резервуар с грунтом (в нижней зоне), моделирующий заглубленную в грунт часть конструкции [8]. Как видно по табл. 3 и 4 теплотехнические показатели в средней и нижней зоне близки между собой. При этом в более теплое время года для всех фрагментов СФТК сопротивление теплопередаче в нижней зоне было выше, чем в средней.

Из такого сравнения можно сделать вывод о том, что грунт в зоне сопряжения со стеной в результате промерзания в холодный период года не улучшает теплозащитных характеристик ограждающей конструкции, поэтому эта зона конструкции требует утепления [9].

Выводы

Моделирование подтопления в зоне стыка стены с грунтом значительно сказывается на значениях и характере распределения эксплуатационной влажности внутри слоев утеплителя. Этот факт является одним из подтверждений правильности внесения в п. 8.3.2 СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [10] следующего примечания: «В частях конструкций подвергающихся постоянным воздействиям грунтовой, дождевой или технологической воды, а также с повышенным риском повреждения защитных оболочек (фундаменты, первые и цокольные этажи) рекомендуется применять теплоизоляционные материалы с минимальными показателями эксплуатационной влажности, паропроницаемости (ГОСТ 25898), влагопроводности (ГОСТ Р 56504) и капиллярного всасывания (ГОСТ Р 56505), невосприимчивые к воздействию жидкой влаги».

Фактор «дополнительного утепления» от грунта, который иногда используется для обоснования отказа от утепления в заглубленной части конструкции, не подтвержден для холодного периода года для зоны сопряжения стены с грунтом, что, скорее всего, объясняется промерзанием грунта и, соответственно, увеличением его теплопроводности. Это, в свою очередь, является дополнительным доводом по обоснованию примечания к п. 5.2 в Изменении №1 к СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» [1, 11]: «Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче части стены, расположенной ниже уровня грунта на глубину не менее 1м, должно приниматься таким же, как для стены, расположенной выше уровня грунта».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8. С. 28 - 33.
2. Гагарин В.Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2007. № 6. С. 82-90.
3. СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий». М.: Минрегион России. 2012. 96 с.
4. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов. Дисс... канд. техн. наук. Москва. 2013. 169 с.
5. Ройфе В.С. Расчет распределения влаги по толщине ограждающей конструкции в натуральных условиях // Строительные материалы. 2016. № 6. С. 36-39.
6. Крышов С.И., Курилюк И.С. Оценка теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий // Энергосбережение. 2018. № 3. С. 12-19.
7. Козлов В.В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62-74.
8. Пастушков П.П., Жеребцов А.В. Об эффективности применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей // Строительные материалы. 2015. № 7. С. 68-71.
9. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Архитектура и строительство России. 2009. № 5. С. 297.

10. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты». М.: Минстрой России. 2017. 52 с.
11. Афонин А.О. Новое в нормировании тепловой защиты ограждающих конструкций и инженерных систем // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 6 (1006). С. 6-9.

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of the calculated moisture content of building materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No 8. Pp. 28 - 33.
2. Gagarin V.G. Heat-insulating facades with a thin plaster layer. *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2007. No. 6. P. 82-90.
3. SP 50.13330.2012 «SNiP 23-02-2003 Teplovaya zashchita zdaniy» [Thermal protection of buildings]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 96 p.
4. Pastushkov P.P. The influence of the moisture regime of enclosing structures with external plaster layers on the energy efficiency of thermal insulation materials. Cand. diss. (Engineering). Moscow. 2013. 169 p.
5. Royfe V.S. Calculation of the distribution of moisture in the thickness of the enclosing structure in natural conditions. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 6. P. 36-39.
6. Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. Evaluation of thermal protection of external building envelope. *Energosberezhenie*. 2018. No 3. Pp. 12-19.
7. Kozlov V.V. Questions of accuracy of calculation of reduced resistance to heat transfer and temperature fields. *Building and Reconstruction*. 2018. No. 3 (77). Pp. 62-74.
8. Pastushkov P.P., Zharebcov A.V. On the effectiveness of extruded polystyrene in enclosing structures of the first and ground floors. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 7. Pp. 68-71.
9. Gagarin V.G. Thermophysical problems of modern wall enclosing structures of multi-storey buildings. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2009. No. 5. P. 297.
10. SP 345.1325800.2017 «Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Pravila proektirovaniya teplovoj zashchity» [Residential and public buildings. Rules for the design of thermal protection]. Moscow: Minstroj Rossii. 2017. 52 p.
11. Afonin A.O. New in the regulation of thermal protection of enclosing structures and engineering systems. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2018. No. 6 (1006). Pp. 6-9.

Информация об авторах:

Пастушков Павел Павлович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Тел.: 8 (926) 384-25-28,
E-mail: pavel-one@mail.ru

Павленко Наталья Викторовна

Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
Кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер,
Ph.: 8 (919) 774-14-33,
E-mail: 9103638838@mail.ru

Information about authors:

Pastushkov Pavel P.

Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow, Russia
Candidate of technical sciences, senior researcher
Тел.: 8 (926) 384-25-28
E-mail: pavel-one@mail.ru

Pavlenko Natalia V.

Institute of mechanics Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
Candidate of technical sciences, associate professor, leading engineer
Ph.: 8 (919) 774-14-33,
E-mail: 9103638838@mail.ru

О КАЧЕСТВЕ НОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ А.Г.¹, ВОЙТОВИЧ Е.В.²

¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

²Научно-исследовательского института строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена актуальная проблема качества нормативной документации по теплозащите зданий, от которой зависит не только качество тепловой защиты проектируемых зданий, но и обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических условий в помещениях, а также надежность и себестоимость ограждающих конструкций. Приводится критический анализ действующих нормативных документов по теплозащите зданий на соответствие требованиям «Технического регламента по безопасности зданий и сооружений» (ФЗ 384) – создание теплового комфорта в помещениях и обеспечение конструктивной надёжности наружных ограждающих конструкций в холодный период года. Отмечается, что в действующих нормативных документах по теплозащите зданий неверно определена основная цель теплозащиты зданий... как обеспечение заданного уровня расхода тепловой энергии. Критически проанализированы основные разделы действующих нормативных документов и предложены методики нормирования теплофизических параметров наружных ограждений зданий, в которых приоритетными являются вопросы энергосбережения и обеспечение теплового комфорта в помещениях, основным критерием которого является, установленная гигиенистами разность между температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности наружного ограждения. Предложена простая и надежная методика нормирования сопротивления паропроницаемости конструкции, обеспечивающая не накопление влаги в конструкциях в холодный период года. Предложена методика комплексного расчета тепло- и пароизоляционных слоев многослойных ограждающих конструкций, теплофизические свойства которых отвечают нормативным требованиям

Ключевые слова: нормирование сопротивлений теплопередаче и паропроницаемости, тепловой комфорт в помещении, комплексный расчет на тепло и паропроницаемость наружных ограждений зданий, энергосбережение

QUALITY OF REGULATION OF THERMAL PROTECTION OF BUILDINGS

PEREKHOZHENCEV A.G.¹, VOITOVICH E.V.²

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,

²Research Institute of Building Physics of the RAACS, Moscow, Russia,

Abstract. Considered relevant the problem of quality regulatory documentation for thermal protection of buildings, not only depends on the quality of the thermal protection designed buildings but also ensuring favourable hygienic conditions in the premises, as well as reliability and cost of enclosing structures. Provides a critical analysis of existing regulations on heat-shielding of buildings for compliance with the requirements of "technical regulations on safety of buildings and constructions (FZ 384) – creation of thermal comfort indoors and ensure constructive reliability of external walling during the cold period of the year. It is noted that the existing regulations on heat shielding buildings incorrectly defined the main objective of the thermal insulation of buildings. How to ensure a given level of heat energy consumption. Critically analyzed the main sections of the existing regulations and proposed methods of Thermo-physical parameters of rationing of exterior fencing of buildings in which priority is energy conservation and ensuring thermal comfort in rooms, the main criterion which is established by specialists the difference between the room temperature and the temperature of the inner surface of the outer fence. Offered a simple and reliable technique for regulation of water resistance design that provides no moisture accumulation in constructions during the cold period of the year. The technique of integrated calcu-

lation of heat and vapor barrier layers of multilayer enclosing structures, Thermo-physical properties which meet regulatory requirements

Keywords: *rationing of water and heat resistance, thermal comfort indoors, comprehensive calculation for heat and water vapor permeability of exterior fencing of buildings, energy saving*

Введение

Для проектирования наружной теплозащитной оболочки здания в настоящее время на территории России разработаны и действуют следующие нормативные документы: СП 50-13330-2012 «Тепловая защита зданий» (далее СП-50) и СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты зданий» (СП-345).

Основная целевая задача этих документов сформулирована следующим образом в определении понятия тепловая защита здания: «Теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций зданий, обеспечивающие заданный уровень расхода тепловой энергии (теплопоступлений) здания...» (см. СП-50 «термины и определения»).

Поиску этого загадочного заданного уровня расхода тепловой энергии с помощью базовых, целевых, оптимизированных и гармонизированных нормативных сопротивлений теплопередаче, которые должны определять теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций зданий, посвящены перечисленные выше нормативные документы.

Между тем в «Техническом регламенте по безопасности зданий и сооружений» (ФЗ №384, статья 29), прямо сказано, что нормируемое сопротивление теплопередаче наружных ограждений зданий должно быть таким, чтобы разность между температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности наружного ограждения обеспечивало в помещении благоприятные санитарно-гигиенические условия, то есть условия теплового комфорта, установленного санитарно-гигиеническими нормами [3]. Однако, в СП 50 и СП 345 таких требований к теплозащите зданий (п. 5.1 а, б, в) нет.

Обеспечение благоприятных температурных условий для человека в помещении это жизненно важное требование. Поэтому основным определяющим фактором при нормировании требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий, должна быть температура на их внутренних поверхностях, которая обеспечит не только санитарно-гигиенические, но и благоприятные (комфортные) температурные условия в помещении. К сожалению, в перечисленных выше нормативных документах упоминаний о тепловом комфорте в помещениях нет.

Критический анализ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и предложения по совершенствованию норм

В этом нормативном документе много неточностей, вводятся ничем не обоснованные подгоночные коэффициенты (например, m_p и b при определении требуемого сопротивления теплопередаче). Введено, кроме нормативного, множество критериев оценки теплозащиты, таких как базовое, целевое, оптимальное, гармонизированное и т.п. сопротивления теплопередаче. Оценка уровня энергосбережения принята по проценту отклонения расчетной удельной характеристики на отопление и вентиляцию от нормативной (какой же это норматив, при котором расчетное значение может на 50% не соответствовать нормативному?), при этом процент отклонения определяет классность здания. Вместо проверки температуры на внутренней поверхности ограждения в теплый период года на соответствие требованиям ГОСТ 30494-2011 [3], рассчитывается амплитуда колебаний температуры, которая не нормируется гигиенистами. В разделе 8-«защита от переувлажнения конструкций» расчет выполняется в годовом цикле, поэтому нет гарантии, что переувлажнение конструкций произойдет в холодный период года. Именно в холодный период года важно убрать отрицательное влияние влажности как на теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций, так и на их долговечность.

Для определения нормируемого сопротивления теплопередаче в СП-50 введено понятие «базового» значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_o^{mp} , которое принимают по табл. 3 или по формуле (1), представленной в примечании к данной таблице в следующем виде:

$$R_o^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год (почему-то продолжительность отопительного периода приводится в «сут в год» (?), тогда как, как в нормах она приведена в «сутках»);

a, b – коэффициенты, значения которых принимают по таблице 3.

Нормируемое сопротивление теплопередаче в СП-50 предлагается получать путем умножения «базового» сопротивления теплопередаче на некоторый подгоночный коэффициент m_p , который должен уменьшать полученное базовое сопротивление не менее чем: на 0,63- для стен, на 0,95- для светопрозрачных конструкций и на 0,8- для всех остальных. Каким образом получены эти значения и почему они уменьшают «базовое» сопротивление, хотя по логике энергосбережения должны увеличивать его?

Значения «базового» требуемого сопротивления теплопередаче также не корректно определяется по уравнению (1). Ошибка СП-50 заключается в том, что в правой части уравнения (1) к сопротивлению теплопередаче прибавляется некоторый коэффициент b , хотя любому инженеру должно быть известно, что: во-первых, если с левой стороны уравнения стоит сопротивление теплопередаче, то с правой стороны уравнения оба слагаемых тоже должны быть сопротивлениями, во-вторых, «коэффициенты» не могут быть слагаемыми. Уравнение (1) представляет собой уравнение прямой с начальным участком равным b , поэтому физический смысл «коэффициента b » – это минимально допустимое сопротивление теплопередаче при ГСОП=0, обеспечивающее минимальные санитарно-гигиенические условия в помещении, определяемое по известной формуле 5.4 СП-50, при минимально допустимом нормируемом перепаде температур $\Delta t^H = (t_e - t_p)$, то есть по формуле

$$R_o^{мин} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{(t_e - t_p) \cdot \alpha_e}, \quad (2)$$

где $(t_e - t_p)$ – разность между температурой воздуха помещения и температурой точки росы.

Следовательно, нормируемое сопротивление теплопередаче определяется суммой минимально допустимого сопротивления $R_o^{мин}$, обеспечивающим минимальные санитарно-гигиенические условия и дополнительного энергосберегающего сопротивления $R_o^э$, обеспечивающего тепловой комфорт в помещении, то есть

$$R_o^{mp} = R_o^{мин} + R_o^э. \quad (3)$$

Сопротивление теплопередаче $R_o^э$ является критерием, определяющим энергосбережение, так как ограничивает значение сопротивления теплопередаче обеспечением теплового комфорта в помещении, поэтому является «оптимизирующим и гармонизирующим» фактором.

Таким образом, нормируемое сопротивление теплопередаче не прозрачных участков наружных ограждающих конструкций без каких-либо поправочных коэффициентов следует определять по формуле, представленной в работе [4]

$$R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{(t_e - t_p) \cdot \alpha_e} + k_{эH} \cdot (t_b - t_{оп}) \cdot z_{оп} \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где $k_{эн}$ – нормируемые коэффициенты энергосбережения (соответствуют коэффициентам $a \cdot 10^4$ м²/Вт сут табл. 3 СП 50.13330. 2012).

Для светопрозрачных конструкций остекления в формуле (4) вместо температуры точки росы t_p принимают допустимую температуру на поверхности стекла равную $t_o = 3$ °С т.е. требуемое сопротивление таких конструкций определяют по формуле

$$R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{(t_e - t_o) \cdot \alpha_e} + k_{эн} \cdot (t_b - t_{оп}) \cdot z_{оп} \cdot 10^{-4}. \quad (5)$$

Расчёт нормируемого сопротивления теплопередаче по предлагаемым формулам (4,5) учитывает, как внешние климатические факторы, так и требуемые параметры микроклимата, при этом обеспечивается комфортная температура на внутренней поверхности наружных ограждений, которая является энергосберегающим фактором, так как ограничивает расчетное значение сопротивления теплопередаче.

Удельная теплозащитная характеристика здания

Понятие «удельная» величина предполагает, что данная величина соотнесена к какой-либо другой величине, например, к объёму, к массе тела и т.п. Удельная теплозащитная характеристика здания, в нашем случае, отнесена к объёму здания, которую предлагается получать через произведение коэффициента компактности на приведенный (общий) коэффициент теплопередаче здания.

В результате получаем сумму отношений площади отдельных элементов наружной оболочки к соответствующему сопротивлению теплопередаче этого элемента, отнесенную к отапливаемому объёму здания. Так как сопротивления теплопередаче отдельных конструктивных элементов должны отвечать требованиям условий (4,5), то и удельная величина должна соответствовать этим требованиям. Поэтому для всего здания должно выполняться следующее условие, обеспечивающее тепловой комфорт в помещениях

$$k_{об}^{тр} = \frac{1}{V} \left(\sum \frac{A_n}{R_n^{тр}} + \sum \frac{A_o}{R_o^{тр}} \right), \quad (6)$$

где $\sum \frac{A_n}{R_n^{тр}}$ – сумма отношений площади непрозрачных участков ограждающих конструкций к их требуемому сопротивлению теплопередаче; $\sum \frac{A_o}{R_o^{тр}}$ – то же, для светопрозрачных участков (окон); V – отапливаемый объём здания. При выполнении условия (6) вся защитная оболочка здания будет отвечать требованиям теплозащиты. Поэтому выдумывать какие-либо ещё требуемые значения подгоночного типа вроде $k_{об}^{тр} = 8,5/\sqrt{ГСОП}$, приведенные в СП-50, которые никак не соотносятся с обеспечением теплового комфорта в помещениях нет необходимости.

Расчёт на перегрев в тёплый период года

Теплоустойчивость ограждающих конструкций, так называется 6-й раздел СП-50, в котором нормируется амплитуда колебания температуры внутренней поверхности наружных ограждений зданий. О какой теплоустойчивости ограждающих конструкций может идти речь при открытых окнах и форточках в летний период года. Проблема теплоустойчивости наружных ограждений зданий скорее всего важна в осенний и весенний периоды года, когда имеют место значительные колебания температуры наружного воздуха, которые влияют на теплоустойчивость ограждений. Однако эта проблема в СП не рассматривается.

В тёплый период года в южных регионах страны нагрев конструкций за счёт солнечной радиации настолько велик, что приводит к перегреву внутренних поверхностей конструкций и соответственно к недопустимым по санитарным нормам температурам воздуха в помещении [5-7, 8]. Поэтому следует нормировать температуру внутренней поверхности наружных

ограждений зданий, которая влияет на величину результирующей температуры воздуха в помещении, а, следовательно, и на тепловой комфорт в помещении.

Комфортной в теплый период года считается температура внутренней поверхности ограждения, если она не превышает температуру воздуха помещения более чем на 2,5 °С. Поэтому в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше температура внутренней поверхности ограждающих конструкций $\tau_{\text{в}}^{\text{л}}$, исходя из комфортных условий, для жилых зданий, больничных учреждений, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов и детских домов не должна быть выше допустимой, определяемой по формуле

$$\tau_{\text{в}}^{\text{тп}} = t_{\text{в}}^{\text{л}} + [2,5 - 0,1 \cdot (t_{\text{н}}^{\text{л}} - 21)] , \quad (7)$$

где $t_{\text{в}}^{\text{л}}$ - расчётная температура внутреннего воздуха в теплый период года, °С, принимаемая согласно ГОСТ 30494-2011.

Расчётную температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций в теплый период года, $\tau_{\text{в}}^{\text{л}}$, °С, следует определять по формуле

$$\tau_{\text{в}}^{\text{л}} = t_{\text{в}}^{\text{л}} + \frac{(t_{\text{н}}^{\text{расч}} - t_{\text{в}}^{\text{л}})}{R_{\text{о}}^{\text{тп}} \cdot \alpha_{\text{в}}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{н}}^{\text{расч}}$ - расчетная температура наружного воздуха в теплый период года, учитывающая влияние солнечной радиации, определяется по формуле [10]

$$t_{\text{н}}^{\text{расч}} = t_{\text{н}}^{\text{л}} + 0,5 \cdot A_{t_{\text{н}}} + \frac{\rho(I_{\text{max}} - I_{\text{ср}})}{a_{\text{н}}^{\text{л}}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{н}}^{\text{л}}$ – средняя месячная температура наружного воздуха за июль;

$A_{t_{\text{н}}}$ - максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждения;

Расчётная температура внутренней поверхности ограждающей конструкции не должна превышать температуру, определенную по формуле (7).

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций в СП-50 рассмотрена с точки зрения кратности воздухообмена в помещении. Влияние инфильтрации воздуха в холодный период года на температуру внутренней поверхности ограждения в СП-50 не рассматривается. Методика расчёта температуры, приведенная в п.7.3. СП- 345 пригодна лишь для однородных однослойных конструкций [4]. Распределение температуры в многослойной конструкции с учётом инфильтрации холодного воздуха через конструкцию при условии стационарного теплового потока, можно определить по формуле, предложенной в [9]:

$$\tau_i = \frac{t_{\text{в}} - (R_{\text{в}} + \sum R_i) \cdot [(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / R_{\text{о}} - c \cdot W_{n-i} \cdot \tau_{\text{н}}]}{1 + c \cdot W_{n-i} \cdot (R_{\text{в}} + \sum R_i)}, \quad (10)$$

где $R_{\text{в}}$ – сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения; $\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений слоев конструкции от внутренней поверхности до слоя i ; c – удельная теплоемкость воздуха; $R_{\text{о}}$ – сопротивление теплопередаче конструкции; W_{n-i} – удельный расход воздуха инфильтрующегося через часть ограждения от наружной поверхности до сечения i , определяемого по формуле

$$W_{n-i} = \Delta p / \sum R_{\text{inf}(n-i)}, \quad (11)$$

где $\Sigma R_{inf(n-i)}$ – сумма сопротивлений воздухопроницанию слоев части ограждения от наружной поверхности до сечения i . Δp – перепад давления между наружной и внутренней поверхностями ограждения, складывающийся из так называемых теплового и ветрового напоров, определяемого по известной формуле [10]

$$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_v = 0,55 \cdot H_{зд} \cdot (\gamma_n - \gamma_v) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2,$$

где $H_{зд}$ – высота здания; γ_n и γ_v – соответственно, объемные массы наружного и внутреннего воздуха; v – расчетная скорость воздуха, принимаемая равной максимальной из средних скоростей ветра за январь с повторяемостью более 16%.

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Защита от переувлажнения наружных ограждений зданий имеет две целевых задачи: – уменьшение теплопотерь в холодный период года вследствие увлажнения конструкции и не допущение термической конденсации влаги в зоне резких колебаний температуры, чтобы не допустить разрушение материалов конструкции вследствие попеременного замерзания и оттаивания влаги. Следовательно, основные влажностные факторы, влияющие на теплозащитные свойства наружных ограждений, происходят в холодный период года.

СП-50 рассматривает увлажнение конструкций в годовом цикле. В теплый период года влияние влажности на теплозащиту зданий или на процессы замерзания и оттаивания, по всей видимости, не актуально. Кроме того, в СП-50 не совсем корректно определяется расчетная температура холодного периода года, так как, за расчетную температуру принята средняя температура наружного воздуха с отрицательными среднемесячными температурами, которая включает отрицательные температуры переходного периода. Более точно характеристика холодного периода представлена в СП-131 «Строительная климатология» [11] определяемая по столбцу.6 табл.3.1 с вероятностью 0,94. Так для Москвы эта температура равна -13°C , вместо $-4,58^{\circ}\text{C}$. Следовательно, при расчетах влажностного состояния ограждающих конструкций за расчетную следует принимать температуру холодного периода года с вероятностью 0,94 по СП-131.

В СП-50 предлагается сопротивление паропроницанию, от внутренней поверхности ограждения до плоскости «максимального увлажнения» за годовой период эксплуатации, определяемой в соответствии с п. 8.5, сравнивать с требуемым сопротивлением полученном по формуле 8.1. Однако, формула 8.1 получена для плоскости возможной конденсации, а не для плоскости максимального увлажнения, то есть для условия равенства потоков пара входящего в плоскость возможной конденсации и выходящего из него, то есть для условия, которое не предполагает накопления влаги и тем более максимального увлажнения. Сопротивление паропроницанию от внутренней поверхности ограждения до плоскости максимального увлажнения СП-50 рекомендует определять по методике п. 8.5, то есть по комплексу f , определяемому для каждого слоя многослойной конструкции. По данному комплексу предполагается определить температуру в плоскости максимального увлажнения по таблице 11. Комплекс $f(t)$ ($\text{K}^2/\text{Па} \cdot \text{м}$?) не имеет определенного физического смысла, не учитывает влияние соседних слоев на распределение влаги в конструкции, поэтому часто при вычислении получаем несуразные результаты, значения которых находятся за пределами значений, представленных в таблице 11 (п.8.5.2).

Ниже представлена оригинальная методика определения требуемого сопротивления паропроницаемости наружных ограждений зданий для холодного периода года, разработанная автором [12], основанная на определении плоскости возможной конденсации влаги в конструкции, отличающаяся от известных методик [13-18].

Для выполнения требований норм по энергосбережению наружные ограждающие конструкции, как правило, должны представлять собой многослойные системы, в которых всегда можно выделить два слоя, один из них выполняет функцию теплозащиты, а другой регулирует диффузию пара в ограждении [12].

Требуемое сопротивление паропроницаемости, определяемое из условия недопущения переувлажнения конструкции, то есть равенства потоков, пара входящих в плоскость возможной конденсации и выходящего из неё будет равно

$$R_{on}^{mp} = R_n' \left(1 + \frac{E_{\kappa} - e_n}{e_{\kappa} - E_{\kappa}} \right); \quad (12)$$

где e_{κ} и e_n – соответственно парциальные давления водяных паров внутри помещения и снаружи; E_{κ} – максимальное значение парциального давления водяного пара в плоскости конденсации;

В расчетном диапазоне температур, (от +20 до -30 °C) функцию $E = f(t)$ с достаточной для инженерных расчётов точностью можно описать полиномом третьей степени:

$$E = 0,019t^3 + 1,52t^2 + 48t + 611. \quad (13)$$

При заданных параметрах эксплуатации ограждающей конструкции (e_{κ} , e_n , t_{κ} , t_n) предельный градиент $\Delta E = (e_{\kappa} - e_n)/(t_{\kappa} - t_n)$ равен первой производной уравнения (13) и определяет наклон касательной к функции $E = f(t)$. Первая производная уравнения (13) имеет вид квадратного уравнения

$$\Delta E = 0,057 t^2 + 3,04 t + 48. \quad (14)$$

Решая уравнение (14) относительно температуры получим значение температуры, при которой действительная упругость водяного пара равна максимальному значению $e = E$, то есть температуру в плоскости конденсации

$$t_k = -26,7 + \sqrt{17,5 \cdot \Delta E_k - 131} \quad (15)$$

Подставляя полученное значение температуры t_k в уравнение (13) определим значение максимального парциального давления $E(t_k) = E_{\kappa}$ в плоскости возможной конденсации. Положение плоскости конденсации ($e = E_{\kappa}$) зависит от конструктивного решения наружного ограждения и определяется по положению t_k в соответствующем распределении температуры в конструкции.

Зная эти параметры несложно вычислить сопротивление паропроницанию конструкции от внутренней поверхности до плоскости конденсации R_n' и требуемое сопротивление паропроницанию всей конструкции по уравнению (12).

Комплексный расчет параметров тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций зданий

Идея предлагаемого метода заключается в том, что в отличие от существующих методик [10,13-19], предполагающих вначале интуитивный подбор слоев многослойной конструкции и затем проверку их на соответствие нормативным требованиям, предлагается расчет характеристик этих слоев на основе нормативных требований по методике, представленной в [20]. При этом для обеспечения надежных эксплуатационных свойств многослойная конструкция должна отвечать, как требованиям теплозащиты, так и не накопления влаги в холодный период года, то есть:

$$\begin{cases} R_o^{tp} = R_b + \sum R_{ik} + \frac{\delta^{ym}}{\lambda^{ym}} + \frac{\delta^{nu}}{\lambda^{nu}} + R_n, \\ R_n^{tp} = R_{вп} + \sum R_{пik} + \frac{\delta^{ym}}{\mu^{ym}} + \frac{\delta^{nu}}{\mu^{nu}} + R_{пн}, \end{cases} \quad (16)$$

где R_b , R_n , $R_{вп}$, $R_{пн}$ - соответственно сопротивления тепло- и влагообмена внутренней и наружной поверхности ограждения; $\sum R_{ik}$, $\sum R_{пik}$, - суммы термических сопротивлений и

сопротивлений паропроницанию конструктивно заданных слоев ограждения; $R^{ym} = \frac{\delta^{ym}}{\lambda^{ym}}$,

$R^{nu} = \frac{\delta^{nu}}{\lambda^{nu}}$, $R_n^{ym} = \frac{\delta^{ym}}{\mu^{ym}}$, $R_n^{nu} = \frac{\delta^{nu}}{\mu^{nu}}$ - термические сопротивления и сопротивления паропро-

ницанию утепляющего и пароизоляционного слоев.

Зная требуемые сопротивления теплопередаче и паропроницанию, подставляя соответствующие значения в систему (16) можно определить либо толщины слоев утеплителя и пароизоляции δ^m и δ^{pi} , либо их сопротивления.

Рассмотрим методику комплексного расчета на примере.

Пример. Требуется определить толщину утеплителя и допустимую толщину наружного слоя из керамзитобетона, представляющего собой в данном случае пароизоляцию в трехслойной стеновой панели, если толщина внутреннего слоя из керамзитобетона задана конструктивными требованиями и равна 150мм.

Исходные данные. Жилой дом в Волгограде. Условия эксплуатации «А»:

$$t_b = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{хп} = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{нх} = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{оп} = -2,3 \text{ }^{\circ}\text{C}; z_{оп} = 176 \text{ сут.};$$

$$\varphi_b = 60\%; \varphi_n = 85\%; \tau_p = 12 \text{ }^{\circ}\text{C (при } t_b = 20 \text{ }^{\circ}\text{C и } \varphi_b = 60\%);$$

Характеристики материалов:

- керамзитобетон, $\gamma_o = 1600 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_A = 0,67 \text{ Вт/(м }^{\circ}\text{C)}$; $\mu = 0,09 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч Па)}$;

- минераловатные плиты, $\gamma_o = 100 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_A = 0,042 \text{ Вт/(м }^{\circ}\text{C)}$; $\mu = 0,32 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч Па)}$;

Коэффициент теплотехнической однородности $r = 0,7$.

$$E_b = 2338 \text{ Па}; e_b = E_b \cdot \varphi_b / 100 = 1403 \text{ Па};$$

$$E_n = 217 \text{ Па}; e_n = E_n \cdot \varphi_n / 100 = 184 \text{ Па}.$$

$$\text{ГСОП} = (20 - (-2,3)) \cdot 176 = 3925 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$$

$$R^{mp} = (t_b - t_n) / (t_b - \tau_p) \cdot \alpha_b + k \cdot \text{ГСОП} \cdot 10^{-4} = (20 + 22) / (20 - 12) \cdot 8,7 + 3,5 \cdot 0,3925 = 1,98 \text{ м}^2\text{C/Вт}.$$

С учетом теплотехнической неоднородности $R^{tp} = 1,98 / 0,7 = 2,83 \text{ м}^2\text{C/Вт}$.

$$\Delta \tau = (t_b - t_{нх}) (1 - 0,158 / R^{mp}) = 30,2 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta e = e_b - e_n = 1403 - 184 = 1219 \text{ Па};$$

$$\Delta e / \Delta t = 1219 / 30,2 = 40,4 \text{ Па/}^{\circ}\text{C};$$

$$t_k = -26,7 + \sqrt{17,5 \times 40,4 - 131} = -26,7 + 24,0 = -2,7 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

По таблицам определим соответствующее температуре $-2,7^{\circ}\text{C}$ максимальное парциальное давление насыщенных водяных паров в плоскости конденсации $E_k = 488 \text{ Па}$.

Определим сопротивление теплопередаче до плоскости конденсации:

$$R_k = (t_b - t_k) \cdot R^{mp} / (t_b - t_{но}) = (20 + 2,7) \cdot 2,83 / (20 + 12) = 2,01 \text{ м}^2\text{C/Вт}$$

По величине сопротивления теплопередаче R_k определим слой, в котором расположена плоскость конденсации.

$$R_b = 0,115 \text{ м}^2\text{C/Вт}; R_1 = 0,15 / 0,67 = 0,22 \text{ м}^2\text{C/Вт};$$

$$R_k^{ym} = 2,01 - 0,115 - 0,22 = 1,675 \text{ м}^2\text{C/Вт}.$$

Плоскость конденсации расположена в утеплителе на расстоянии от внутренней поверхности слоя равном

$$\delta' = R_k^{yt} \cdot \lambda^{yt} = 1,675 \cdot 0,042 = 0,07 \text{ м}.$$

Сопrotивление паропроницанию слоев конструкции от внутренней поверхности до зоны конденсации будет равно

$$R_n' = (0,15 / 0,09) + (0,07 / 0,32) = 1,67 + 0,22 = 1,89 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию определим по формуле

$$R_{on}^{mp} = R_n' \left(1 + \frac{E_n - e_n}{e_e - E_k} \right) = 1,89 \left(1 + \frac{488 - 184}{1403 - 488} \right) = 2,52 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Подставляя значения R_{no}^{mp} и R_{on}^{mp} в систему уравнений (1-2) получим

$$\begin{cases} 2,83 = 0,115 + 0,22 + \frac{\delta_{ym}}{0,042} + \frac{\delta_{ni}}{0,67} + 0,043; \\ 2,52 = 1,67 + \frac{\delta_{ym}}{0,32} + \frac{\delta_{ni}}{0,09}. \end{cases}$$

Решая систему двух уравнений с двумя неизвестными получим: $\delta_{yt} = 0,01$ м и $\delta_{ni} = 0,05$ м. Общая толщина панели будет равна

$$\delta_k = 0,15 + 0,10 + 0,05 = 0,30 \text{ м}.$$

Проверим условие не накопления влаги в конструкции в холодный период года.

$$P_e = \frac{e_e - E_k}{R_{ne}} = \frac{1403 - 488}{1,89} = 484 \quad P_n = \frac{E_k - e_n}{R_{no} - R_{ne}} = \frac{488 - 184}{0,63} = 482.$$

Равенство потоков пара, входящих в возможную зону конденсации и выходящих из нее, подтверждают выполнение этого условия.

Критический анализ СП-345

Введённый в действие новый нормативный документ по проектированию теплозащиты зданий СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты зданий», по всей видимости, должен был исправить недостатки действующего документа с аналогичным названием и представить более совершенные методики.

Однако этого не произошло. Новый документ практически дублирует СП 50-13330-2012 «Тепловая защита зданий». Так, например, пункт 4.2 СП-345 дублирует пункт 4.2 СП-50. Пункт 5.1 напоминает инструкцию для домохозяек. Пункты 5.2-5.6 – «определяются по СП-50». Разделы 6,7,8,9,10 повторяют методики СП-50 с небольшими добавлениями.

Совершенно абсурдными представлены новые методики подгонки теплозащитных элементов для достижения целевого сопротивления теплопередаче (п. 5.7) и целевой теплозащитной характеристики (п. 5.9), а также оптимизации теплозащитной оболочки здания и подбор отдельных элементов ограждающих конструкций и их гармонизация по окупаемости энергосберегающих мероприятий (п. 5.10 СП 345). В нормативном документе вводится новый загадочный термин целевой характеристики, при этом целевая задача явно не определена. Между тем вопрос о целевой задаче, решаемой в тех или иных нормах, один из основных методических вопросов.

Более 70% разделов и отдельных пунктов нового нормативного документа СП-345 повторяют или ссылаются на действующие нормы СП-50, качество которых рассмотрено выше.

Выводы

Основным недостатком действующих норм по теплозащите зданий является то, что в них неверно определена основная целевая задача для которой служит «тепловая защита здания», а именно - обеспечение теплового комфорта в помещениях, которая в действующих нормативных документах по теплозащите зданий, не рассматривается. Все остальные цели, представленные в действующих нормах, являются вторичными.

В данной статье рассмотрены лишь некоторые наиболее существенные недостатки действующих норм по «теплозащите зданий». Несмотря на то, что Своды Правил утверждаются и вводятся в действие министерствами и департаментами, научная общественность, тоже несёт определенную ответственность за качество нормативных документов, которые существенно влияют на качество проектирования и строительства зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Минрегионразвития РФ, М.2012
2. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты зданий». Минстрой РФ. М.2017.
3. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении».
4. Перехоженцев А.Г. Теоретические основы и методы расчёта температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. С. 104-112
5. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчёт комфортных параметров по теплоощущениям человека / Пер. с венг. В.М. Беляева; Под ред. В.И. Прохорова и А.Л. Наумова. М.: Стройиздат, 1981.248 с.
6. Fanger P.O. Thermal Comfort. Mc Grow Hill, 1970.
7. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».
8. Жуков А.Н. Перехоженцев А.Г. К вопросу о тепловой устойчивости неветилируемой совмещенной крыши эксплуатируемого здания //Современные проблемы проектирования, строительства и модернизации инженерных коммуникаций: мат-лыМеждунар. Науч.-техн. Конф – Самаркандский ГАСИ, Самарканд. 2014.С.384-387.
9. Перехоженцев А.Г. Методика расчёта распределения температуры в многослойных ограждающих конструкциях зданий с учётом влияния инфильтрации холодного воздуха // Материалы 2-ой Международной научно-техн. конф. «Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции». М.: МГСУ, 2007.
10. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий /Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
11. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». М., 2012.
12. Перехоженцев А.Г. Нормирование и расчет паропроницаемости многослойных ограждающих конструкций // Akademia. Архитектура и строительство. 2018. №3. С.130-134.
13. Klopfer H. Wasser transport durch Diffusion in Festoffen. Bauvertag Wiesbaden, 1974.
14. Glaser. Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgangen. Kaltentechnik. Heft 10, 1959.
15. Шпайдель К. Диффузия и конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях. /перевод В.Г. Бердичевского. М.: Стройиздат, 1985.
16. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2004. 480с.
17. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // Жилищное строительство. 2016. №6. С.8-12.
18. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.П., Горшков Ф.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №6. С.19-33.
19. Ушков Ф.В. Метод расчета увлажнения ограждающих частей зданий. МХ РСФСР. М., 1955. 104с.
20. Перехоженцев А.Г. Метод расчета многослойных ограждающих конструкций зданий на тепло и пароизоляцию // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. №9 (997). С.46-49.

REFERENCES

1. Building Code of Russia SP 50.13330.2012 “Teplovaya zashchita zdaniy” [Heat protection of buildings]. Moscow: Minregionrazvitiya RF, 2012
2. Building Code of Russia SP 345.1325800.2017 «Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Pravila proyektirovaniya teplovoy zashchity zdaniy». Minstroy RF. M.2017.
3. Russian standart GOST 30494-96 «Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshchenii» [Residential and public buildings. Parameters of micro climate in the room].
4. Perekhozhentsev A.G. Teoreticheskiye osnovy i metody raschota temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ogra-zhdayushchikh konstruktсий zdaniy [Theoretical basics and methods for calculation of heat-humidity mode of envelope structures]. Volgograd: VolgGASU, 2008. Pp. 104-112

5. Bankhidi L. Teplovoy mikroklimat pomeshcheniy: Raschot komfortnykh parametrov po teplooshchushcheniyam cheloveka [Heat micro climate in a room: calculation of comfort parameters on the bases of human's heat feelings] / Transl. from Hungarian by V.M. Belyayev; Edited by V.I. Prokhorov and A.L. Naumov. Moscow: Stroyizdat, 1981. 248 p.
6. Fanger P.O. Thermal Comfort. Mc Grow Hill, 1970.
7. Russian standart SanPiN 2.1.2.2645-10 «Sanitarno-epidemiologicheskiye trebovaniya k usloviyam prozhivaniya v zhilykh zdaniyakh i pomeshcheniyakh» [Sanitary and epidemiological requirements for living conditions in residential buildings and premises].
8. Zhukov A.N. Perekhozhentsev A.G. K voprosu o teplovoy ustoychivosti neventiliruyemoy sovmeshchennoy kryshi ekspluatiruyemogo zdaniya [On the issue of thermal stability of a non-ventilated combined roof of an operated building]. Proc. Of Int. Conf. "Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitel'stva i modernizatsii inzhenernykh kommunikatsiy" [Modern Problems of Design, Construction and Modernization of Engineering Communications]. Samarkand: Samarkand GASI. 2014. Pp. 384-387.
9. Perekhozhentsev A.G. Metodika rascheta raspredeleniya temperatury v mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy s uchotom vliyaniya infil'tratsii kholodnogo vozdukhha [Methods of calculating the temperature distribution in multilayer enclosing structures of buildings, taking into account the effect of cold air infiltration]. Proc. Of Int. Conf. "Teoreticheskiye osnovy teplosnabzheniya i ventilyatsii" ["Theoretical bases of heat supply and ventilation"]. Moscow: MGSU, 2007.
10. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy [Building heat engineering of enclosing parts of buildings] / Edited by Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p.
11. Building Code of Russia SP 131.13330.2012 «Stroitel'naya klimatologiya». M., 2012.
12. Perekhozhentsev A.G. Normirovaniye i raschet paropronitsayemosti mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktсий [Rationing and calculation of vapor permeability of multilayer enclosing structures]. *Akademia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2018. No 3. Pp. 130-134.
13. Klopfer H. Wasser transport durch Diffusion in Festoffen. Bauvertag Wiesbaden, 1974.
14. Glaser. Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgangen. Kaltentechnik. Heft 10, 1959.
15. Shpaydel' K. Diffuziya i kondensatsiya vodyanogo para v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh [Diffusion and condensation of water vapor in enclosing structures] / transl. by V.G. Berdichevsky. Moscow: Stroyizdat, 1985.
16. Blazi V. Spravochnik proyektirovshchika. Stroitel'naya fizika [Reference Designer. Building physics]. Moscow: Tekhnosfera, 2004. 480 p.
17. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Analiz raspolozheniya zony naibol'shego uvlazhneniya v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh s razlichnoy tolshchinoy teploizolyatsionnogo sloya [Analysis of the location of the zone of maximum moisture in enclosing structures with different thickness of the insulating layer]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2016. No 6. Pp. 8-12.
18. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.P., Gorshkov F.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynnoy stenovoy konstruktсии v godovom tsikle [Evaluation of the moisture regime of a multi-layer wall structure in the annual cycle]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2015. No 6. Pp. 19-33.
19. Ushkov F.V. Metod rascheta uvlazhneniya ograzhdayushchikh chastey zdaniy []. MKKH RSFSR. Moscow, 1955. 104 p.
20. Perekhozhentsev A.G. Metod rascheta mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktсий zdaniy na teplo i paroizolyatsiyu [The method of calculation of multi-layer building envelopes for heat and vapor insulation]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2017. No 9 (997). Pp.46-49.

Информация об авторах:

Перехоженцев Анатолий Георгиевич

Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры архитектуры зданий и сооружений института архитектуры и строительства, Заслуженный работник ВШ РФ, член Союза архитекторов России.
E-mail: pag41@mail.ru

Войтович Елена Валерьевна

Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия,
Ведущий инженер
E-mail: e.voitovich@mail.ru

Information about authors:

Perehozhentsev A. G.

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Architecture of Buildings and Structures of the Institute of Architecture and Construction, Honored Worker of the Higher School of Economics of the Russian Federation, member of the Union of Architects of Russia.
E-mail: pag41@mail.ru

Voitovich E. V.

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAACS), Moscow, Russia,
Lead Engineer
E-mail: e.voitovich@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПОТОКА ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС ТЕПЛООБМЕНА В ПЛАСТИНЧАТОМ РЕКУПЕРАТИВНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ

САМАРИН О.Д., КИРУШОК Д.А.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрен процесс изменения состояния влажного воздуха в оборудовании систем механической вентиляции или кондиционирования воздуха при использовании пластинчатого перекрестноточного рекуператора с целью косвенного испарительного охлаждения притока в теплый период года в условиях испарения воды, уносимой из секции увлажнения. Исследованы особенности теплопередачи в рекуператоре при наличии испарения и представлены результаты вычисления повышающего коэффициента к температурной эффективности теплообменника для потока нагреваемого вытяжного воздуха в зависимости от числа единиц переноса теплоты и влаги. Показано уточнение построения процесса изменения состояния влажного воздуха на I-d диаграмме для рассматриваемой схемы с учетом испарения и выявлено влияние повышения эффективности рекуператора на требуемый воздухообмен в обслуживаемом помещении. Изложение проиллюстрировано числовыми и графическими примерами.

Ключевые слова: тепломассообмен, испарение, влагосодержание, число единиц переноса, средняя разность температур, температурная эффективность

THE EFFECT OF HUMIDIFYING THE AUXILIARY AIR FLOW ON THE HEAT TRANSFER PROCESS IN THE RECUPERATIVE HEAT EXCHANGER

SAMARIN O.D., KIRUSHOK D.A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Abstract. The process of changing the state of moist air in the equipment of mechanical ventilation or air conditioning systems using a plate cross-flow heat exchanger for the purpose of indirect evaporative cooling of the inflow in the cooling period of the year under the conditions of evaporation of water carried away from the humidification section is considered. The features of heat transfer in the heat exchanger in the presence of evaporation are studied and the results of calculation of the increasing coefficient to the temperature efficiency of the heat exchanger for the flow of heated exhaust air depending on the number of units of heat and moisture transfer are presented. The refinement of the construction of the process of changing the state of moist air on the I-d diagram for the scheme under consideration, taking into account evaporation, is shown and the effect of increasing the efficiency of the heat exchanger on the required air exchange in the serviced room is revealed. The presentation is illustrated by numerical and graphical examples.

Keywords: heat and mass exchange, evaporation, specific air humidity, number of transfer units, average temperature difference, thermal efficiency.

Введение

Одной из энергосберегающих схем обработки приточного воздуха в теплый период года, позволяющей обеспечить требуемые параметры внутреннего микроклимата в помещениях зданий без использования искусственных источников холода, является косвенное испарительное охлаждение. В ряде работ отечественных и зарубежных авторов, например, [1 – 11], рассматривались различные аспекты применения такой схемы и расчета процессов тепломассообмена в используемом оборудовании. В публикации [12] авторы предложили описание модифицированного варианта конструкции, представленной в [2], которая предусматривает ис-

пользование для охлаждения притока пластинчатого перекрестноточного рекуператора, который зимой служит для утилизации теплоты удаляемого воздуха. Таким образом, установка кондиционирования воздуха, включающая перечисленные элементы, и является объектом исследования в настоящей работе. В отличие от [2], здесь можно обеспечить круглогодичное функционирование одной и той же секции увлажнения как в теплый, так и в холодный период года, в последний – по прямому назначению для увлажнения притока, за счет надлежащего переключения потоков воздуха в элементах вентиляционной установки с помощью дополнительных промежуточных секций и клапанов. Данная конструкция является оригинальной (заявка на патент НИУ МГСУ № 2018 113 489 от 13.04.2018), поэтому результатов, приведенных в существующих источниках, недостаточно для полного описания происходящих в ней процессов, и требуется их дополнительное исследование. Его основной целью является установление изменения характера нагрева вспомогательного охлаждающего потока вытяжного воздуха в теплый период с учетом испарения капель жидкой влаги, проникающей из секции увлажнения, и выявление предельного расхода испаряющейся влаги. Задачами исследования в таком случае будут выявление изменения температурной эффективности рекуператора и изображения процессов изменения состояния потоков воздуха в установке на $I-d$ диаграмме.

Модели и методы

Поскольку в рассматриваемой схеме в теплый период воздух будет двигаться через секцию увлажнения в обратном направлении, поэтому должен увеличиваться унос капель жидкой влаги, которые теперь могут испаряться на поверхности теплообмена в рекуператоре, отнимая некоторое дополнительное количество теплоты от притока. В основном такая задача требует решения применительно к коэффициенту температурной эффективности по греющему (охлаждаемому) теплоносителю $k_{эф.г.}$, т.е. для определения конечной температуры потока приточного воздуха. Однако для завершения исследования и возможности полного анализа тепломассообменных процессов в рекуператоре с соответствующим построением на $I-d$ диаграмме целесообразно рассмотреть и изменение эффективности $k_{эф.х.}$ по охлаждаемому (нагреваемому) потоку вытяжного воздуха.

Это можно сделать с помощью программы для ЭВМ, составленной авторами на алгоритмическом языке *Fortran* и реализующей конечно-разностную аппроксимацию уравнений теплообмена в рекуператоре с учетом испарения капель [13], [14]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \theta_{\Gamma}}{\partial y'} &= NTU_{\Gamma}[\theta_x(x', y') - \theta_{\Gamma}(x', y')], \\ \frac{\partial \theta_x}{\partial x'} &= NTU_x[\theta_{\Gamma}(x', y') - \theta_x(x', y')].\end{aligned}\quad (1)$$

В уравнениях (1) приняты следующие обозначения: $x' = x/l$, $y' = y/l$ – безразмерные линейные координаты, где l – длина пластин теплообменника (предполагается, что он является квадратным). В рассматриваемой схеме роль греющего (т.е. охлаждаемого) в теплый период играет поток притока, а роль нагреваемого (т.е. охлаждающего) – поток вытяжного воздуха, прошедший через увлажнитель.

Параметры $\theta_{\Gamma} = \frac{t_{\Gamma}(x', y') - t_{1\Gamma}}{t_{1\Gamma} - t_{1x}}$, $\theta_x = \frac{t_x(x', y') - t_{1x}}{t_{1\Gamma} - t_{1x}}$ представляют собой относительные безразмерные температуры теплоносителей t_{Γ} и t_x в точках с координатами x' и y' . Здесь $t_{1\Gamma}$ и t_{1x} – температуры греющего и нагреваемого теплоносителей на входе в теплообменник. В качестве основных безразмерных параметров при обработке результатов были принят комплекс $NTU_{\Gamma} = \frac{3.6kF}{G_{\Gamma}c}$, т.е. число единиц переноса теплоты для греющего теплоносителя, где G_{Γ} – массовый расход греющего теплоносителя, кг/ч; c – его удельная теплоемкость (для воздуха $c = 1.005$ кДж/(кг·К)); K , Вт/(м²·К), и F , м² – соответственно коэффициент теплопередачи тепло-

обменника и его поверхность теплообмена, а также $NTU' = \frac{r\Delta d}{c\Delta t_{cp}} \cdot 10^{-3}$ – комплекс, учитывающий испарение воды, или число единиц переноса влаги. Здесь r – удельная теплота парообразования воды, равная примерно 2490 кДж/кг; Δd – предполагаемое изменение влагосодержания потока вытяжного воздуха, г/кг, т.е. удельное количество влаги, переходящей из жидкой в парообразную фазу; Δt_{cp} – средняя разность температур, К, между теплоносителями в аппарате, получаемая на основании расчета температурного поля. Комплекс NTU_x представляет собой число единиц переноса теплоты для нагреваемого теплоносителя, но, если считать, что его расход $G_x = G_T$, получим и $NTU_x = NTU_T$.

На рисунке 1 сплошной линией представлена зависимость от NTU' величины повышающего коэффициента к значению $k_{эф.х}$ за счет влияния испарения по данным численного расчета при $NTU = 1.5$. Пунктиром показана аппроксимация, которая в данном случае достаточно хорошо представляется следующим выражением:

$$f(NTU') = \sqrt{1 + NTU'} \quad (2)$$

Таким образом, предварительные соображения о влиянии дополнительной теплоты за счет испарения на температурную эффективность рекуператора, в соответствии с которыми поправочный множитель к $k_{эф.х}$ должен выглядеть как $\sqrt{1 + bNTU'}$, где b – некоторый числовой коэффициент [15], подтверждается и для нагреваемого (охлаждающего) воздушного потока, так же с точностью до числового коэффициента в формуле. Для других значений NTU в диапазоне от 0.1 до 2.5 аппроксимационные выражения будут выглядеть аналогично, меняется только величина числового коэффициента при NTU' , поведение которого по результатам обработки численных расчетов показано на рисунке 2 сплошной кривой. Вследствие большого диапазона изменения параметров здесь принята логарифмическая шкала по обеим осям. Поскольку в таких координатах построенная линия близка к прямой, очевидно, что ее аппроксимацию следует искать в виде степенной функции от параметра NTU , график которой изображен пунктиром. В этом случае окончательное соотношение для поправочного множителя к коэффициенту $k_{эф.х}$ записывается в следующем виде:

$$f(NTU') = \sqrt{1 + bNTU'}, \text{ где } b = \frac{1.7}{NTU^{1.3}} \quad (3)$$

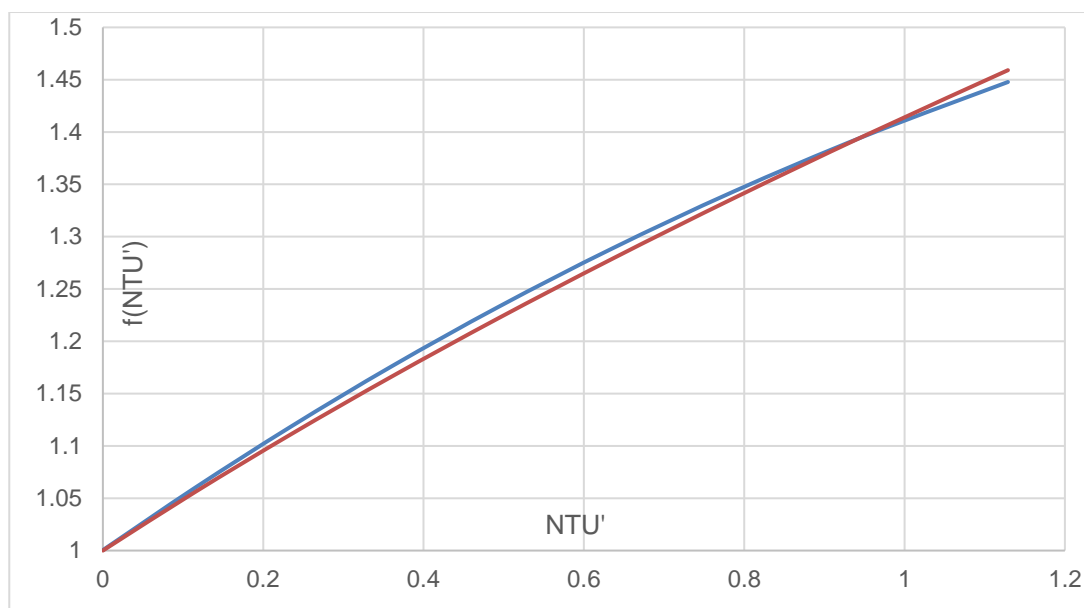


Рисунок 1 - Зависимость от NTU' поправочного множителя к величине $k_{эф.х}$ за счет влияния испарения при $NTU = 1.5$: сплошная линия – численный расчет, пунктир – аппроксимация по (2)

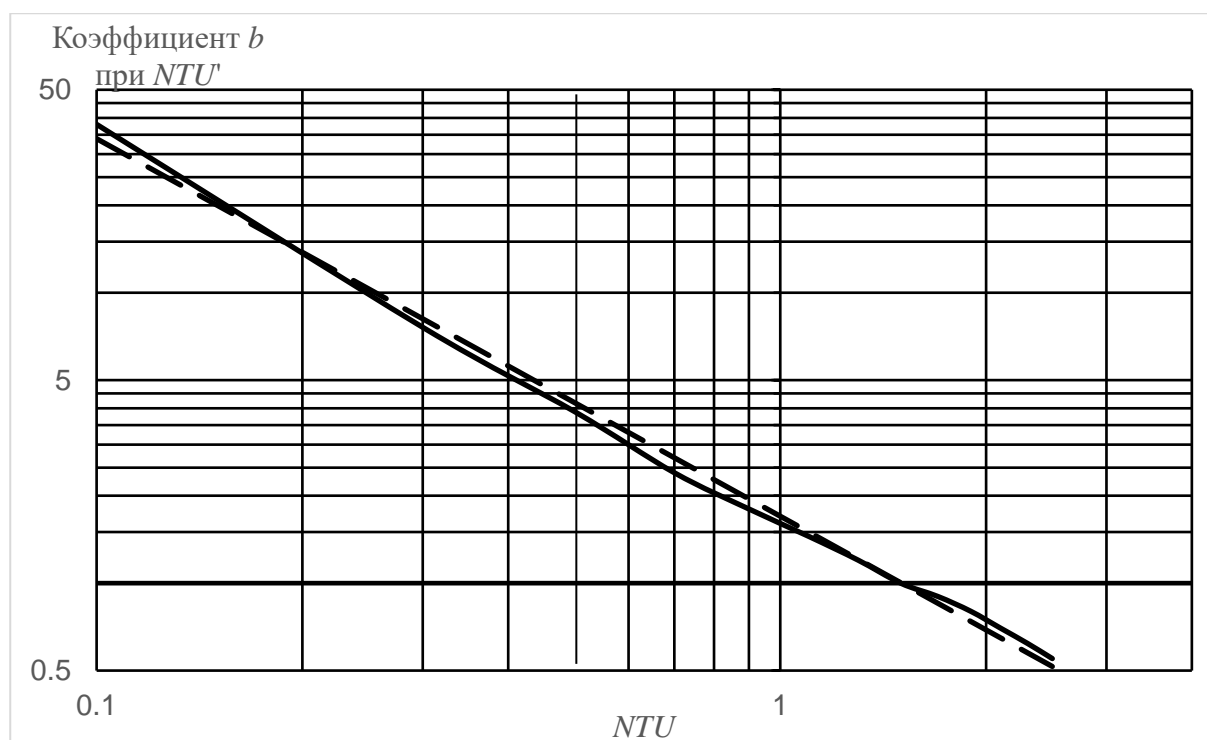


Рисунок 2 - Зависимость от NTU числового коэффициента b при NTU' в выражении (3) для поправочного множителя к величине $k_{эф.х}$ за счет влияния испарения: сплошная линия – численный расчет, пунктир – аппроксимация

Теперь необходимо отметить, что увеличение температурной эффективности рекуператора вследствие испарения жидкой влаги на поверхности теплообмена должно влиять также и на изображение в $I-d$ -диаграмме соответствующих процессов изменения состояния влажного воздуха в аппарате. Первоначальная схема таких процессов, при построении которой значения $k_{эф.х}$ и $k_{эф.г}$ принимались одинаковыми и без учета рассматриваемого эффекта, была представлена авторами в работе [12]. Покажем теперь, что произойдет, если коэффициенты $k_{эф.х}$ и $k_{эф.г}$ будут вычислены с использованием корректировки через величину NTU' по полученным выше формулам.

Результаты исследования и их анализ

Рассмотрим процесс изменения состояния влажного воздуха в оборудовании систем механической вентиляции или кондиционирования воздуха при использовании пластинчатого перекрестноточного рекуператора с использованием косвенного испарительного охлаждения притока в теплый период года в условиях, аналогичных тем, которые были использованы в работе [12], но с учетом испарения воды в пластинчатом рекуператоре, уносимой из секции увлажнения. На рисунке 3 показан фрагмент $I-d$ -диаграммы с процессом изменения состояния воздуха с учетом испарения жидкой влаги на поверхности рекуператора (сплошная линия). Для сравнения пунктиром изображен процесс без учета испарения, описанный в работе [12].

Параметры основных точек на рисунке 3:

НБ (наружный воздух по параметрам «Б»): температура $t_{НБ} = +26^{\circ}\text{C}$, энтальпия $I_{НБ} = 54.4$ кДж/кг для Москвы по СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* "Строительная климатология"»;

П' = О (после пластинчатого теплообменника перед вентилятором): температура $t_{П'} = t_{НБ} - f(NTU')k_{эф}(t_{НБ} - t_{о2})$ при равных расходах приточного и уходящего воздуха и с учетом величины $t_{о2}$ (см. ниже), где $k_{эф} = 0.67$ – средний коэффициент температурной эффективности пластинчатого теплообменника без учета испарения. Выражение для повышающего коэффициента $f(NTU')$ можно получить тем же способом, что и (1) - (2):

$$f(NTU') = (1 + NTU')^{\frac{NTU}{1.55NTU + 1.88}}. \quad (4)$$

Для того, чтобы результаты, получаемые в предлагаемой работе, возможно было сопоставить с данными [12], найдем из принятого там среднего значения $k_{эф}$ соответствующую величину NTU , используя существующую зависимость [13]:

$$k_{эф} = \frac{NTU}{1.137 \cdot NTU + 1}, \quad (5)$$

откуда для $k_{эф} = 0.67$ после преобразований получаем $NTU = 2.81$.

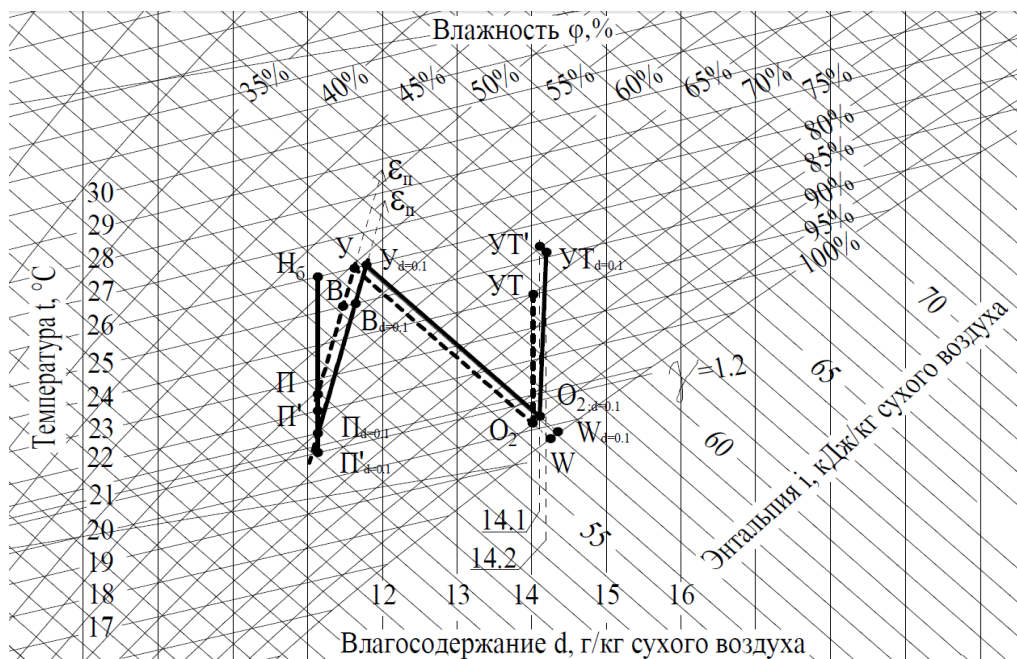


Рисунок 3 - Изображение на I-d-диаграмме процесса изменения состояния воздуха при его кондиционировании с учетом испарения капель влаги (сплошная линия) и без учета испарения (пунктирная линия)

Значение комплекса $NTU' = 0.844$ определяем в ходе вычислений по уже упомянутой программе для ЭВМ при вычисленном значении $NTU = 2.81$ и предполагаемом изменении влагосодержания потока вытяжного воздуха $\Delta d = 0.1$ г/кг.

Тогда, подставив в формулу (3) принятые NTU и NTU' , получаем:

$$f(NTU') = (1 + 0.844)^{\frac{2.81}{1.55 \cdot 2.81 + 1.88}} = 1.3$$

Следовательно, температура в точке П' будет равна: $t_{п'} = t_{нБ} - f(NTU')k_{эф}(t_{нБ} - t_{о2}) = 26 - 1.3 \cdot 0.67(26 - 20) \approx +20.8^\circ\text{C}$

П (приток после вентилятора): температура $t_{п} = +21.3^\circ\text{C} = t_{п'} + 0.5^\circ$; влагосодержание $d_{п} = d_{п'} = d_{нБ} = 11.1$ г/кг;

В (внутренний воздух помещения): температура $t_{в} = +25^\circ\text{C}$ – максимальная из оптимальных в ТП по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»; относительная влажность $\phi_{в} = 58\%$ – в оптимальных пределах по построению при заданных $t_{п}$ и $d_{п}$ и при характерном значении углового коэффициента луча процесса в помещении $\epsilon_{пом} = 10000$ кДж/кг,

У (уходящий воздух): температура $t_{у} = t_{в} + 1 = 26^\circ\text{C}$, энтальпия $I_{у} = 56.1$ кДж/кг – по построению;

W (предельно возможное состояние после адиабатного увлажнения): температура $t_w = t_{m(y)} = +19.7^\circ\text{C}$, т.е. равна температуре мокрого термометра уходящего воздуха, относительная влажность $\phi_w = 100\%$;

O₂ (перед пластинчатым теплообменником после секции увлажнения): относительная влажность $\phi_{o2} = 95\%$, температура $t_{o2} = +20.2^\circ\text{C}$ (по построению);

УТ' (вспомогательная после пластинчатого теплообменника для потока уходящего воздуха): температура $t_{yt} = t_{o2} + f(NTU')k_{\phi}(t_n - t_{o2}) = 20.2 + 1.3 \cdot 0.67(26 - 20.2) = +25.3^\circ\text{C}$;

УТ (после пластинчатого теплообменника для потока уходящего воздуха с учетом поступления скрытой теплоты за счет испарения капель): получается по построению процесса из вспомогательной точки УТ' по линии $I = \text{const}$ и увеличении влагосодержания на величину $\Delta d = 0.1$ г/кг.

Таким образом, учет испарения в рассматриваемом примере привел к снижению величины t_n с $+22.5$ до $+21.3^\circ$ и, соответственно, разности $(t_y - t_n)$ с 3.5 до 4.7° , а, следовательно, к сокращению требуемого воздухообмена в помещении в $4.7/3.5 = 1.34$ раза, т.е. примерно на $1/3$. Разумеется, данный результат должен привести и к изменению условий достижения требуемых параметров внутреннего микроклимата в обслуживаемом помещении, а именно к повышению их обеспеченности и к расширению области параметров наружного климата, где возможно применение рассматриваемой схемы.

Проведем аналогичный расчет для предполагаемого изменения влагосодержания потока вытяжного воздуха $\Delta d = 0.2$ г/кг. При этом по определению величина комплекса $NTU' = 2.05$, тогда значение повышающего коэффициента равно:

$$f(NTU') = (1 + 2.05)^{\frac{2.81}{1.55 \cdot 2.81 + 1.88}} = 1.65.$$

Теперь найдем произведение $f(NTU')$ и коэффициента температурной эффективности пластинчатого теплообменника k_{ϕ} : $f(NTU')k_{\phi} = 1.65 \cdot 0.67 = 1.1$. Но по своему физическому смыслу результат должен быть меньше 1, иначе не будет выполняться закон сохранения энергии. Поэтому очевидно, что данное условие не может быть реализовано физически, и дальнейшие расчеты нецелесообразны. Однако по сути это означает, что вся жидкая влага при $\Delta d = 0.2$ г/кг не сможет испариться с поверхности теплообмена в рекуператоре, тогда остаток будет стекать в его поддон, и его необходимо будет отводить в систему канализации либо возвращать обратно в секцию увлажнения для повторного использования. Более того, исходя из условия $f(NTU')k_{\phi} < 1$, мы можем определить предельную величину Δd , то есть максимально возможное количество влаги, которое может испариться в теплообменнике при соблюдении теплового баланса между потоками воздуха.

Выводы

Доказано, что учет возможного испарения капель жидкой влаги, проникающей в рекуператор, приводит к повышению его температурной эффективности при косвенном испарительном охлаждении притока в теплый период в зависимости от величины критериев NTU и NTU' ;

Обнаружено, что характер зависимости поправочного коэффициента от NTU' в целом совпадает с полученным ранее решением для охладителя-утилизатора в режиме конденсации с точностью до числового коэффициента, зависящего от величины NTU ;

Отмечено, что повышение температурной эффективности рекуператора за счет испарения капель приводит к снижению температуры приточного воздуха, подаваемого в помещение, и тем самым к сокращению требуемого воздухообмена;

Показано, что существует предельное количество жидкой влаги, способное испариться на поверхности теплообмена в рекуператоре, и в случае, если фактический унос из увлажнителя превышает данную величину, остаточная влага остается в жидком виде и должна удаляться из аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королева Н.А., Фокин В.М., Тарабанов М.Г. Разработка рекомендаций по устройству энергоэффективных схем систем вентиляции и кондиционирования // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41 (60). С. 53 – 62.
2. Королева Н.А., Фокин В.М. Применение систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением в современных зданиях // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39 (58). С. 173 – 182.
3. Бройда В.А. Расчет параметров работы теплообменника фанкойла с учетом устанавливающегося состояния воздуха в помещении // Известия вузов. Строительство. 2013. № 8. С. 72 – 77.
4. Емельянов А.Л., Кожевникова Е.В. Методика расчета теплообмена при движении воздуха в поверхностных воздухоохладителях // Вестник МАХ. 2014. № 1. С. 39 – 42.
5. Малявина Е.Г., Крючкова О.Ю. Оценка энергопотребления различными центральными системами кондиционирования воздуха. // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 149 – 152.
6. Малявина Е.Г., Крючкова О.Ю. Экономическая оценка центральных систем кондиционирования воздуха с различными схемами его обработки. // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 30 – 34.
7. Horikiri K., Yao Y., Yao J. Modelling conjugate flow and heat transfer in a ventilated room for indoor thermal comfort assessment // Building and Environment. 2014. № 77. Pp. 135 – 147.
8. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 14. № 1. P. 5 – 15.
9. Pomianowski M., Andersen C.H., Heiselberg P. Technical potential of evaporative cooling in Danish and European condition // Proceedings of the 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Pp. 2421 – 2426.
10. De Angelis A., Saro O., Truant M. Evaporative cooling systems to improve internal comfort in industrial buildings // Proceedings of the 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, 6-8 September 2017, Lecce, Italy. Pp. 313 – 320.
11. Meggers F., Guo H., Teitelbaum E., Aschwanden G., Read J., Houchois N., Pantelic J., Calabrò E. The Thermoheliodome – “Air conditioning” without conditioning the air, using radiant cooling and indirect evaporation // Energy and Buildings. 2017. № 157. Pp. 11 – 19.
12. Самарин О.Д., Лушин К.И., Кирушок Д.А. Энергосберегающая схема обработки воздуха с косвенным испарительным охлаждением в пластинчатых рекуператорах. // Жилищное строительство. 2018. № 1-2. С. 43 – 45.
13. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1983. 416 с.
14. Самарин О.Д., Кирушок Д.А. Моделирование теплообмена в пластинчатом рекуперативном теплообменнике при увлажнении вспомогательного потока воздуха. // Известия вузов. Строительство. 2019. № 1. С. 54 – 60.
15. Самарин О.Д. О новом подходе к учету конденсации водяных паров при тепловом расчете воздухоохладителей // Известия вузов. Строительство. 2016. № 2. С. 67 – 73.

REFERENCES

1. Korolyova N.A., Fokin V.M., Tarabanov M.G. Razrabotka rekomendatsiy po ustroystvu energoeffektivnykh skhem sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya [Development of recommendations on the design of energy efficient schemes of ventilating and air conditioning]. *Vestnik VolGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. Vol. 41 (60). Pp. 53 – 62. (rus)
2. Korolyova N.A., Fokin V.M. Primeneniye system konditsionirovaniya vozdukha s isparitel'nyim okhlazhdeniyem v sovremennykh zdaniyakh [Application of air conditioning evaporative cooling in modern buildings]. *Vestnik VolGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. Vol. 39 (58). Pp. 173 – 182. (rus)
3. Broyda V.A. Raschet parametrov raboty teploobmennika fankoyla s uchetom ustanavlivayushchegosya sostoyaniya vozdukha v pomeshchenii [Calculation of operating parameters for fancoil heat exchanger considering steady indoor conditions for the air]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2013. No. 8. Pp. 72 – 77. (rus)
4. Yemelyanov A.L., Kozhevnikova E.V. Metodika rascheta teploobmena pri dvizhenii vozdukha v poverkhnostnykh vozdukhookhladitelyakh [Procedure of heat transfer calculation under air motion in surface air coolers]. *Vestnik MAH*. 2014. No. 1. Pp. 39 – 42. (rus)
5. Malyavina E.G., Kryuchkova O.Yu. Otsenka energopotrebleniya razlichnymi tsentral'nyimi sistemami konditsionirovaniya vozdukha [Estimation of the energy consumption of the different central air condition systems]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzhya*. 2014. No. 4. Pp. 149 – 152. (rus)

6. E.G.Malyavina, O.Yu.Kryuchkova. Ekonomicheskaya otsenka tsentral'nykh sistem konditsionirovaniya vozdukhа s razlichnymi skhemami yego obrabotki [Economic estimation of central air conditioning systems with different air treatment schemes]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2014. No. 7. Pp. 30 – 34. (rus)
7. Horikiri K., Yao Y., Yao J. Modelling conjugate flow and heat transfer in a ventilated room for indoor thermal comfort assessment. *Building and Environment*. 2014. No. 77. Pp. 135 – 147.
8. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. *Sustainable Cities and Society*. 2015. Vol. 14. № 1. P. 5 – 15.
9. Pomianowski M., Andersen C.H., Heiselberg P. Technical potential of evaporative cooling in Danish and European condition. Proceedings of the 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Pp. 2421 – 2426.
10. De Angelis A, Saro O., Truant M. Evaporative cooling systems to improve internal comfort in industrial buildings. Proceedings of the 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, 6-8 September 2017, Lecce, Italy. Pp. 313 – 320.
11. Meggers F., Guo H., Teitelbaum E., Aschwanden G., Read J., Houchois N., Pantelic J., Calabrò E. The Thermoheliodome – “Air conditioning” without conditioning the air, using radiant cooling and indirect evaporation. *Energy and Buildings*. 2017. № 157. Pp. 11 – 19.
12. Samarin O.D., Lushin K.I., Kirushok D.A. Energosberegayushchaya schema obrabotki vozdukhа s kosvennym isparitel'nyim okhlazhdeniyem v plastinchatykh rekuperatorakh [The energy saving scheme of air treatment with indirect evaporative cooling in plate heat recovery units]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2018. No. 1-2. Pp. 43 – 45. (rus)
13. Bogoslovsky V.N., Poz M.Ya. Teplofizika apparatov utilizatsii tepla system otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа [Thermal physics of the heat recovery units in the HVAC systems]. Moscow: Stroyizdat Publishers, 1983. 416 p. (rus)
14. Samarin O.D., Kirushok D.A. Modelirovaniye teploobmena v plastinchatom rekuperativnom teploobmenнике pri uvlazhnenii vspomogatel'nogo potoka vozdukhа [Modeling of heat transfer in recuperative heat exchanger while humidifying the auxiliary air flow]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2019. No 1. Pp. 54 – 60.
15. Samarin O.D. O novom podkhode k uchetu kondensatsii vodyanykh parov pri teplovom raschete vozdukhookhladiteley [On a new approach to the account of water vapor sweating during thermal calculation of air coolers]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2016. No. 2. Pp. 67 – 73. (rus)

Информация об авторах:

Самарин Олег Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
E-mail: samarinod@mgsu.ru, samarin-oleg@mail.ru

Кирушок Дмитрий Александрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
инженер, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
E-mail: tz_dima@mail.ru

Information about authors:

Samarin Oleg D.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Candidat in tech. sc., doc., doc. (assist. prof.) of the dep. of heat and gas supply and ventilation
E-mail: samarinod@mgsu.ru, samarin-oleg@mail.ru

Kirushok Dmitry A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Engineer, post-graduate student of the dep. of heat and gas supply and ventilation
E-mail: tz_dima@mail.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРБЕТОНА

ФРОГ Д.Б.¹, ПРИМИН О.Г.², ТЕН А.Э.¹

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

²Акционерное общество «Мосводоканал», Москва, Россия

Аннотация. Аварии на канализационных коллекторах, особенно сопровождающиеся разрушением строительных конструкций, являются серьезнейшей проблемой не только для водохозяйственной отрасли, но и для города в целом. Ущерб от разрушения железобетонных канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие коррозии в целом по миру исчисляется миллиардами евро в год.

Одним из выходов из сложившейся ситуации с коррозией на канализационных коллекторах может являться своевременное и оперативное проведение ремонтно-восстановительных работ с использованием защитных покрытий, наносимых в период ремонта бестраншейными методами. К таким методам восстановления коллекторов могут быть отнесены: облицовка внутренних стенок коллекторов плиточными композитными материалами (блоками) или сплошными защитными покрытиями, в качестве которых может быть применен полимербетон.

В статье дана оценка технико-экономических показателей реконструкции эксплуатируемых канализационных коллекторов с использованием полимербетонных блоков. На реальном примере показано, что наиболее оптимальный вариант реконструкции канализационного канала - реконструкция облицовкой полимербетонными блоками (сегментами).

Ключевые слова: полимербетон, коллектор, канализация, коррозия, ремонтные и восстановительные работы.

RECONSTRUCTION OF PIPELINES USING POLYMERBETON

FROG D.B.¹, PRIMIN O.G.², TEN A.E.¹

¹Scientific Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia

²JSC "Mosvodokanal", Moscow, Russia

Abstract. Accidents on sewers accompanied by the destruction of building structures have been a most serious problem not only for the water industry but also for the entire city. In the world the damage from the deterioration of reinforced concrete sewer tunnels and in-line structures due to corrosion is estimated at billions of euros per year. A way out of the current situation with corrosion in sewers can be timely and prompt repair and rehabilitation using protective coatings applied by trenchless methods.

One of the methods of sewer rehabilitation is lining the internal walls of the sewers with plate composite materials (blocks) or continuous protective coatings where polymer concrete can be used. Polymer concrete comprises a thermosetting organic binder (usually epoxy resin) and a large amount of dispersed filler (talc, aerosil, crushed quartz, basalt, granite chips, etc.). The special composition of filler materials and advanced production technologies ensures the high qualities of polymer concrete.

An assessment of the technical and economic indicators of the reconstruction of existing sewers and canals using polymer concrete blocks is given. Through a realistic example it is shown that the most effective option of the reconstruction of a sewer canal while ensuring environmental safety is lining with polymer concrete blocks (segments).

Key words: polymer concrete, collector, sewerage, corrosion, reconstruction, repair and rehabilitation works.

Введение

В настоящее время в нашей стране эксплуатируются подземные коммунальные канализационные каналы и коллектора протяженностью в сотни километров. Значительная часть из них выполнена из железобетона. Отмечается большое количество аварий на железобетонных коллекторах, трубопроводах и сооружениях, транспортирующих сточные воды, в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Краснодаре, Уфе, Набережных Челнах, Курске и многих других городах [1,2,3,4,5]. Разрушения коллекторов из железобетона наблюдались в США, Франции, Японии, где разработаны специальные национальные программы по их ремонту [6,7]. Результаты теледиагностики коллекторов современной аппаратурой с ультразвуковым сканированием показывают, что основной причиной разрушения коллекторов является воздействие агрессивной газовой среды, что и приводит к серьезным дефектам в подсводном пространстве. Рисунок 1.

Одной из наиболее актуальных проблем обеспечения надежности и экологической безопасности железобетонных канализационных коллекторов, каналов и камер является их защита от газовой, химической и биокоррозии.



Рисунок 1 - Газовая коррозия железобетонного трубопровода

Проблемой коррозии железобетонных конструкций в сооружениях, транспортирующих сточные воды, инженеры и ученые по всему миру занимаются, начиная с 40-х годов XX века. За это время шло формирование представления о процессе коррозии, предлагались и внедрялись на практике различные способы защиты. Несмотря на ряд работ по проблеме защиты от коррозии трубопроводов исследование факторов, ускоряющих или замедляющих процесс, по-прежнему остается более чем актуальной задачей [8,9,10].

При воздействии транспортируемых по безнапорному канализационному трубопроводу сточных вод на его внутренней поверхности происходит многостадийное бактериальное воздействие на материал трубопровода. [11,12]. Стадии коррозии связаны с последовательным заселением стенок коллектора (сооружения) различными видами сероокисляющих микроорганизмов, которые способствуют снижению pH, что является причиной интенсивного разрушения структуры бетона. Согласно [12] предлагается разделение всех методов борьбы с подобной коррозией на активные и пассивные. Под активными методами понимаются различные технологические мероприятия, направленные на снижение уровня агрессивности среды, а под пассивными – конструктивные изменения, позволяющие сооружению функционировать при заданном уровне агрессивности.

Исследования АО «Мосводоканал» и НИИСФ РААСН показали, что одной из перспективных и конкурирующих технологий защиты железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой коррозии является реконструкция трубопроводов с использованием материала «полимербетон». Технология реконструкции заключается в облицовке внутренней поверхности каналов полимербетонными элементами. Полимербетон обладает высокой химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации Москвы достигает высоких

величин.

Полимербетон состоит из полиэфирного связующего на основе фталевых кислот и минерального наполнителя в виде кварцевых песков и щебней различного фракционного состава. Для обеспечения надежной защиты от коррозии полимербетон покрывается защитным слоем на основе эпоксивинилэфирных смол.

Материал полимербетон включает термореактивное органическое связующее (обычно эпоксидную смолу) и большое количество дисперсного наполнителя (тальк, аэросил, толчёный кварц, базальт, гранитная крошка и др.).

По многим характеристикам полимербетон далеко обходит обычный бетон. Превышая показатели по прочности – от четырех до шести раз, по преодолению растяжения – от пяти до десяти. А по стойкости к износу – в пятнадцать-тридцать раз.

Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами в АО «Мосводоканал» был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный опыт применения полимербетонных изделий.

Одним из первых объектов использования полимербетонных элементов была реконструкция подводящего канала к Люберецким очистным сооружениям (ЛОС). В результате проведённой комплексной технической диагностики установлена прогрессирующая газовая коррозия от газо-воздушной среды внутренней рабочей поверхности трубопровода с частичным разрушением свода, отслоение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры, рисунок 2.



Рисунок 2 - Техническое состояние подводящего канала к ЛОС до реконструкции



Рисунок 3 - Подводящий канал к ЛОС после реконструкции

Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами в АО «Мосводоканал» был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный опыт применения полимербетонных изделий.

Одним из первых объектов использования полимербетонных элементов в г. Москве была реконструкция подводящего канала к Люберецким очистным сооружениям (ЛОС). Технология реконструкции заключалась в монтаже внутри существующего трубопровода нового трубопровода из полимербетонных элементов, соединяющихся между собой на специальном клеевом составе, с последующей забутовкой межтрубного пространства высокотекучим раствором, рисунок 3.

На сегодняшний день общая протяженность канализационных каналов, которые могут быть отремонтированы с использованием материала «Полимербетон» составляет порядка 50 км. Для сравнительной оценки технико-экономических показателей и сметной стоимости работ по реконструкции канализационных коллекторов в качестве примера была выбрана рекон-

струкция подводящего канала к ЛОС на участке К2- К4, Год постройки канала - 1994 г. На участке от камеры К-2 до К-4 канал имеет круглое сечение $D_n=5600$ мм, $D_u=4500$ мм (щитовой тоннель из ж/б блоков). Существующие камеры выполнены из сборного железобетона (стены из монолитного железобетона, плиты перекрытия типа «ВП»). Проведенное обследование конструкций выявило сильную коррозию железобетонных и металлических конструкции камер и канала.

Стены камер подвержены коррозии, защитный слой бетона разрушен, глубина коррозии составляет 2-4 см, существующее защитное покрытие отслоилось на всей поверхности камер. Металлические конструкции корродировали на 100% и обрушились. Для оценки технико-экономических показателей реконструкции канализационных коллекторов были рассмотрены следующие варианты:

Вариант 1. Реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными сегментами. На участке от К-2 до К-4 реконструкция канализационного канала $D=4500$ мм выполняется устройством железобетонной рубашки всей внутренней поверхности канала с последующей облицовкой полимербетонными сегментами с маркировкой «Полибетон». Протяженность канала составляет 1422,65 м. Сечение канала до и после реконструкции показано на рисунке 4.

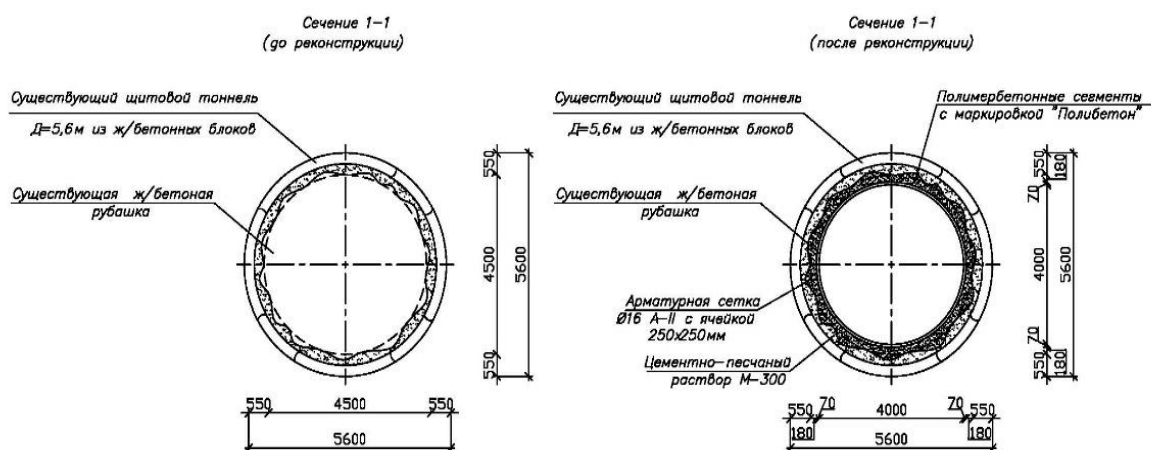


Рисунок 4 - Сечение канала до и после реконструкции

Вариант 2. Реконструкция на участке от К-2 до К-4 канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух стеклопластиковых труб для хозяйственно-бытовой канализации (НТТ «ХИМ»), ТУ 2296-004-99675234-2007. Диаметр $D_{нар}=2045$ мм, $D_{вн}=2000$ мм., рисунок 5. Труба «НТТ ХИМ» - изготавливается на основе специального химически стойкого связующего и превышающая по своей стойкости к агрессивным средам такие материалы, как железобетон и сталь, а по экономичности - полиэтилен, чугун и полипропилен.

Вариант 3. Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух полимерных труб Корсис - плюс для хозяйственно-бытовой канализации рисунки 6 и 7. Диаметр $D_{нар}=2045$ мм, $D_{вн}=1800$ мм (две трубы). Длина трубы 6 м (рис. 8). Материал труб: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Максимальная кратковременная температура транспортируемой среды: 60°C. Нормативная документация: ГОСТ 54475-2011 «Трубы полимерные со структурированной стенкой и фасонные части к ним для систем наружной канализации», ТУ 22.21.21-005-73011750-2017. Длина: 6 м.

Вариант 4. Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой трубы НТТ, $D_{вн}=3850$ мм, рисунок 8. В таблице 1 приведены итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке К2- К4, канал железобетонный круглого сечения $D_{нар}=5600$ мм, $D_{вн}=4500$ мм, длина 1422,65 м.

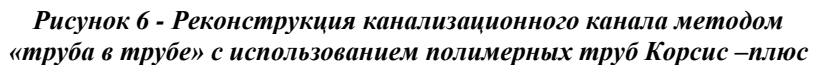
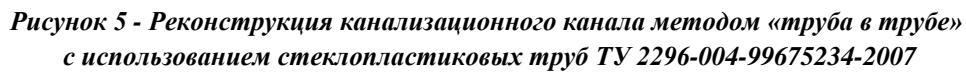




Рисунок 7 - Реконструкция канализационного коллектора

Сечение 1-1
(после восстановления)

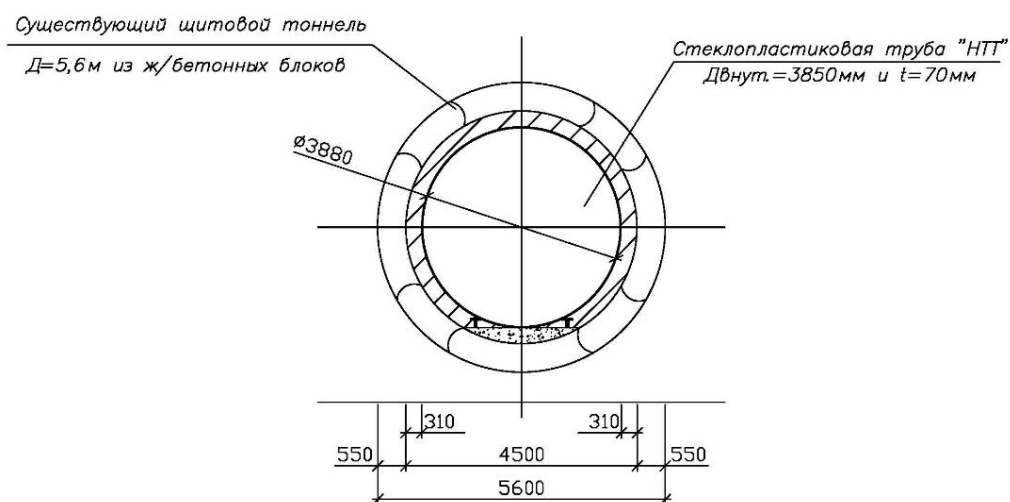


Рисунок 8 - Сечение канала $D=4500$ мм при протяжке в него стеклопластиковой трубы - $D_{вн}=3850$ мм

Таблица 1 - Итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке К2- К4, канал железобетонный круглого сечения $D_{нар}=5600$ мм, $D_{вн}=4500$ мм, длина 1422,65 м

№ вариан-та	Методы реконструкции	Стоимость всего, тыс. руб.
1	Реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными блоками (сегментами).	517 740,78
2	Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух стеклопластиковых труб для хозяйственно- бытовой канализации. Диаметр $D_{нар}=2045$ мм, $D_{вн}=2000$ мм.	606 985,48
3	Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе»– протяжка двух полимерных труб Корсис - плюс для хозяйственно-бытовой канализации $D_{вн}=1800$ мм	486 322,78
4	Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой $D_{вн}=3850$ мм	1 305 662,10

Наиболее оптимальный вариант реконструкции подводящего канала ЛОС- реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными блоками (сегментами). Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе»— протяжка двух полимерных труб Корсис -плюс Двн =1800 мм дешевле на 30 000 р, но не обеспечивает требуемые гидравлические параметры движения жидкости и пропускную способность.

Выводы

1.Одной из наиболее актуальных проблем обеспечения надежности и экологической безопасности железобетонных канализационных коллекторов, каналов и камер является их защита от газовой, химической и биологической коррозии.

2. Наиболее перспективной технологией защиты железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой и химической коррозии является реконструкция трубопроводов с использованием материала «полимербетон». Полимербетон обладает высокой химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации Москвы достигает высоких величин.

3. Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, опытом его применения за рубежом, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами в АО «Мосводоканал» был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный отечественный опыт применения полимербетонных изделий. Проведенная в АО «Мосводоканал» диагностика и обследование реконструированных с использованием полимербетона канализационных коллекторов показала их высокие эксплуатационные свойства и подтвердили эффективность их применения для защиты коллекторов больших диаметров от газовой и химической коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008 г. 215 с.
2. Столбихин Ю.В. Разработка методов предотвращения коррозии канализационных коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения напора. Автореферат кандидатской диссертации // ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». - 2016. -27 с.
3. Васильев, В. М. Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них / В. М. Васильев, М. Н. Клементьев, Ю. В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника. - 2015. - №1. - С. 58-66.
4. Васильев, В. М. Техническая эксплуатация системы канализационных тоннелей: учеб. пособие / В. М. Васильев, П. П. Бессолов, О. Н. Булгаков, М. Б. Лившиц, В.Т. Шаповалов. – СПб.: СПбГАСУ, 2002. - 59 с.
5. Zhang, L. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review / L. Zhang, P. De Schryver, B. De Gusseme, et al // Water Research. - 2008. - №42. - P. 1 – 12.
6. Richman, M. Microbial system control odors in Florida collection systems / M. Richman // Water Environ Technol. – 2015. - № 9. - P. 20-22.
7. Firer, D. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications / D. Firer, E. Friedler, O. Lahav // Science of the environment. – 2008. - № 392. - P. 145-156.
8. Wells, P. A. R. E. Melchers «Factors involved in the long term corrosion of concrete». //Conference Proceedings. Coffs Harbour, Australia 2009. - P. 15 – 18.
9. Васильев В.М., Дмитриева Е.Ю. Современное представление о микробиологической биодеструкции бетона и металлов при эксплуатации канализационных коллекторов // Инженерно-экологические системы: Материалы Между-нар. науч.-практ. конференции 10–12 октября 2012 г. – СПб, СПбГАСУ, 2012, -С. 26-31.
10. Beixing Li, Laohu Cai, Wenkai Zhu Predicting Service Life of Concrete Structure Exposed to Sulfuric Acid Environment by Grey System Theory. // International Jorنال of Civil Engineering / 2018, Volume 16, Issue 9, P. 1017–1027
11. Дрозд Г.Я. Прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды канализационных коллекторов // Водоснабжение и водоотведение – 2012. - №5. – С. 15-19.

12. Диденко Е. А. Влияние состава транспортируемых сточных вод на состояние канализационных трубопроводных систем / Е.А. Диденко, Я.Л. Хромченко, В.А. Светлополянскй // Водоснабжение и санитарная техника. - 2002. - № 5. - С.33 – 35.

REFERENCES

1. Khramenkov S. V., Primin O. G., Orlov V. A. Rekonstruktsiya truboprovodnykh system. [Reconstruction of pipeline systems. Moscow, Publishing House of the Association of Civil Engineering Universities, 2008, 215 p.].
2. Stolbikhin Iu. V. Razrabotka metodov predotvrashcheniya korrozii kanalizatsionnykh kollektorov i sooruzheniy na osnove sovershenstvovaniya kamer gasheniya napora. [Development of methods for preventing corrosion of sewers and structures based on the improvement of pressure release chambers. Ph. D. thesis in Engineering Science. Saint Petersburg, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2016, 227 p.].
3. Vasil'ev V. M., Klement'ev M. N., Stolbikhin Iu. V. [Methods of protecting tunnel sewers and in-line structures from corrosion]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2015, no. 1, pp. 58–66. (In Russian).
4. Vasil'ev V. M., Bessolov P. P., Bulgakov O. N., Livshits M. B., Shapovalov V. T. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sistemy kanalizatsionnykh tonneley. [Operation and maintenance of a sewer tunnel system]. Saint-Petersburg, SPbGASU Publ., 2002, 59 p.].
5. Zhang L., de Schryver P., de Gussem B., et al. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review. *Water Research*, 2008, no. 42, pp. 1–12.
6. Richman M. Microbial system control odors in Florida collection systems. *Water Environ Technology*, 2015, no. 9, pp. 20–22.
7. Firer D., Friedler E., Lahav O. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications. *Science of the Environment*, 2008, no. 392, pp. 145–156.
8. Wells P. A., Melchers R. E. Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers (Paper 54). Corrosion and Prevention 2009: The Management of Infrastructure Deterioration: Conference Proceedings, Coffs Harbour, Australia, Nov 2009, Coffs Harbour, 2009, pp. 15–18.
9. Vasil'ev V. M. Povyshenie effektivnosti raboty kanalizatsionnykh kollektorov i sooruzheniy na nikh pri sovmestnom dvizhenii stochnykh vod i gazov [Improving the efficiency of sewer and in-line structures operation at joint movement of wastewater and gases: Doctoral thesis. Saint-Petersburg, 1996, 343 p.].
10. Flemming H. C. Biofilmas a particular from of microbial life in Biofouling and corrosion in industrial wastewater systems. 1991, pp. 1–9.
11. Drozd G. Ia. [Concrete and reinforced concrete sewers]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 1988, no. 2, pp. 8–10. (In Russian).
12. Didenko E. A., Khromchenko Ia. L., Svetlopolianskii V. A. [Effect of the composition of the transported waste- water in the condition of sewer pipelines]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2002, no. 5, pp. 33–35. (In Russian).

Информация об авторах:

Фрог Дмитрий Борисович

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,
Кандидат технических наук, заведующий лабораторией № 35,
E-mail: dbf135@yandex.ru

Примин Олег Григорьевич

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,
Доктор технических наук, вед. научный сотрудник лаб. № 35,
E-mail: primin@mvkniipr.ru

Тен Андрей Эдисович

Акционерное общество «Мосводоканал», Москва, Россия,
Зам. главного инженера по ремонту и реконструкции,
Производственно – эксплуатационное управлени канализационной сети,
E-mail: ten_ae@mosvodokanal.ru

Information about authors:

Frog D. B.

Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory No. 35,
E-mail: dbf135@yandex.ru

Primin O.G.

Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Ved. Researcher Lab. No. 35,
E-mail: primin@mvkniipr.ru

Ten A.E.

JSC "Mosvodokanal", Moscow, Russia,
Deputy Chief engineer for repair and reconstruction,
Production - operational management of the sewer network,
E-mail: ten_ae@mosvodokanal.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый объем – не менее 100 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.oreluniver.ru/science/journal/sir

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 777-318

www.oreluniver.ru
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.Ю. Савин
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 06.05.2019 г.
Дата выхода в свет 13.05.2019 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8,13.
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.